

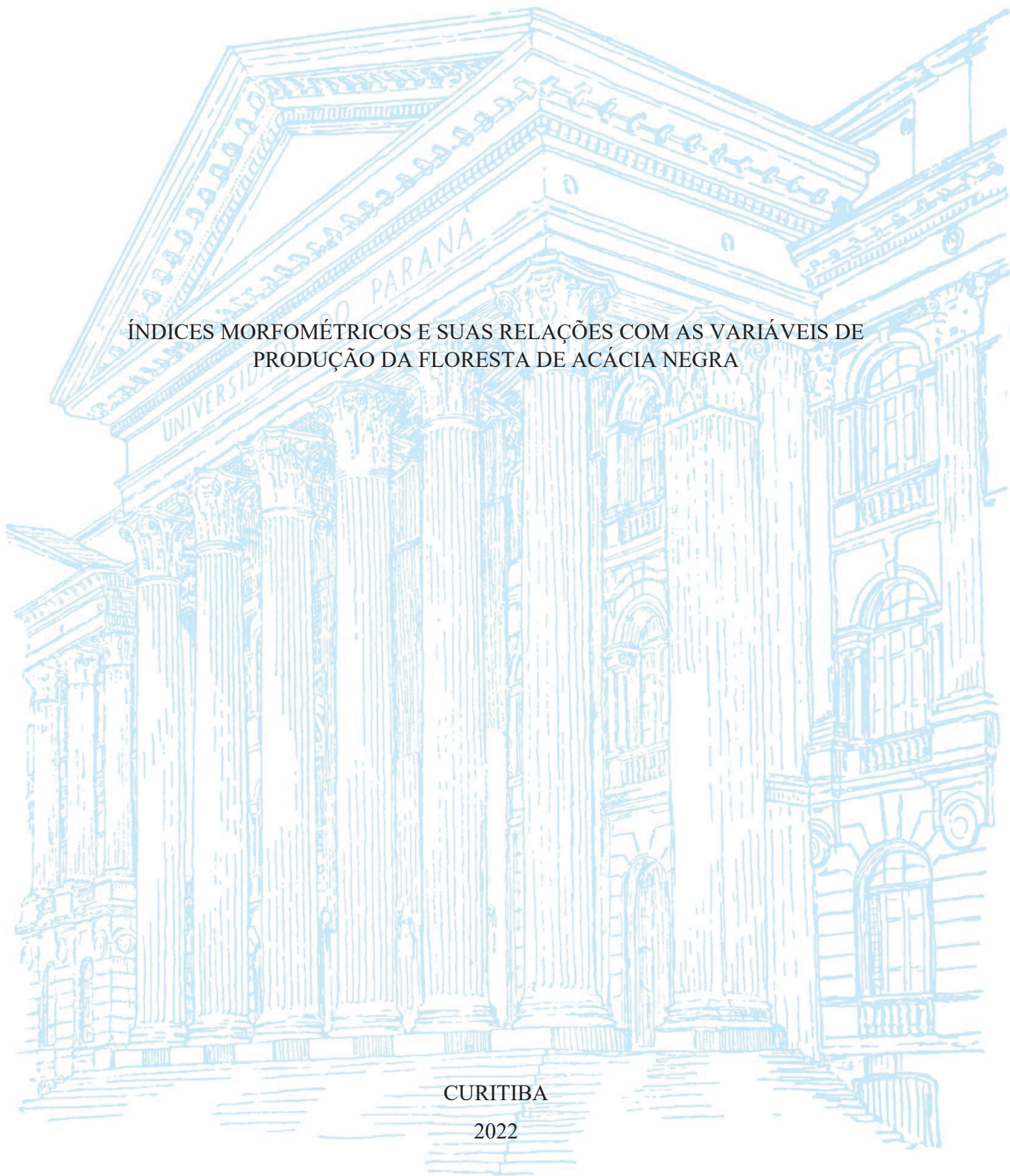
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LIZ LORENA CABRERA HONG

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS E SUAS RELAÇÕES COM AS VARIÁVEIS DE
PRODUÇÃO DA FLORESTA DE ACÁCIA NEGRA

CURITIBA

2022



LIZ LORENA CABRERA HONG

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS E SUAS RELAÇÕES COM AS VARIÁVEIS DE
PRODUÇÃO DA FLORESTA DE ACÁCIA NEGRA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Behling

Coorientador: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ana Paula Dalla Corte

CURITIBA

2022

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Hong, Liz Lorena Cabrera

Índices morfométricos e suas relações com as variáveis de produção da floresta de acácia negra / Liz Lorena Cabrera Hong. - Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Behling

Coorientadores: Prof. Dr. Sylvio Péllico Netto

Profa. Dra. Ana Paula Dalla Corte

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 03/02/2022.

Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Árvores - Medição. 2. Acácia. 3. Florestas - Métodos estatísticos.
4. Troncos (Botânica) - Medição. 5. Produtividade florestal. 6. Teses.
I. Behling, Alexandre. II. Péllico Netto, Sylvio. III. Dalla Corte, Ana Paula.
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.524



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **LIZ LORENA CABRERA HONG** intitulada: **Índices morfométricos e suas relações com as variáveis de produção da floresta de acácia negra**, sob orientação do Prof. Dr. ALEXANDRE BEHLING, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 03 de Fevereiro de 2022.

Assinatura Eletrônica

04/02/2022 11:40:54.0

ALEXANDRE BEHLING

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

08/02/2022 10:20:43.0

MÁRCIO CORAIOLA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica 08/02/2022 09:37:54.0

FABIANO DE OLIVEIRA FORTES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA)

Avenida Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4212 - E-mail: pgfloresta@gmail.com

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 145272

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 145272

Aos meus pais, Demecia Cabrera e Hong Ta Ming,
DEDICO.

AGRADECIMENTO

Minha gratidão a Deus pela benção da vida.

Meus agradecimentos aos meus pais, Demecia Cabrera e Hong Ta Ming, por seus esforços para que eu possa chegar aonde estou, e toda dedicação para que eu possa sempre ir mais além. Pelo amor que me proporcionam todos os dias. Gracias!

Aos meus irmãos, Cynthia, Araceli, Erica, Hellen e Luis, que são a minha base, meus melhores amigos e companheiros.

Ao meu parceiro nesta jornada, Jennison Mendes, pelo apoio emocional, amor, risadas e companheirismo.

Aos amigos que a “floresta” me deu, em especial à Gabriela Motta, Rubens Stipp, Larissa Assunção e Renata Coutinho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de cursar o mestrado.

Aos professores por seus conhecimentos e dedicação.

Aos colegas de curso pelo companheirismo e conhecimento compartilhado.

Ao meu professor e orientador Alexandre Behling por sua dedicação e confiança, pelo suporte e incentivo, pela paciência e excelente orientação para elaboração deste trabalho. O professor é singular, tem toda a minha admiração!

Ao professor Sylvio Péllico Neto, meu coorientador, por seu suporte e conhecimento inestimável. Suas contribuições engrandeceram este trabalho.

À professora Ana Paula Dalla Corte, minha coorientadora, pelo suporte e contribuição para finalização deste trabalho, por ser um grande exemplo de profissional, sendo a minha maior motivação nesta caminhada.

Aos meus amigos da vida e todos aqueles que nunca deixaram de me apoiar e incentivar.

Gracias!

Hoy sabemos que lo importante es soñar, liberar nuestro inconsciente, el filtro de censura del pensamiento. Creemos que al soñar perdemos un tercio de nuestra vida, y nos equivocamos.

(Seguiremos – Macaco)

RESUMO

O conhecimento da morfometria e das relações interdimensionais de espécies arbóreas auxiliam na determinação de intervenções silviculturais para a floresta ou indivíduo, permitem inferir sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade das árvores. Tendo essa importância, no presente trabalho são investigadas duas questões: (1) Como obter os índices morfométricos? (2) Qual a relação dos índices morfométricos com a produção de área basal (G), biomassa (B) e volume (V)? Essas questões foram respondidas por meio de experimentos conduzidos em florestas de acácia negra, para a qual não se tem informações a respeito. Sendo assim, o estudo tem como objetivo obter os índices morfométricos para a espécie acácia negra e avaliar a sua relação com a produção da floresta. Os dados utilizados foram provenientes de duas bases de dados (1. Floresta ao longo de um ciclo de cultivo e 2. Floresta em idade de colheita), coletados na região sul do estado do Rio Grande do Sul. A modelagem dos índices morfométricos foi efetuada por meio de três abordagens: 1) Estimativa Pontual, 2) Estimador por Razão e 3) Modelagem Correlacional. Os resultados dos índices morfométricos obtidos pela Estimativa Pontual são limitantes e esta abordagem, para a presente estrutura experimental, não é recomendada. Os Estimadores por Razão fornecem aos índices morfométricos as suas precisões, sendo preferível. Para a modelagem correlacional o índice varia de 0 a 1, permitindo a comparação dos índices, sendo uma abordagem também recomendada. É observada dependência dos valores dos índices morfométricos com a idade e local de cultivo. Para a floresta ao longo de um ciclo de cultivo o índice Proporção de Copa, de forma geral, apresenta maior correlação com as variáveis de produção, comparando-se aos demais índices. O Grau de Esbeltez é o índice que melhor se correlaciona com a área basal, biomassa e volume na floresta madura. Para a floresta em idade de colheita o índice Proporção de Copa apresenta forte correlação com as variáveis de produção, seguido do Índice de Saliência. Os índices Proporção de Copa e Grau de Esbeltez apresentam relação inversamente proporcional às variáveis de produção da floresta de acácia negra.

Palavras-chave: Morfometria, Estimadores por Razão, Área basal, Biomassa, Volume.

ABSTRACT

The knowledge of the morphometry and interdimensional relationships of tree species assist in determining silvicultural interventions for the forest or individual tree, allowing inferences to be made about the stability, vitality, and productivity of trees. Having this importance, in the present work two questions are investigated: (1) How to obtain the morphometric indices? (2) What is the relationship between morphometric indices and the production of basal area (G), biomass (B) and volume (V)? These questions were answered by experiments conducted in black wattle forests, for which no information is available. Thus, the study aims to obtain the morphometric indices for the black wattle species and evaluate its relationship with forest production. The data used came from two databases (1. Forest throughout a cultivation cycle and 2. Forest at harvest age), collected in the southern region of the state of Rio Grande do Sul. Modeling of the morphometric indices was carried out using three approaches: 1) Point Estimation, 2) Ratio Estimator and 3) Correlational Modeling. The results of morphometric indices obtained by Point Estimation are limiting and this approach, for the present experimental setup, is not recommended. Ratio Estimators provide the morphometric indices with their accuracies and is preferable. For correlational modeling the ratio ranges from 0 to 1, allowing the indices to be compared, and this approach is also recommended. Dependence of the morphometric index values with age and location is observed. For the forest over crop cycle, the Crown Ratio (CR), in general, shows greater correlation with the production variables, compared to the other indices. The Degree of Slenderness (DS) is the index that best correlates with basal area, biomass, and volume in the mature forest. For the forest at harvesting age, the CR shows a strong correlation with the production variables, followed by the Saliency Index (SI). The indexes CR and DS present inversely proportional relation to the production variables of the black acacia forest.

Keywords: Morphometry, Ratio Estimators, Basal Area, Biomass, Volume.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO – CAPÍTULO 1.	22
FIGURA 2 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO – CAPÍTULO 2.	23
FIGURA 3 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.	37
FIGURA 4 - VARIÁVEIS MENSURADAS NAS ÁRVORES DE ACÁCIA NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.	40
FIGURA 5 - INTERVALO DE CONFIANÇA, EM GRUPOS DE IDADES, DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS AJUSTADOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.	58
FIGURA 6 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADAS. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 1 ANO DE IDADE.	110
FIGURA 7 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 2,33 ANO DE IDADE.	111
FIGURA 8 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 5,25 ANOS DE IDADE.	112
FIGURA 9 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 9,83 ANOS DE IDADE.	113
FIGURA 10 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 1,75 ANOS DE IDADE.	114
FIGURA 11 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS	

PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 2,75 ANOS DE IDADE.....	115
FIGURA 12 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 5 ANOS DE IDADE.....	116
FIGURA 13 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 10,08 ANOS DE IDADE.....	117
FIGURA 14 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 1,83 ANOS DE IDADE.....	118
FIGURA 15 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 3,08 ANOS DE IDADE.....	119
FIGURA 16 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 5,75 ANOS DE IDADE.....	120
FIGURA 17 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 10,75 ANOS DE IDADE.....	121
FIGURA 18 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, COM AS VARIÁVEIS PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m ² /ha), BIOMASSA (B, t/ha) E VOLUME (V, m ³ /ha).....	90
FIGURA 19 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR GRUPOS, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m ² /ha), BIOMASSA (B, em kg /ha) E VOLUME (V, em m ³ /ha).....	91

FIGURA 20 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m ² /ha), BIOMASSA (B, t/ha) E VOLUME (V, m ³ /ha) – B1.....	96
FIGURA 21 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR GRUPOS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m ² /ha), BIOMASSA (B, EM kg/ha) E VOLUME (V, EM m ³ /ha) – B1.....	97
FIGURA 22 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, PARA AS NOVAS PARCELAS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m ² /ha), BIOMASSA (B, t/ha) E VOLUME (V, m ³ /ha) – B2.....	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS POR IDADE E REGIÃO.	39
TABELA 2 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS APLICADOS AOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.	40
TABELA 3 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS APLICADOS AOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.	41
TABELA 4 - MODELOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM TRADICIONAL.	41
TABELA 5 - REPRESENTAÇÃO DOS MODELOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NA MODELAGEM POR ESTIMADORES POR RAZÃO.	43
TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA PRECISÃO DO ÍNDICE.	44
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO PARA OS VALORES DE CORRELAÇÃO.	49
TABELA 8 - CLASSIFICAÇÃO DOS POVOAMENTOS EM GRUPOS DE IDADE.	52
TABELA 9 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS COLETADAS NOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA, LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.	53
TABELA 10 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE <i>PC</i> , EM PORCENTAGEM, NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.	54
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE <i>GE</i> NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.	54
TABELA 12 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE <i>IS</i> NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.	55
TABELA 13 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DO <i>IA</i> NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.	56
TABELA 14 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DO <i>FC</i> NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.	57

TABELA 15 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL E AJUSTADOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.....	59
TABELA 16 - PRECISÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL AJUSTADOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.....	59
TABELA 17 - VALORES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	62
TABELA 18 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO ÍNDICE PC POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	63
TABELA 19 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO ÍNDICE GE POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	64
TABELA 20 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO IS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	65
TABELA 21 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO IA POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	66
TABELA 22 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO ÍNDICE FC POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	67
TABELA 23 - SIGNIFICÂNCIA DO ÍNDICE MORFOMÉTRICO POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	107
TABELA 24 - TESTE DE HOMOGENEIDADE PARA TODAS AS IDADES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.	107
TABELA 25 - TESTE DE HOMOGENEIDADE – AVALIAÇÃO POR GRUPOS DE IDADES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.....	107
TABELA 26 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO ÍNDICE <i>PC</i>	108
TABELA 27 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO ÍNDICE <i>GE</i>	108
TABELA 28 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO <i>IS</i>	109

TABELA 29 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO <i>IA</i>	109
TABELA 30 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO ÍNDICE <i>FC</i>	109
TABELA 31 - NÚMERO DE AMOSTRAS NAS PARCELAS, CLASSIFICADAS POR GRUPO DE IDADE.....	85
TABELA 32 - REPRESENTAÇÃO DOS MODELOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DA BASE DE DADOS 2.....	86
TABELA 33 - VALORES MÉDIOS DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, PARA B1, CLASSIFICADOS POR GRUPOS DE PARCELAS, OBTIDOS POR MEIO DA MODELAGEM CORRELACIONAL.....	88
TABELA 34 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO COM OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, PARA B1, OBTIDOS POR MEIO DA MODELAGEM CORRELACIONAL.....	89
TABELA 35 - TESTE DE SIGNIFICÂNCIA DA CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM CORRELACIONAL, E AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO – B1.....	93
TABELA 36 - VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PARA A RELAÇÃO VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM CORRELACIONAL.....	94
TABELA 37 - MATRIZ DE COMPONENTE ROTATIVA DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM CORRELACIONAL – B1.....	94
TABELA 38 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL – B1.....	94
TABELA 39 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL – B1.....	95
TABELA 40 - CORRELAÇÃO ENTRE A ÁREA BASAL (G , m^2/ha), BIOMASSA (B , t/ha) E VOLUME (V , m^3/ha) E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS - B2.....	98
TABELA 41 - VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PARA A RELAÇÃO VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS DA BASE DE DADOS 2...100	100

TABELA 42 - MATRIZ DE COMPONENTE ROTATIVA DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM POR ESTIMADOR POR RAZÃO – B2.....	100
---	-----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESTUDOS COM APLICAÇÕES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS EM ESPÉCIES NATIVAS E PLANTADAS.	27
QUADRO 2 - COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.	68
QUADRO 3 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS TRÊS ABORDAGENS APLICADAS NO ESTUDO.	70
QUADRO 4 - COMPARAÇÃO DE ESTIMADORES PARA MODELAGEM DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS.	72
QUADRO 5 - REFERENCIAL PARA INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DA FLORESTA.	87
QUADRO 6 - COMPORTAMENTO OBSERVADO DA FLORESTA DE ACÁCIA NEGRA.	101

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	20
2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
3. REVISÃO DA LITERATURA	24
3.1. Acácia negra (<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.)	24
3.2. Índices morfométricos	25
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 1	32
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	37
2.1. ORIGEM DOS DADOS	37
2.2. AMOSTRAGEM E ESTABELECIMENTO DOS POVOAMENTO DE ACÁCIA NEGRA.....	38
2.3. MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS	39
2.4. MODELOS DE MORFOMETRIA	40
2.5. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE MODELAGEM TRADICIONAL – ESTIMATIVA PONTUAL	41
2.6. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.....	42
2.7. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE VARIÁVEIS PADRONIZADAS	45
2.8. APLICAÇÕES DOS MÉTODOS PARA GERAÇÃO DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	49
2.9. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA IDADE E DE LOCAIS DE CULTIVO SOBRE OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	50
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
3.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS	52
3.2. MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	53
3.2.1. Ajuste por Estimativa Pontual.....	53
3.2.2. Ajuste dos modelos morfométricos com estimadores por razão.....	58
3.2.3. Ajuste dos modelos morfométricos por modelagem correlacional.....	62
3.3. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS IDADES E AMBIENTES	69
3.4. COMPARAÇÃO DOS ESTIMADORES PARA MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	70

3.5. COMPARAÇÃO DAS MODELAGENS.....	71
4. CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS	73
CAPÍTULO 2.....	77
1. INTRODUÇÃO	79
2. MATERIAL E MÉTODOS	81
2.1 INFORMAÇÕES SOBRE ÁREA DE ESTUDO E DOS DADOS.....	81
2.1.1. Base de dados 1 – origem dos dados e mensuração das variáveis	81
2.1.2. Base de dados 2	82
2.2. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	85
2.2.1. Base de dados 1 – dados coletados em florestas ao longo de um ciclo de cultivo..	85
2.2.2. Base de dados 2– dados coletados em uma floresta na idade de colheita	85
2.3. ANÁLISE DE FATORES	86
2.4. RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	87
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
3.1. BASE DE DADOS 1 – AVALIAÇÃO AO LONGO DO CICLO DE CULTIVO	88
3.1.1. Teste de hipótese da correlação entre os índices morfométricos com as variáveis de produção	92
3.1.2. Análise de fatores	93
3.1.3. Índices morfométricos obtidos por meio da estimativa pontual	94
3.2. BASE DE DADOS 2 – AVALIAÇÃO EM UMA IDADE DE COLHEITA	98
3.2.1. Análise de fatores	99
4. CONCLUSÃO.....	102
REFERÊNCIAS	103
CONCLUSÕES GERAIS	106
ANEXOS	107

1. INTRODUÇÃO GERAL

A morfometria refere-se ao estudo da variação da forma de órgãos e organismos e sua covariação com outras variáveis. Trata do estudo da forma no espaço bidimensional ou tridimensional (PARÉS, 2017). O estudo morfométrico de uma árvore e suas variáveis permite inferir sobre as relações interdimensionais e reconstruir o espaço ocupado por cada árvore e, assim, prever o grau de competição de um povoamento (ROMAN et al., 2009; KLEIN, 2017). Ainda, da mesma forma, o conhecimento das relações morfométricas de espécies arbóreas são essenciais para a melhoria das intervenções silviculturais (LEONARDO et al., 2017; DURLO, DENARDI, 1998).

Os primeiros estudos sobre a dimensão da copa e suas relações são creditados a Burger em 1939 (COSTA et al. 2015). Durlo e Denardi (1998) apresentaram as definições das principais características morfométricas das árvores: (1) Proporção de Copa (*PC*), (2) Grau de Esbeltez (*GE*), (3) Índice de Saliência (*IS*), (4) Índice de Abrangência (*IA*) e (5) Formal de Copa (*FC*). Vários trabalhos foram desenvolvidos utilizando-se estes índices.

Hellmann et al. (2020) descreveram e avaliaram a morfometria e as relações dendrométricas da espécie *Eugenia pyriformis* a fim de auxiliar na elaboração do manejo adequado para a espécie. Um estudo conduzido por Carrijo et al. (2017) analisou a eficiência de índices morfométricos e variáveis morfométricas alternativas para a classificação de sítios florestais em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*. Leonardo et al. (2017) descreveram os aspectos morfométricos da árvore de pequi (*Caryocar brasiliense*), com o propósito de fornecer parte dos subsídios necessários para o manejo silvicultural adequado para o seu cultivo comercial. O estudo morfométrico de espécies arbóreas tem sido aplicado em diversas pesquisas na área florestal, com espécies nativas e plantadas; outros exemplos foram conduzidos por: Nutto et al. (2001), Fleig (2002), Orellana e Koehler (2008), Roman et al. (2009), Costa (2011), Sanquetta et al. (2013), Sanquetta et al. (2014), Istchuk et al. (2016), Škëma et al. (2017), Carrijo et al. (2017), Hess et al. (2018), Santos et al. (2019).

A forma e a dimensão da copa das árvores auxiliam na determinação de intervenções silviculturais para a floresta ou indivíduo. Deste modo, segundo Durlo et al. (2004), fazer interferências ou definir técnicas de manejo é importante para o progresso do incremento das árvores, considerando o conhecimento das exigências de espaço vital das diferentes espécies ao longo do seu ciclo de vida, e consequentemente, determinar a melhor condição de desenvolvimento e manutenção da floresta (KLEIN, 2017).

Tendo em vista a importância da morfometria de espécies arbóreas para a silvicultura de florestas e povoamentos florestais, neste estudo serão investigados: (1) Como obter os índices morfométricos; (2) Qual a relação dos índices morfométricos com a produção de área basal (G), biomassa (B) e volume (V) para a espécie acácia-negra. Para isso, foram propostos seguintes objetivos:

- a) Obter os índices morfométricos pelo método da estimativa pontual;
- b) Aplicar estimador por razão para obtenção dos índices morfométricos;
- c) Aplicar variáveis padronizadas para a obtenção dos índices morfométricos;
- d) Determinar a precisão e o intervalo de confiança dos índices;
- e) Avaliar os métodos de obtenção dos índices morfométricos;
- f) Avaliar a relação dos índices morfométricos com a produção das variáveis área basal, biomassa e volume.

2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para atingir os objetivos propostos, a dissertação foi estruturada da seguinte maneira:

- Parte inicial – Introdução geral e revisão da literatura;
- Capítulo I – Índices morfométricos obtidos por meio de estimadores por razão e variáveis padronizadas em povoamento de acácia negra no estado do Rio Grande do Sul;
- Capítulo II – Relação dos índices morfométricos com as variáveis de produção da floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. no estado do Rio Grande do Sul.
- Parte final – Conclusões gerais.

Na parte inicial estão a introdução geral, na qual define-se o que é o estudo morfométrico, sua importância e aplicação para os povoamentos florestais. Na revisão da literatura é dada ênfase para a espécie acácia negra e para a descrição dos índices morfométricos.

No capítulo 1 (Figura 1), constando de introdução, material e métodos, resultados e discussões e conclusão, apresenta-se meios de obtenção dos índices morfométricos em uma floresta de acácia negra ao longo do seu ciclo de cultivo, finalizando-se com a comparação dos métodos e recomendação de sua aplicação.

O capítulo 2 (Figura 2), constando de introdução, material e métodos, resultados e discussões e conclusão, apresenta o estudo relacionando as variáveis de produção da floresta,

área basal, biomassa e volume, com os índices morfométricos. Para tanto, duas bases de dados foram utilizadas (1. floresta de acácia negra ao longo do ciclo de cultivo e 2. floresta de acácia negra em idade de corte), revelando o comportamento da produção com os índices, ao longo de um ciclo de cultivo e, especificamente, na idade de colheita.

Na parte final são apresentadas as conclusões gerais acerca dos dois capítulos com recomendações e observações.

FIGURA 1 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO – CAPÍTULO 1.

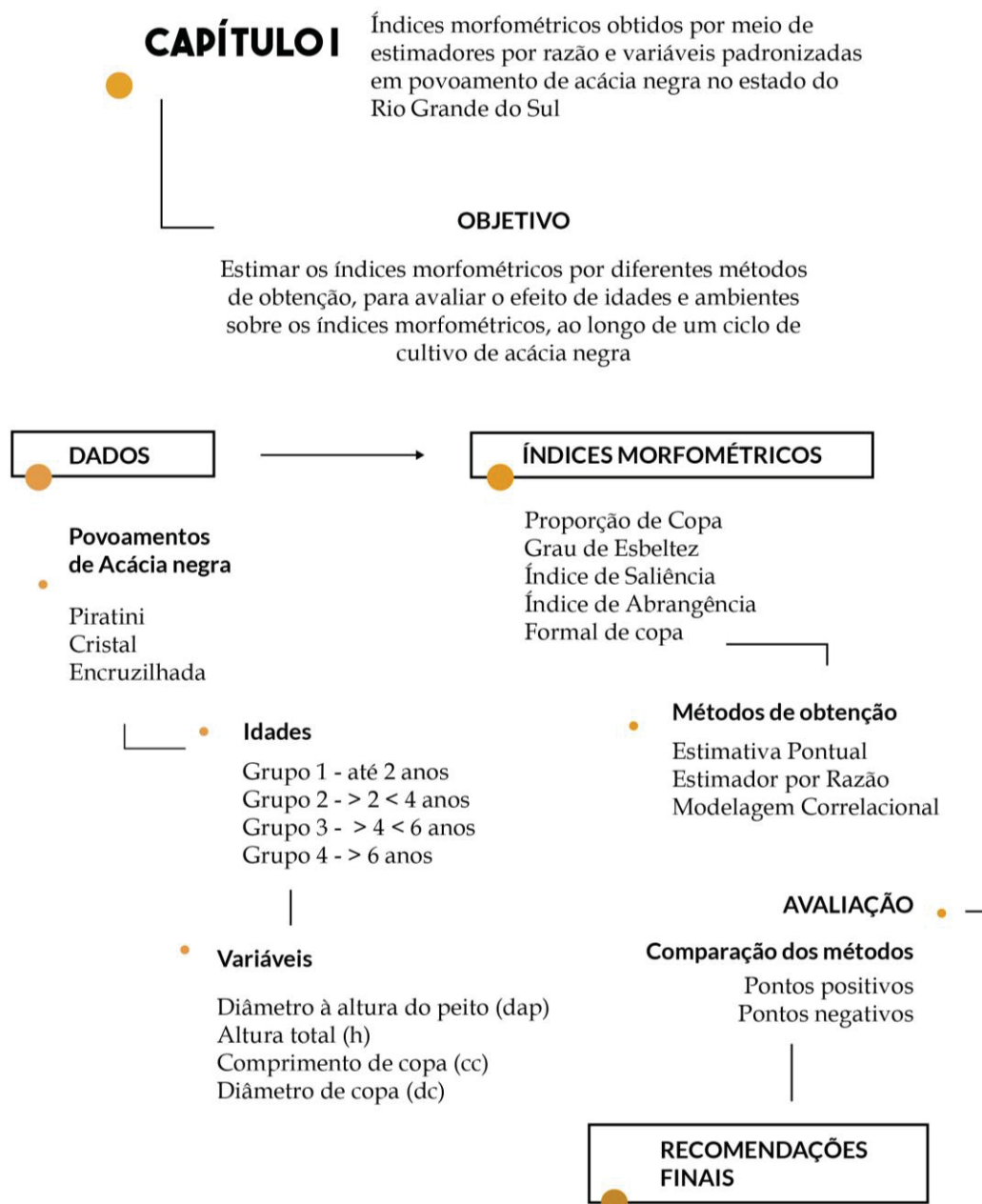
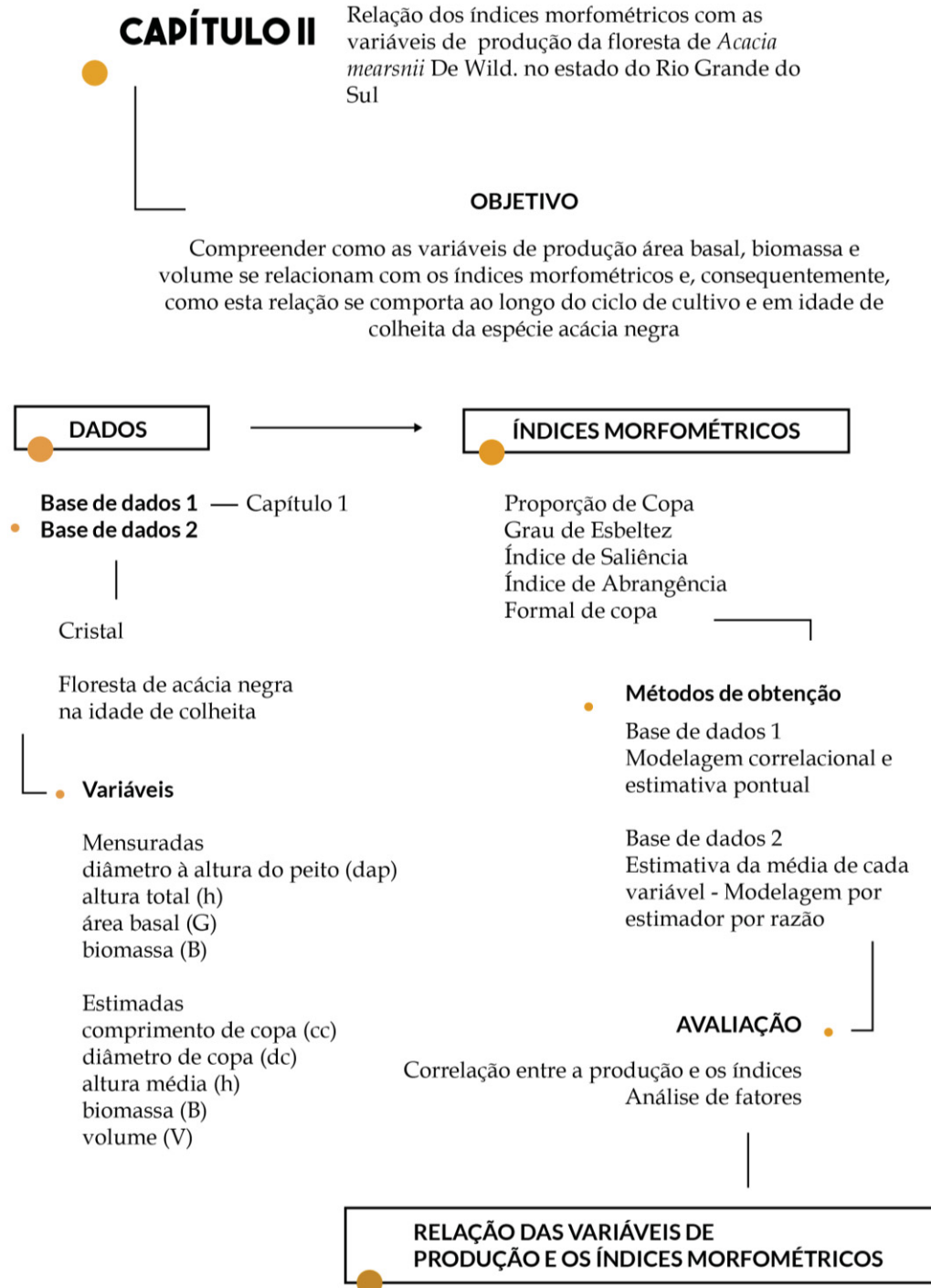


FIGURA 2 - ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO – CAPÍTULO 2.



3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)

A *Acacia mearnsii* De Wild é popularmente conhecida no Brasil por acácia negra. É uma espécie nativa do sudeste australiano, especialmente na região costeira, em declives adjacentes aos planaltos da região de Sydney, no estado de Nova Gales do Sul, até o extremo sudeste do Estado da Austrália do Sul e em áreas de baixa e média altitude do estado da Tasmânia (HIGA et al. 2009).

A acácia negra é uma espécie arbórea pertencente à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae e gênero *Acacia*. O seu nome comum faz referência à coloração escura da sua casca e folhagem. Em sua área de ocorrência natural caracteriza-se por ser um arbusto grande ou uma pequena árvore, comumente alcançando de 6 a 10 m de altura, com fuste geralmente retilíneo quando em conjunto com outras árvores (MOCHIUTTI, 2007).

Dentre as espécies potenciais para o cultivo florestal, a acácia negra destaca-se em virtude de seu rápido crescimento e capacidade de associação simbiótica com bactérias do gênero *Rhizobium* e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, característica que facilita o estabelecimento dessas plantas em solos de baixa fertilidade natural ou em acentuado estado de degradação (CECONI et al., 2007). No Brasil, a plantação de acácia-negra tem característica multifuncional, permite o plantio consorciado de culturas agrícolas e a criação de gado em seu interior. De suas árvores, utiliza-se a casca e a madeira para fins industriais (HIGA et al. 2009).

O cultivo da espécie é comercialmente realizado no Rio Grande do Sul, onde representa significativa parcela dos reflorestamentos do estado. Além do uso como matéria-prima para tanino, celulose e carvão, apresenta, ainda, grande importância social, por ser plantada em pequenas propriedades, beneficiando milhares de famílias na região. Cultivada por pequenos produtores em sistemas agrossilvipastoris, inicialmente, quando as árvores apresentam pequena altura e o dossel da floresta está aberto, os acacicultores fazem o plantio de milho, melancia, mandioca e outras culturas agrícolas consorciadas à acácia-negra. Posteriormente, quando o dossel da floresta já está fechado, a área é então aproveitada para o pastoreio, aumentando com isso a rentabilidade do investimento (SCHNEIDER et al., 2000). A acacicultura é uma atividade econômica consolidada e tem trazido relevantes benefícios aos produtores, desempenhando papel importante no setor florestal no estado do Rio Grande do Sul.

A principal praga que ocorre em plantios de acácia-negra é a doença denominada popularmente como gomose, causada por *Phytophthora nicotianae* e *P. boehmeriae*, sendo um dos fatores limitantes ao aumento da produtividade. A gomose se caracteriza por ser uma doença que ocorre no tronco, surgindo na casca, desde a região do colo até as porções superiores do tronco, podendo atingir o lenho (SANTOS; LUZ, 2007). As plantas de acácia-negra são suscetíveis ao patógeno em qualquer idade e o solo é considerado a principal fonte de inóculo primário (SANTOS; LUZ, 2007). A doença acarreta prejuízos econômicos relevantes, pois ocasiona uma diminuição na produção da casca e, em casos extremos, ocasiona a morte das árvores. Além desta, outras pragas como o *Oncideres impluviata*, conhecido como cascudo serrador, a lagarta (*Adeloneivaia subangulata*) e a broca do tronco (*Platypus sulcatus*) atacam a espécie.

A colheita desta cultura pode ocorrer entre 5 a 10 anos de acordo com o clima, considerando-se 7 anos a idade na qual os teores de tanino da casca apresentam a melhor qualidade. A produtividade gira em torno de 10 a 25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira e de 15 t ha⁻¹ de casca. No Paraná, experimentos indicam produtividade de 31-36 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (COSMO et al., 2020).

3.2. Índices morfométricos

Um aspecto importante no manejo de espécies florestais é conhecer a morfometria das árvores, cuja obtenção se dá por meio de mensuração de variáveis de fácil obtenção, como diâmetro à altura do peito (*dap*), altura (*h*) e, também, aquelas relacionadas à copa (KLEIN, 2017). Estudar a morfometria de espécies florestais contribui para a compreensão do desenvolvimento de um indivíduo na floresta (OLIVEIRA, 2019). Segundo Ricken et al. (2020), o estudo da morfometria da copa das árvores permite entender as relações interdimensionais e reconstruir o espaço utilizado por árvore. Durlo e Denardi (1998) acrescentam, que estudos referentes à morfometria de árvores são utilizados para prever o grau de competição de um povoamento e inferir sobre a estabilidade, a vitalidade e, também, a produtividade de cada indivíduo arbóreo. Ademais, Roman et al. (2009) consideram que o conhecimento da morfometria e a dinâmica das formas das árvores possibilitam aprimorar as intervenções silviculturais.

Os primeiros estudos sobre morfometria se devem a Burger em 1939 com o modelo de copa para a espécie *Picea abies* (L.) Karst. (Costa, 2011). Durlo e Denardi (1998) apresentam a definição das principais características morfométricas das árvores: 1) Proporção de Copa

(*PC*), 2) Grau de Esbeltez (*GE*), 3) Índice de Saliência (*IS*), 4) Índice de Abrangência (*IA*) e 5) Formal de Copa (*FC*).

A Proporção de Copa, segundo Orellana e Koehler (2008), é expressa pela relação entre o comprimento de copa (*cc*) e a altura total da árvore (*h*), em porcentagem, no qual quanto maior a porcentagem de copa mais vital e produtiva é a árvore. A Proporção de Copa é usada, também, como variável de entrada para a estimativa do crescimento e da mortalidade de árvores individuais, assim como indicador de mudanças na aparência do povoamento ao longo do tempo, para adequação do ambiente (COSTA; FINGER, 2017).

O Grau de Esbeltez caracteriza a estabilidade das árvores e é determinado pela razão da altura total pelo diâmetro à altura do peito. Segundo Durlo e Denardi (1998), quanto mais alto for o Grau de Esbeltez maior é a instabilidade da árvore. Hess et al. (2018), apontam que este índice serve como indicador da capacidade ou resistência da árvore devido ao movimento provocado pelo vento.

O Índice de Saliência, cuja relação se dá pelas variáveis diâmetro de copa (*dc*) e *dap* da árvore, expressa quantas vezes o *dc* é maior que o seu *dap* (TORRES et al., 2019). Ainda, havendo alta correlação entre as variáveis, este índice representa o espaço a ser liberado ao redor de uma árvore para que ela possa crescer sem concorrência (SANTOS et al., 2019), sendo, portanto, importante na especificação de desbaste (DURLO; DENARDI, 1998), ou, até mesmo, na projeção de espaçamentos de plantios. Segundo Tonini e Arco-Verde (2005) quando se prevê o manejo de um povoamento não pela sua idade, mas pelo diâmetro atingido por seus componentes, o número máximo de árvores por unidade de área, à medida que as árvores forem crescendo, pode ser calculado por esse índice.

O Índice de Abrangência, obtido pela razão entre *dc* e altura total da árvore (COSTA, 2011), pode ser utilizado como indicador de desbaste ao longo do ciclo do povoamento, uma vez que exista alta correlação entre estas variáveis (TORRES, et al., 2019).

O índice Formal de Copa, expresso pela relação *dc* e o comprimento da copa (*cc*), indica à qual forma geométrica a árvore se assemelha (ZIMMERMANN et al., 2012). Quanto menor o Formal de Copa, mais esbelta e melhor é a produtividade de um povoamento (DURLO; DENARDI, 1998; ORELLANA; KOEHLER, 2008).

O estudo da morfometria de árvores, bem como a descrição dos índices morfométricos tem sido aplicado em diversos trabalhos na área florestal, como os apresentados por Padoin e Finger (2010), Klein (2017), Carrijo et al. (2017), Silva et al. (2017), Hess et al. (2018), Santos et al. (2019), Hellmann et al. (2020), com o objetivo de gerar mais informações sobre o assunto.

No Quadro 1 estão apresentadas algumas aplicações dos índices morfométricos em florestas nativas e plantadas.

QUADRO 1 - ESTUDOS COM APLICAÇÕES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS EM ESPÉCIES NATIVAS E PLANTADAS.

Aplicação	Autor
Definição de diretrizes para o desbaste de quatro espécies nativas da Amazônia, plantadas em povoamentos homogêneos no município de Cantá, no estado de Roraima.	Tonini e Arco-Verde (2005)
Relação da produção de sementes de árvores nativas de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição.	Tonini et al. (2008)
Descrever e avaliar as características morfométricas e as relações interdimensionais para a espécie florestal <i>Cordia trichotoma</i> como subsídio à elaboração de planos de manejo envolvendo espécies florestais nativas.	Roman et al. (2009)
Desenvolvimento de um modelo capaz de prever o incremento diamétrico de <i>Pinus taeda</i> baseado nas dimensões da árvore e seu grau de competição, em duas regiões, no sul do Brasil.	Zimmermann et al. (2016)
Elaboração e subsídios para o manejo de espécies.	Capucho et al. (2016), Dionisio et al. (2017), Carmona et al. (2018), Oliveira et al. (2018), Torres et al. (2019), Santos et al. (2019), Hellmann et al. (2020), Silva et al. (2020)
Comparação das relações morfométricas de árvores em diferentes posições sociais (dominante, codominante e dominada)	Costa et al. (2016)
Interpretação das modificações de acordo com a posição sociológica e dimensão para a espécie <i>Araucaria angustifolia</i> no Planalto Catarinense.	Klein et al. (2017)
Descrever o incremento em área transversal de árvores individuais de <i>Ocotea porosa</i> na região Central de Santa Catarina .	Weber et al. (2018)
Significância dos índices morfométricos para a posição sociológica de <i>Tectona grandis</i> L.f., com densidade final do ciclo de produção de madeira nobre, no município de Rosário Oeste, Mato Grosso.	Caldeira et al. (2018)
Efeito do espaçamento inicial de plantio e da idade na morfometria da copa de <i>Eucalyptus grandis</i> x <i>E. urophylla</i> .	Trindade et al. (2019)
Modelagem morfométrica de <i>Licania tomentosa</i> (Benth.) para planejamento da arborização urbana, nos municípios de São João Evangelista e Peçanha, Minas Gerais.	Lafetá et al. (2020)
Caracterização do fragmento florestal em área de preservação permanente na Amazônia Ocidental	Evaristo et al. (2021)

REFERÊNCIAS

- CALDEIRA, G. V.; VOLPATO, M.; LENZI, I. L. C.; SANTOS, M. A.; MÔRA, R.; DRESCHER, R. A influência da posição sociológica na morfometria de *Tectona grandis* L.f. In: IV Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal. 2018, Santa Maria. **Anais...** Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Ciências Florestais, 2018. p. 14-17.
- CAPUCHO, H. L. V.; REBÊLO, A. G.; PAULETTO, D.; SILVA, A. R.; NETO, V. P. Morfometria de *Dipteryx* spp. em sistemas agroflorestais em Belterra e Mojuí dos Campos-Pará. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 10., 2016, Cuiabá. SAF: aprendizados, desafios e perspectivas: anais. Cuiabá: SBSAF, 2016., 2016.
- CARMONA, I. N.; AQUINO, M. G. C.; ROCHA, D. I. S.; SILVA, J. J. N; FICAGNA, A. G.; BALONEQUE, D. D.; OTAKE, M. Y.; PAULETTO, D. Variáveis morfométricas de três espécies florestais em sistema agroflorestal. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 131-144, 2018.
- CARRIJO, J. V. N. **Uso de índices morfométricos na classificação das unidades produtivas em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* no estado de Goiás**. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- CARRIJO, J. V. N.; MIGUEL, E. P., REZENDE, A. V.; GASPAR, R. O.; MARTINS, I. S.; MEIRA JUNIOR, M. S.; ANGELO, H.; JESUS, C. M. Morphometric indexes and dendrometric measures for classification of forest sites of *Eucalyptus urophylla* stands. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 9, p. 1146-1153, 2017.
- CECONI, D. E.; POLETTO, I.; LOVATO, T.; SCHUMACHER, M. V.. Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. estabelecido em área degradada por mineração de carvão. **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.
- COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M.; NOVAKOSKI, F. P. **Cultivo de acácias: acácia australiana e acácia negra**, 2020.
- COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**, Lages, SC. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; FLEIG, F. D. Influência da posição social nas relações morfométricas de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 225-234, 2016.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G. Efeito da competição nas relações dimensionais de Araucária. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

DIONISIO, L. F. S.; CONDÉ, T. M.; GOMES, J. P.; MARTINS, W. B. R.; SILVA, M. W.; SILVA, M. T. Caracterização morfométrica de árvores solitárias de *Bertholletia excelsa* H.B.K. no sudeste de Roraima. **Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 2, p. 163-173, 2017.

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

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de Cedrela fissilis Vellozo. **Ciência florestal**, v. 14, n. 2, p. 79-89, 2004.

FLEIG, F. D.. **Morfometria e Quantificação da Biomassa Comercial e Residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em reflorestamentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

HELLMANN, S.; WATZLAWIK, L. F.; LIMA, P. C. G.; LIMA, V. A. Morfometria e relações dendrométricas de *Eugenia pyriformis* Cambess. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 37-45, 2020.

HESS, A. F.; ARRUDA DE SOUZA, I.; COSTA, E. A.; MAGALHÃES, T. L. Morphometric Relationships as Indicative of Silvicultural Interventions for Brazilian Pine in Southern Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 7, p. 110-121, 2018.

HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S.; MOCHIUTTI, S.; MORA, A. L.; HIGA, A. R.; SIMON, A. A. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 2009.

ISTCHUK, A. N.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Estimativa das relações interdimensionais em povoamentos homogêneos de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 4, p. 401-407, 2016.

KLEIN, D. R. **Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto sul catarinense**. 122 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

LAFETÁ, B. O.; SILVA, F. F.; SANTOS, M. A.; PIMENTA, I. A.; FONTAN, I. C. I.; FONSECA, N. R.; SARTORI, C. J. Modelagem morfométrica de *Licania tomentosa* (Benth.) por regressão logística e máquinas vetor de suporte. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, 2020.

LEONARDO, F. V. S.; CERQUEIRA, C. L.; LENZI, I. L. C.; MADI, J. P. S.; DRESCHER, R.; CALDEIRA, S. F.; MARTINEZ, D. T. Morphometry of Caryocar brasiliense Camb. in homogeneous plantation in Cerrado region. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 131-135, 2017.

MOCHIUTTI, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) no Rio Grande do Sul**. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NUTTO, L.; TONINI, H. BORSOI, G. A.; MOSKOVICH, F. A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 42, p. 123 -138, 2001.

OLIVEIRA, T. M. **Influência das relações morfométricas para o manejo de *Tectona grandis* Linn F.** 45 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

OLIVEIRA, T. M.; MADI, J. P.; CERQUEIRA, C. L.; MILLIKAN, P. H. K.; CARVALHO, M. P. L. C.; CARVALHO, S. P. C. Relações morfométricas para árvores de *Tectona grandis*. **Advances in Forestry Science**, v.5, n.4, p.461-465, 2018.

ORELLANA, E. KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 95-105, 2010

RICKEN, P.; HESS, A. F.; PÓVOA DE MATTOS, P.; BRAZ, E. M. NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T. Morfometria de *Araucaria angustifolia* em diferentes altitudes no Sul do Brasil. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 40, p. 1-11, 2020.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell) Arráb. Ex. Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

SANTOS, A. R. C. S.; SILVA, L. G.; VIEIRA, A. C. S.; SANTOS, A. A. L.; SILVA, N. L. FLORIANO, E. P. Morphometry of *Tabebuia aurea* (Silva Manso, Benth. & Hook. f ex s. Moore) in sections of the Federal University of Alagoas, Maceió, AL. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 32445-32454, 2019.

SANTOS, A. F.; LUZ, E. D. M. N. A gomose da acácia-negra no Brasil: a review. **Summa Phytopathologica**, v. 33, p. 113-118, 2007.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; ROGL, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Iheringia, Série Botânica**, v. 68, n. 1, p. 103–114, 2013.

SANQUETTA C.R.; BEHLING A.; CORTE A. P. D.; FERNANDES A. C.; BECKERT S. M.; SIMON A. A. Equações para Estimativa do Diâmetro de Copa para Acácia-negra. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 192-205, 2014.

SCHNEIDER, P. R.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; KLEIN, J. E. M. Crescimento da acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2000.

SILVA, F. A. et al. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017.

SILVA, J. A. G.; PAULETTO, D.; SILVA, A. F.; CARVALHO, C. S. S.; NASCIMENTO, H. G. G. Morfometria de plantios de *Dipteryx odorata* Aubl Willd (Cumaru) no Oeste do Pará. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1171-1180, 2020.

ŠKĖMA, M.; MIKŠYS, V.; MARIUS A.; ŠILINSKAS, B. VARNAGIRYTĖ-KABAŠINSKIENĖ I. Biomass Structure and morphometric parameters for non-destructive biomass estimation of common forest underbrush species in Lithuania. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 27, n. 1, 2018.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

TONINI, H.; KAMINSKI, P. E. COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.43, n.11, p.1509-1516, 2008.

TORRES, V. S.; TODESCHINI, F.; FARIAS, M. F. Morfometria de *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, em floresta urbana de Porto Alegre. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 25, n. 1, p. 20-30, 2019.

WEBER, V.P.; FINGER, C. A. G.; COSTA, E. A.; ZIMMERMANN, A. P. L.; LONGHI, R. V. Modelagem linear generalizada para descrever o incremento em área transversal de árvores individuais de imbuia. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 123 - 132, 2018.

ZIMMERMANN, A. P. L.; COSTA, E. A.; SCHRÖDER, T. FLEIG, F. D. Modelagem do incremento diamétrico de *Pinus taeda* em função de variáveis da copa e índices de competição. **Floresta**, v. 46, n. 1, p. 115 - 122, 2016.

ZIMMERMANN, APL et al. Relações morfométricas para árvores dominantes de *Pinus taeda* no Estado do Paraná. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 7., 2012, Viçosa, MG.[Anais...]. Viçosa, MG: UFV, 2012., 2012.

CAPÍTULO 1

ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO E VARIÁVEIS PADRONIZADAS EM POVOAMENTO DE ACÁCIA NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

RESUMO

O estudo morfométrico de espécies florestais contribui para a compreensão do desenvolvimento de um indivíduo a partir de variáveis como diâmetro à altura do peito (*dap*), altura e informações sobre a copa da árvore. As principais características morfométricas das árvores são a Proporção de Copa (*PC*), Grau de Esbeltez (*GE*), Índice de Saliência (*IS*), Índice de Abrangência (*IA*) e Formal de Copa (*FC*). A modelagem tradicional para obtenção destes índices resulta em uma estimativa pontual. Tendo isto em vista, o objetivo deste estudo foi 1) obter os índices morfométricos por modelagem tradicional, por meio de estimadores por razão e variáveis padronizadas; 2) desenvolver uma prova matemática de que os valores obtidos por coeficiente de correlação correspondem ao estimador por razão com variáveis padronizadas, 3) aplicar teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para comparar o efeito das idades nos índices morfométricos. Os dados utilizados para a efetuação deste trabalho foram obtidos na região sul do estado do Rio Grande do Sul, em três regiões, que apresentam concentração de plantios comerciais da espécie florestal acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.), denominadas: Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini. A mensuração de variáveis ocorreu nos meses de junho e julho do ano de 2014. Quarenta e oito parcelas temporárias foram instaladas e todas as árvores nas parcelas foram consideradas para mensuração das variáveis *dap*, altura total (*h*), comprimento de copa (*cc*) e diâmetro de copa (*dc*). A partir destas variáveis foram obtidos os índices morfométricos: Proporção de Copa (*PC*), Grau de Esbeltez (*GE*), Índice de Saliência (*IS*), Índice de Abrangência (*IA*) e Formal de Copa (*FC*). Foram testados três procedimentos para obtenção dos índices: estimativa pontual (método tradicional), estimativa por razão e estimativa correlacional. A obtenção dos índices por meio do método tradicional não foi apropriada para o presente caso, devido à forma de seleção das árvores. Este motivo condicionou a recomendação da obtenção dos índices via estimadores por razão, método que, ainda, proporciona ao índice seu intervalo de confiança e também a sua precisão. O terceiro método, obtenção dos índices com variáveis padronizadas e estimadores por razão (modelagem correlacional), forçou os índices a variarem em um intervalo de 0 a 1, permitindo a comparação dos índices. Foi demonstrado que esta modelagem corresponde ao coeficiente de correlação entre as variáveis. A partir da seleção do terceiro método para obtenção dos índices morfométricos, comparações entre locais e idades foram efetuadas, revelando efeitos dos ambientes e das idades sobre os índices morfométricos.

Palavras-chave: Morfometria, Estimadores por razão, *Acacia mearnsii*, Padronização.

ABSTRACT

The morphometric study of forest species contributes to understanding the development of a tree through variables such as diameter at breast height (dbh), height and data of the tree canopy. The main morphometric characteristics of the trees are the Crown Ratio (CR), Degree of Slenderness (DS), Saliency Index (SI), Coverage Index (CI) and Crown Form (CF). Traditional modeling to obtain these indexes results in a one-off estimate. The objective of this study was 1) to obtain morphometric indices by traditional modeling, by means of ratio estimates and standardized variables; 2) develop a mathematical test that the values obtained by correlation coefficient correspond to the ratio estimates with standardized variables, 3) apply homogeneity test to correlation coefficients to compare the effect of ages on morphometric indices. The data used to perform this work were obtained in the southern region of the state of Rio Grande do Sul, in three regions, whose concentration of commercial plantations of the black wattle species (*Acacia mearnsii* de Wild.), are located in: Cristal, Encruzilhada do Sul and Piratini. The measurement of variables occurred in June and July of 2014. Forty-eight temporary plots were installed and all trees in the plots were measured for the variables diameter at breast height (dbh), total height (h), crown length (l) and crown diameter (dc). From these variables were obtained the morphometric indices: Crown Ratio (CR), Degree of Slenderness (DS), Saliency Index (SI), Coverage Index (CI) and Crown Form (CF). Three procedures were tested to obtain the indices: point estimation (traditional method), ratio estimation and correlational estimation. Obtaining the indices through the traditional method was not appropriate for the present case, due to the way the trees were selected. This reason conditioned the recommendation of obtaining the indices via ratio estimators, a method that still provides the index its confidence interval and also its accuracy. The third method, obtaining the indices with standardized variables and ratio estimators (correlational modeling), forced the indices to vary in a range from 0 to 1, allowing the indices to be compared. It was shown that this modeling correlates with the correlation coefficient between the variables. After selecting the third method for obtaining morphometric indices, comparisons between sites and ages were made, revealing effects of environments and ages on morphometric indices.

Keywords: Morphometry, Ratio Estimators, *Acacia mearnsii*, Standardization.

1. INTRODUÇÃO

Estudos referentes à morfometria de árvores são utilizados para prever o grau de competição de um povoamento e inferir sobre a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo arbóreo (DURLO; DENARDI, 1998). Os principais índices morfométricos das árvores são: (1) Proporção de Copa (*PC*), (2) Grau de Esbeltez (*GE*), (3) Índice de Saliência (*IS*), (4) Índice de Abrangência (*IA*) e (5) Formal de Copa (*FC*).

Normalmente, os índices morfométricos são calculados de forma a obter um único valor, ou seja, são calculados gerando uma estimativa pontual. Entretanto, seria útil obter também a precisão do índice, para identificar seu comportamento, em termos de média e variância, em diferentes idades, ou para povoamentos em diferentes condições ambientais. Dessa forma, além de se estimar o valor pontual (valor do índice), requer-se também estimar a precisão de um índice. À vista disso, estimadores por razão podem ser utilizados para modelar os índices morfométricos.

O estimador por razão é uma variável auxiliar, de fácil obtenção e cujo valor total na população deve ser conhecido, para estimar a variável de interesse (BOECHAT SOARES et al., 2011). Presume-se que o uso de estimadores por razão para gerar estimativas tenha iniciado com o trabalho de Cochran em 1940. Segundo Cochran (1977), quando se tem uma variável auxiliar X_i , de baixo custo amostral e correlacionada com Y_i , pode-se fazer uso do estimador por razão. Segundo o mesmo autor, o objetivo deste método é alcançar a melhor acurácia, aproveitando a correlação entre X_i e Y_i . Ainda, os estimadores por razão permitem obter a precisão do índice e, conseqüentemente, um intervalo de confiança poderá ser estabelecido.

Presume-se, então, que a aplicação do estimador por razão seja apropriada para modelar os índices morfométricos. Em povoamentos florestais duas importantes aplicações podem ser efetuadas:

- 1) Avaliação de povoamentos florestais com diferentes idades, englobando povoamentos jovens até povoamentos com árvores adultas;
- 2) Avaliações de povoamentos com a mesma idade (ou agrupados em classes de idades) conduzidos em diferentes condições ambientais.

Para a primeira aplicação (1) é esperado que a variância para uma variável seja diferente ao longo das idades dos povoamentos, devido ao efeito da idade sobre o tamanho das árvores. Se as variáveis apresentarem variâncias distintas e proporcionais às idades, isso impossibilita a comparação direta dos índices. Entretanto, nessas circunstâncias, se o interesse é avaliar a resposta do efeito da idade sobre a variabilidade dos índices morfométricos, pode-se

interpretar que índices com intervalos de confiança mais amplos denotam maior variabilidade, para um mesmo tamanho amostral. Se o propósito for comparar os valores dos índices, alternativas estatísticas, como a aplicação de transformação de dados, podem ser utilizadas para corrigir a relação de variâncias heterogêneas, e, conseqüentemente, permitir a comparação dos valores de um índice sob efeito de idade.

Já para a segunda aplicação (2) espera-se uma relação de variância das variáveis entre povoamentos, com a mesma idade (ou agrupados em classes de idades), conduzidos sob diferentes condições ambientais, mais próxima da homogeneidade. Isto facilita a comparação dos índices de diferentes locais por meio da análise dos intervalos de confiança estabelecidos para o valor do índice, conseqüentemente possibilita a comparação direta dos índices nos diferentes ambientes abordados.

Uma terceira aplicação importante para a modelagem de índices morfométricos é a comparação entre índices. Como avaliar e comparar os diferentes índices propostos em diferentes idades dos povoamentos ou nas diferentes condições ambientais nos quais os povoamentos são cultivados? Neste caso existem vários problemas: 1) as variáveis podem resultar em diferentes variâncias, 2) as variáveis podem ser expressas em diferentes escalas, 3) a inclusão de um intercepto para expressar o efeito externo ao modelo é requerida, e 4) os valores dos índices morfométricos são afetados pelas escalas de medidas.

Considerando estes possíveis problemas, anteriormente mencionados, um outro ponto interessante para os índices morfométricos é a padronização de variáveis com o objetivo de eliminar o efeito das unidades de medida entre as variáveis, ou mesmo a condição de uma mesma variável apresentar variâncias heterogêneas. Ademais, centralizar e padronizar as variáveis é uma forma de melhorar a interpretação dos coeficientes (SCHIELZETH, 2010).

Assim, aplicar variáveis padronizadas à modelagem dos índices morfométricos aponta as seguintes características desejáveis: 1) eliminação do efeito das unidades de medidas nas variáveis X e Y ; 2) obtenção de uma variância comum para uma mesma variável, independente de idade das árvores mensuradas; e 3) forçar o índice a ter um intercepto igual a zero, o que é desejado para composição de índices. Quando uma variável é padronizada a diferença da variabilidade existente entre grupos (efeito externo) é eliminada assim como a escala das variáveis, possibilitando obter a mesma precisão dos resultados e, conseqüentemente, a comparação entre diferentes índices morfométricos.

Uma quarta aplicação importante na modelagem morfométrica é torná-las números-índices, ou seja, obter um mesmo intervalo de variação para todos os índices morfométricos,

facilitando sua compreensão, interpretação e comparação. Desta forma, adicionalmente à padronização das variáveis têm-se nos números-índices, que são quocientes entres variáveis. Criados como medidas estatísticas para comparar grupos de variáveis relacionadas entre si e permitir melhor compreensão das mudanças significativas ocorrentes no mundo dos acontecimentos econômicos, administrativos, sociais e, também, no âmbito biológico, ou seja, dos seres vivos. Estes estimadores no campo biológico servem para compreender as variações ocorridas entre indivíduos em diferentes idades, compreender suas variações em diferentes ambientes e compreender suas variações ao longo do tempo. No meio florestal, torna-se mais claro o que está especificado nos itens acima apresentados. Em florestas plantadas, será importante avaliar os índices morfométricos evolutivamente em diferentes idades do povoamento. Ainda, poderá, também, associá-los à diferentes condições de sítio. Já em florestas nativas, dado não se ter a idade das árvores, os números-índices podem ser avaliados em função da evolução de uma variável referencial da floresta, mais comumente o diâmetro das árvores. Estes também podem ser estratificados para grupos de espécies, ou mesmo avaliados para cada espécie isoladamente.

Dadas as quatro concepções de aplicação, foram propostas as seguintes hipóteses:

1) O estudo de índices morfométricos por meio de estimativa pontual apresenta dificuldades na interpretação dos valores, quando se deseja comparar grupos, uma vez que não são obtidas as variâncias dos índices. Consequentemente, o estudo de índices morfométricos por meio de estimadores por razão admitem resultados mais apropriados que os estudos realizados por meio da modelagem tradicional, pois se estabelece o valor do índice e, também, um intervalo de confiança, visando melhorar a interpretação e comparação dos resultados.

2) Obter os índices por meio de estimadores por razão com variáveis padronizadas é mais apropriado, pois resolve o problema de escala e variância das variáveis, força o intercepto do modelo morfométrico ser zero, e revela um domínio de valores para todos os índices em um intervalo entre -1 a 1, facilitando a interpretação dos resultados.

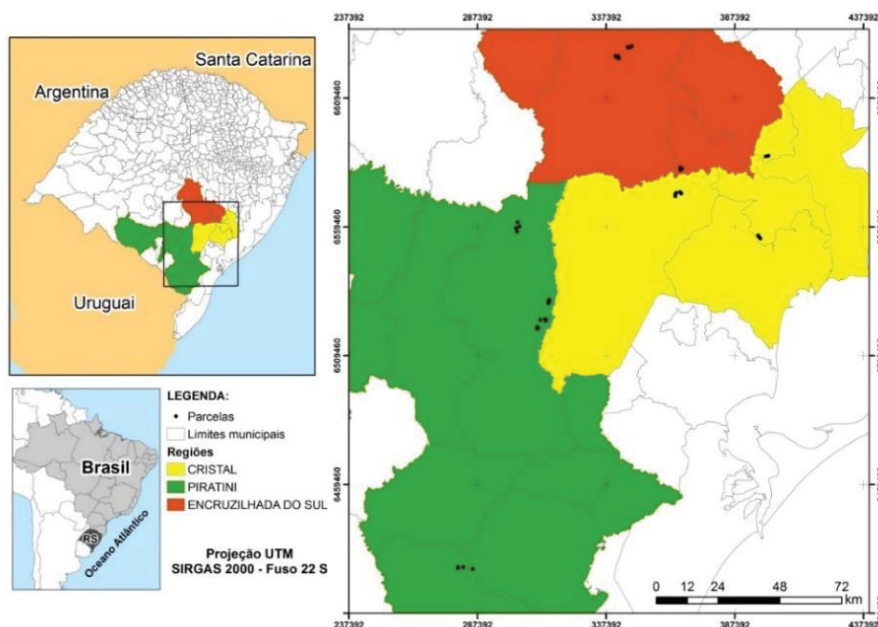
Assim este trabalho tem como objetivo obter os índices morfométricos por meio da estimativa pontual, bem como estimar estes índices por meio da aplicação de estimadores por razão e variáveis padronizadas, para avaliar o efeito de idades e ambientes sobre os índices morfométricos e averiguar a aplicação dos métodos de obtenção.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ORIGEM DOS DADOS

Os dados utilizados para a realização deste trabalho foram coletados na região sul do estado do Rio Grande do Sul. Três regiões foram estabelecidas (Figura 3), que apresentam concentração de plantios comerciais da espécie acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.), denominadas: Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini, devido a estruturação administrativa da Empresa financiadora da pesquisa.

FIGURA 3 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.



O clima do Rio Grande do Sul é Temperado (Cfb) do tipo Subtropical (Cfa), classificado como Mesotérmico Úmido, segundo a classificação de Köppen, ou seja, sem estação seca; as chuvas são distribuídas por todo o ano, com precipitações mensais superiores a 60mm, verão quente e moderadamente quente (KUINCHTNER et al., 2001). Os municípios de Encruzilhada do Sul e Piratini estão localizados na região Serra do Sudeste do estado e Cristal encontra-se na região Encosta do Sudeste e nesta predomina o tipo Cfa, entretanto na Serra do Sudeste predomina o clima Cfb nas partes mais altas e Cfa nas partes mais baixas (MOCHIUTTI, 2007).

A encosta do Sudeste apresenta relevo plano, com altitude inferior a 30m, exceto os esporões, onde encontram-se os campos secos e as florestas latifoliadas altas, alcançando até

200 m de altitude. Lá predominam solos Argissolos, Neossolos e Cambissolos, nos topos e encostas, e solos Planossolos e Gleissolos nas áreas baixas e planas. A região da serra do Sudeste apresenta-se em formas arredondadas, a altitude varia entre 20 a 200 metros nas bordas e até 400 a 600 m nas serras (MOCHIUTTI, 2007). Nesta região predominam solos originários do granito, ocorrendo principalmente os Neossolos, mas ocorrem também os Cambissolos e Argissolos.

2.2. AMOSTRAGEM E ESTABELECIMENTO DOS POVOAMENTO DE ACÁCIA NEGRA

A mensuração de variáveis ocorreu nos meses de junho e julho do ano de 2014. Em cada região foram amostrados quatro povoamentos em uma sequência de idade após o plantio, de forma que os dados amostrais representassem toda a idade de rotação da cultura. A amostragem abrangeu doze povoamentos e 672 árvores, com variação entre 1,00 a 10,75 anos. Desta forma, em Cristal foram amostrados povoamentos com idades de 1,75; 2,75; 5,00 e 10,08 anos, em Encruzilhada do Sul com 1,83; 3,08; 5,75 e 10,75 anos e no município de Piratini povoamentos com idades de 1; 2,33; 5,25 e 9,83 anos.

Em cada povoamento foram instaladas, aleatoriamente, quatro parcelas circulares com diâmetro de 10 m. Ao todo, foram instaladas 48 parcelas temporárias e todas as árvores nas parcelas foram consideradas para mensuração das variáveis.

As árvores amostradas também foram classificadas segundo sua idade, de modo que foram definidos quatro grupos, conforme descrito em Martins et al. (2021), compreendendo árvores Jovens (≤ 2 anos de idade); Média Inicial ($> 2 \leq 4$ anos), Média Avançada ($> 4 \leq 6$ anos) e Madura (> 6 anos de idade). Consequentemente, em cada grupo estão incluídos todos os três municípios de estudo. O tamanho da amostra está apresentado na Tabela 1.

Os plantios foram estabelecidos em áreas de primeira rotação e segunda rotação. O preparo do solo foi efetuado somente na linha de plantio, com mudas produzidas a partir de sementes (provenientes de pomares de sementes). Os plantios foram feitos manualmente, com espaçamento de 3m x 1,75m e adição de 50 g de fertilizante por muda.

TABELA 1 - NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS POR IDADE E REGIÃO.

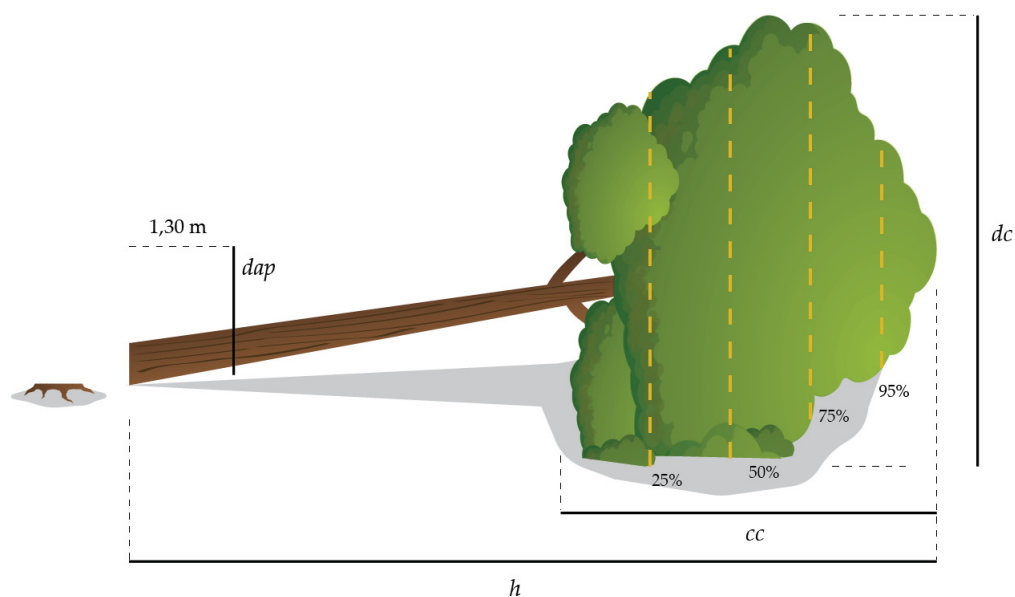
TABELA 1 – NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS POR IDADE E RESÍDUO.			
Local	Grupo	Idade	Número de árvores amostradas
Piratini	1	1	71
Cristal		1,75	59
Encruzilhada do Sul		1,83	56
Subtotal Grupo 1			186
Piratini	2	2,33	48
Cristal		2,75	47
Encruzilhada do Sul		3,08	68
Subtotal Grupo 2			
Piratini	3	5	43
Cristal		5,25	60
Encruzilhada do Sul		5,75	50
Subtotal Grupo 3			153
Piratini	4	9,83	51
Cristal		10,08	57
Encruzilhada do Sul		10,75	62
Subtotal Grupo 4			170
Total de número de árvores amostradas			672

2.3. MENSURAÇÃO DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

Todas as árvores nas parcelas foram derrubadas (corte rente ao solo) para mensuração das seguintes variáveis (Figura 4):

- Diâmetro à altura do peito (*dap*, em cm): mensurado com uma fita dendrométrica a 1,3 m do solo. Árvores bifurcadas abaixo do *dap* foram consideradas árvores individuais, ou seja, considerou-se duas medidas.
- Altura total (*h*, em m): mensurada com uma trena, correspondente ao comprimento da base da árvore até a ponteira.
- Comprimento de copa (*cc*, em m): mensurada com uma trena, cujo valor refere-se à distância do primeiro ramo (vivo) da base da copa até a ponta da árvore.
- Diâmetro de copa (*dc*, em m): mensurado com uma trena nas posições 25, 50, 75 e 95% do comprimento de copa, em duas medições em lados opostos da copa para obtenção da média dos dois diâmetros medidos em cada posição. O valor de *dc* foi definido como o maior valor encontrado ao longo da copa da árvore.

FIGURA 4 - VARIÁVEIS MENSURADAS NAS ÁRVORES DE ACÁCIA NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.



Foi efetuada uma análise exploratória por meio do cálculo das estatísticas: média, valores de máximo, mínimo e desvio padrão. O processamento dos dados foi efetuado utilizando-se a linguagem de programação *Julia*. Obteve-se a estatística descritiva das variáveis morfométricas para os dados gerais, sem considerar a idade e o local do povoamento.

2.4. MODELOS DE MORFOMETRIA

Os índices morfométricos apresentados neste estudo baseiam-se em Durlo e Denardi (1998), descritos na Tabela 2.

TABELA 2 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS APLICADOS AOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

(Continua)			
Índice morfométrico	Descrição	Interpretação	Modelo
Proporção de Copa	Obtida em porcentagem, corresponde a razão das variáveis comprimento de copa e altura total da árvore.	Quanto maior a porcentagem de copa mais vital e produtiva é a árvore (OLIVEIRA, 2019).	$PC = \frac{cc}{h} 100$ (1)
Grau de Esbeltez	Corresponde a razão entre a altura total da árvore e seu diâmetro à altura do peito.	Quanto mais alto o valor deste índice mais instável é a árvore (DURLO; DENARDI, 1998).	$GE = \frac{h}{dap}$ (2)
Índice de Saliência	Expresso pela relação entre o diâmetro de copa e o diâmetro à altura do peito da árvore	O valor obtido indica quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o <i>dap</i> da árvore.	$IS = \frac{dc}{dap}$ (3)

TABELA 3 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS APLICADOS AOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.

(Conclusão)			
Índice de Abrangência	Obtido pela relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore.	Conforme ocorre aumento da altura da árvore há necessidade de um espaço maior entre elas para desenvolvimento em diâmetro (KLEIN, 2017). A relação tende a diminuir com o incremento em altura da árvore.	$IA = \frac{dc}{h} \quad (4)$
Formal de Copa	Obtido pela razão do diâmetro e comprimento de copa.	Quanto menor o Formal de Copa, melhor é a produtividade da árvore, isso deve-se à relação entre o manto de copa e a área de projeção de copa.	$FC = \frac{dc}{cc} \quad (5)$

Em que: PC é índice de Proporção de Copa; i é a variável comprimento de copa; h é a variável altura total da árvore; GE é o índice Grau de Esbeltez; dap é a variável diâmetro à altura do peito; IS é o Índice de Saliência; dc é a variável diâmetro de copa; IA é o Índice de Abrangência; FC é o índice Formal de Copa.

2.5. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE MODELAGEM TRADICIONAL – ESTIMATIVA PONTUAL

Para cada árvore foram calculados os índices morfométricos, sendo que a estimativa pontual considera a média dos índices obtidos para cada uma das n árvores para as j idades. Para o cálculo dos índices, para cada idade, foram utilizadas as seguintes expressões (Tabela 3):

TABELA 4 - MODELOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM TRADICIONAL.

Índice morfométrico	Modelo
Proporção de Copa	$PC_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{cc}{h} \frac{1}{n} 100 \quad (6)$
Grau de Esbeltez	$GE_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{h}{dap} \frac{1}{n} \quad (7)$
Índice de Saliência	$IS_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{dap} \frac{1}{n} \quad (8)$
Índice de Abrangência	$IA_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{h} \frac{1}{n} \quad (9)$
Formal de Copa	$FC_{tj} = \sum_{i=1}^n \frac{dc}{cc} \frac{1}{n} \quad (10)$

Em que: PC_{tj} é o índice de Proporção de Copa calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); GE_{tj} é o índice de Grau de Esbeltez calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); IS_{tj} é o Índice de Saliência calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); IA_{tj} é o Índice de Abrangência calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j); FC_{tj} é o índice de Formal de Copa calculado por meio da modelagem tradicional (t) para árvores na idade (j).

Quando índices são calculados por meio da média das razões de duas variáveis (casos apresentados acima), as variâncias resultantes são maiores do que quando os índices são obtidos por meio da razão da média de duas variáveis (caso apresentado na sequência). Lohr (2010) apresenta que a estimativa por razão utiliza informações adicionais conhecidas sobre a população para melhorar a precisão dos estimadores.

2.6. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO

A fim de se obter um estimador mais apropriado para os índices, a estimativa por razão foi aplicada. Os cálculos para o estimador por razão foram fundamentados e descritos em Péllico Neto e Behling (2019).

Sendo assim, considere o índice morfométrico Proporção de Copa:

$$PC = \frac{cc}{h} \quad (11)$$

Logo,

$$cc = (PC) h \quad (12)$$

A solução de PC , pode ser equacionada por meio de estimadores por razão como:

$$cc = R_{pc_j} h \quad (13)$$

em que:

R_{PC_j} é o índice de Proporção de Copa para árvores na idade j .

O mesmo ocorre com os demais índices (Tabela 4).

TABELA 5 - REPRESENTAÇÃO DOS MODELOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NA MODELAGEM POR ESTIMADORES POR RAZÃO.

Índice morfométrico	Modelo tradicional	Modelo por estimador por razão
Grau de Esbeltez	$GE = \frac{h}{dap}$ (14)	$h = R_{GE_j} dap$ (15)
Índice de Saliência	$IS = \frac{dc}{dap}$ (16)	$dc = R_{IS_j} dap$ (17)
Índice de Abrangência	$IA = \frac{dc}{h}$ (18)	$dc = R_{IA_j} h$ (19)
Formal de Copa	$FC = \frac{dc}{cc}$ (20)	$dc = R_{FC_j} cc$ (21)

Em que: R_{GE_j} é o índice de Grau de Esbeltez calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j); R_{IS_j} é o Índice de Saliência calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j); R_{IA_j} é o Índice de Abrangência calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j); R_{FC_j} é o índice de Formal de Copa calculado por meio de estimadores por razão para árvores na idade (j).

Alternativamente, para facilitar o processo de apresentação dos estimadores por razão para um determinado povoamento, os modelos anteriores podem ser apresentados genericamente como:

$$y_i = R x_i \quad (22)$$

em que:

y_i é o valor da variável dependente para a i —ésima árvore.

x_i é o valor da variável independente para a i —ésima árvore.

R é um índice morfométrico.

Dado que na amostragem efetuada a variância é proporcional à variável independente x_i , as estimativas de $\hat{R}$ podem ser obtidas como:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \frac{1}{\lambda x_i} y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 \frac{1}{\lambda x_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i} = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \hat{R} \quad (23)$$

A utilização do estimador permite o cálculo de variância (24), erro padrão (26) para se obter o intervalo de confiança (27) e precisão do índice (28).

$$S^2_{\hat{R}_j} = \frac{1-f}{n\bar{X}^2} \frac{\sum_{i=1}^N (y_{ij} - R_j x_{ij})^2}{N-1} \quad (24)$$

em que:

$S^2_{\hat{R}_j}$ é a variância da estimativa da razão

y_{ij} é o valor da variável dependente para a i —ésima árvore na idade j

x_{ij} é o valor da variável independente para a i —ésima árvore na idade j

N é o número total de árvores no povoamento

n é o número de árvores na amostra

$\bar{X}$ é a média aritmética estimada

$$f = n N^{-1} \quad (25)$$

$$S\bar{Y}_j = \sqrt{\frac{(1-nf)}{n(n-1)}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \hat{R}_j x_{ij})^2}{n-1}} \quad (26)$$

$$\bar{Y}_j = \bar{Y} \pm t \sqrt{s^2_{\bar{Y}_j}} \quad (27)$$

$$E_{rj} = \frac{ts_{\bar{Y}_j}}{\bar{Y}_j} 100 \quad (28)$$

em que:

f é o fator de correção decorrente de população finita

$S\bar{Y}_j$ é o erro padrão da estimativa da razão para árvores na idade j

$\bar{Y}_j$ é o intervalo de confiança da estimativa da razão para árvores na idade j

E_{rj} é a precisão da estimativa da razão para árvores na idade j

$\bar{Y}$ é a média da população amostrada

Valores de precisão mais próximos de 0 (zero) significam menor variabilidade dos índices, ou seja, quanto menor o resultado obtido mais preciso torna-se a avaliação. A precisão será avaliada conforme Tabela 5.

TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA PRECISÃO DO ÍNDICE.

Precisão %	Classificação
$\leq 5\%$	Alta
$>5\% \leq 10\%$	Média
$>10\%$	Baixa

A modelagem dos índices via estimadores por razão foi efetuada utilizando a linguagem de programação *Julia*, por meio de funções desenvolvidas para este trabalho. O resultado de cada índice e seu respectivo intervalo de confiança estão apresentados em gráficos, com objetivo de avaliar o seu comportamento em cada idade.

2.7. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DE VARIÁVEIS PADRONIZADAS

Os estimadores por razão com variáveis padronizados são utilizados para diversos fins, tais como: selecionar variáveis, avaliar a importância relativa da variável explicativa e comparar o efeito da mudança de variáveis diferentes (BRING, 1994). Muitas vezes, as variáveis independentes variam amplamente em relação às suas médias e variâncias, consequentemente os coeficientes resultantes não podem ser comparados diretamente (PAD 705, 2004). Ao padronizar as variáveis, passa-se a tê-las em uma escala de variação comum (média zero e variância unitária), eliminando, também, o efeito da idade sobre o tamanho das variáveis (médias e variâncias).

Em uma estrutura padronizada não há coeficiente β_0 (PAD 705, 2004), e esta é uma característica interessante para obtenção dos índices morfométricos. Para se obter uma variável padronizada é preciso converter os valores das variáveis independente e dependentes em desvios padrões (PAD 705, 2004). O objetivo é expressá-los para todas as variáveis em um conjunto de dados expressos em número de desvios padrões. Para cada variável deve-se primeiro calcular a média e desvio-padrão. Em sequência, uma variável é padronizada subtraindo-se dela sua média amostral e dividindo-a por seu desvio-padrão (TABOGA, 2017).

Os números-índices, como já mencionado anteriormente, são quocientes entre variáveis, ou seja, são obtidos por meio de estimadores por razão e devem, desta maneira, observar todas as condicionantes estatísticas requeridas para sua avaliação. E, se for considerado um escopo mais amplo de avaliação da dinâmica de uma floresta e que a evolução destes índices sejam comparáveis ao longo do tempo, então é apropriado e desejável expressá-los numa escala padronizada.

Esta concepção será viabilizada estatisticamente pela transformação das variáveis relacionadas para a obtenção da razão, ou seja, processando a padronização delas e tornando-as como variáveis $N(0,1)$, ou seja, com média zero e variância um. A partir de simplificações aplicadas aos estimadores por razão obtidos com variáveis padronizadas, é possível demonstrar que tal razão é exatamente igual ao estimador da correlação entre estas duas variáveis, ou seja,

os índices passarão a ter resultados sempre no intervalo entre -1 e 1 (ou entre zero e um, na qual o sinal do coeficiente revela o sentido da relação).

A demonstração matemática para o que foi especificado acima será apresentada a seguir.

Considere y com $\mu_y = 0$ e $\sigma_y^2 = 1$

Considere x com $\mu_x = 0$ e $\sigma_x^2 = 1$

Portanto, $\sum x_i = 0$ e $\sum y_i = 0$

Considere o estimador da razão R :

$$R = \frac{\sum x_i \frac{1}{\lambda x_i} y_i}{\sum x_i^2 \frac{1}{\lambda x_i}} = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} = \frac{\sum x_i y_i}{n} \quad (29)$$

$$R = \beta_1 \quad (30)$$

$$\beta_1 = \frac{n \sum YX - \sum Y \sum X}{n \sum X^2 - \sum X} = \frac{\sum YX}{\sum X^2} \quad (31)$$

Ou

$$\beta_1 = \frac{\sum (y_i - \bar{y}) (x_i - \bar{x})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (32)$$

Ou

$$\beta_1 = \frac{cov(x,y)}{var(x)} \quad (33)$$

Considere:

$$cov(x,y) = \frac{\sum XY - \frac{\sum XY}{n}}{n-1} \quad (34)$$

Como

$$\sum X = 0, \sum Y = 0, \frac{\sum XY}{n} = 0 \quad (35)$$

$$var(x) = 1$$

Portanto,

$$\beta_1 = \frac{\frac{\sum XY}{n-1}}{1} \quad (36)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum XY}{n-1} \quad (37)$$

Ou

$$\beta_1 = \text{corr}(x, y) \frac{\text{std}(y)}{\text{std}(x)}, \text{ como } \sigma_y^2=1, \sigma_x^2=1 \quad (38)$$

$$\beta_1 = \text{corr}(x, y) \quad \text{corr}(x, y) = \frac{\text{cov}(x, y)}{\text{std}(x)\text{std}(y)} = \text{cov}(x, y) \quad (39)$$

$$\beta_1 = \text{cov}(x, y) = \frac{\sum xy}{n-1} \quad (40)$$

Portanto,

$$R = \frac{\bar{y}}{\bar{x}} = \frac{\sum x \frac{1}{\lambda_x} y}{\sum x^2 \frac{1}{\lambda_x}} = \frac{\sum xy}{\sum x^2} = \frac{\sum xy}{n-1} \quad (41)$$

Sendo

$$\sum x^2 = n - 1 \quad (42)$$

$$\sum_{i=1}^n x^2 = x^2_1 + x^2_2 + \dots + x^2_n \quad (43)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum x^2 \frac{(\sum x)^2}{n}, \text{ como } \sum x = 0 \text{ e } \sigma_x^2=1 \quad (44)$$

$$1 = \frac{1}{n-1} \sum x^2 \frac{0^2}{n} \quad (45)$$

$$1(n-1) = 1 \sum x^2 \quad (46)$$

Portanto,

$$\sum x^2 = n - 1 \quad (47)$$

Assim, demonstra-se que o valor da covariância das variáveis padronizadas (equação 34) é exatamente o valor obtido pela correlação entre as variáveis (equação 37 – 38), bem como o resultante do estimador por razão para variáveis padronizadas (equação 41).

Ainda, para facilitar o processo de apresentação dos estimadores por razão com variáveis padronizadas, os índices morfométricos podem ser apresentados genericamente como:

$$y_i^* = \beta x_i^* \quad (48)$$

em que:

y_i^* é o valor da variável dependente padronizada para a i –ésima árvore.

x_i^* é o valor da variável independente padronizada para a i –ésima árvore.

β é um índice morfométrico.

Se as variáveis originais forem equacionadas no modelo anterior, a inclusão de um intercepto para representar a variação de escala é apropriada. Portanto:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (49)$$

Se, para a obtenção dos índices morfométricos, as variáveis forem padronizadas, então, o efeito de escala tende a zero. Portanto, a equação para obter o índice morfométrico pode ser reescrita, simplificando-a, como:

$$\beta^* = \beta_1 \frac{S_{xi}}{S_y} \quad (50)$$

em que:

β^* corresponde ao índice morfométrico padronizado

β_1 corresponde a um coeficiente

S_{xi} é o valor do desvio padrão da variável independente para a i –ésima árvore

S_y é o valor do desvio padrão da variável dependente

Conforme apresentado em Péllico Netto e Behling (2019), o estimador por razão é um caso particular de regressão, quando o modelo de regressão linear simples tem o coeficiente de escala na origem. Portanto, esses dois últimos procedimentos (estimador por razão e estimador por razão com variáveis padronizadas) são equivalentes em termos de modelagem, porém diferenciam-se quanto às unidades de medidas das variáveis e, também, de sua variância.

Segundo as provas matemáticas apresentadas como forma de facilitar o entendimento de sua concepção, este terceiro método de modelagem de índices morfométricos passa a ser denominado como modelagem correlacional (r).

Desta forma, a avaliação do índice passa a variar somente entre 0 (zero) e 1 (um), sendo que o sinal, positivo ou negativo (ou seja, intervalo entre -1 a 1), indica a direção da associação, e no qual um valor mais próximo de 1 representa forte correlação entre as variáveis, pois quanto maior o valor de r mais forte é o grau de associação entre elas (; SHIMAKURA, 2005) ou maior é o grau de dependência estatística linear entre elas (FIGUEIREDO FILHO; DA SILVA JUNIOR, 2009), ou seja, quanto mais próximo de zero a correlação, menor é a força dessa relação.

A correlação entre as variáveis será avaliada conforme proposto por Callegari-Jacques (2003), como apresentado na Tabela 6.

TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO PARA OS VALORES DE CORRELAÇÃO.

Intensidade	Classificação
$r = 0$	Nula
$0 < r \leq 0,3 $	Fraca
$ 0,3 < r \leq 0,6 $	Regular
$ 0,6 < r \leq 0,9 $	Forte
$ 0,9 < r < 1 $	Muito forte
$r = 1$	Plena

Em que: r é coeficiente de correlação.

2.8. APLICAÇÕES DOS MÉTODOS PARA GERAÇÃO DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

As seguintes modelagens de índices morfométricos foram efetuadas:

- Índices morfométricos obtidos por estimativa pontual
- Índices morfométricos obtidos por meio de estimadores por razão
- Índices morfométricos obtidos por meio de variáveis padronizadas

A comparação entre os estimadores dos índices morfométricos foi efetuada visando identificar as características positivas e negativas de cada um deles.

2.9. AVALIAÇÃO DO EFEITO DA IDADE E DE LOCAIS DE CULTIVO SOBRE OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Dado que os coeficientes de razão correspondem exatamente aos valores de correlação entre variáveis, por este motivo, a comparação entre os resultados obtidos foi efetuada por meio de testes de homogeneidade dos coeficientes de correlação.

Inicialmente, foram construídos intervalos de confiança utilizando a transformação Z' de Fisher para os coeficientes, uma vez que estes se aproximam de uma distribuição normal, permitindo construir os intervalos de confiança, como também a aplicação de teste de hipóteses. Consequentemente, o intervalo de confiança pode ser obtido por:

$$z' = 0,5 \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (51)$$

$$\sigma_{z'} = \sqrt{\frac{1}{n-3}} \quad (52)$$

$$IC(\mu_{z'}) = z' \pm z_{0,95} \sigma_{z'} \quad (53)$$

$$r = \frac{(e^{2z'} - 1)}{(e^{2z'} + 1)}, \text{ conversão do valor de } z' \text{ para } r \quad (54)$$

em que

z' é a média padronizada

$\sigma_{z'}$ é o desvio padrão padronizado

$IC(\mu_{z'})$ é o intervalo de confiança padronizado para 95% de probabilidade

r é a razão ou coeficiente de correlação

n é o número de observações

O valor de z' para 95% de probabilidade ($z'_{0,95}$) é 1,96, o qual é obtido por meio da distribuição normal. Para testar se a correlação é significativa, ou seja, testar a hipótese da nulidade de que $\rho = 0$, aplicou-se o teste t (95% de probabilidade):

$$t_r = \frac{r}{\sqrt{\frac{(1-r^2)}{n-2}}} \quad (55)$$

Por meio dos valores de z' , o teste de Qui-quadrado foi utilizado para avaliar a homogeneidade dos coeficientes de correlação (95% de probabilidade), como está apresentado em (56):

$$\chi^2 = \sum_{i=1} n_i - 3(z_i - \bar{z}_w)^2 \quad (56)$$

em que:

$$\bar{z}'_w \text{ é obtido por } \bar{z}'_w = \frac{\sum(n_i-3)z'_i}{\sum(n_i-3)}$$

n_i é a i -ésima observação

$$z'_i \text{ é obtido por } z'_i = 0,5 \log \frac{(1+r)}{(1-r)}$$

χ^2 é o valor do Qui-quadrado calculado

Portanto,

- Se o valor de Qui-quadrado for menor que o valor do Qui-quadrado Crítico, então existem evidências de que os coeficientes de correlação são homogêneos;
- Se o valor de Qui-quadrado for maior que o valor do Qui-quadrado Crítico, então existem evidências de que há diferença significativa entre os coeficientes de correlação.

A hipótese da nulidade testada presume que os valores dos coeficientes de correlação são homogêneos. Se for observada a homogeneidade dos coeficientes de correlação, pode-se obtê-lo de maneira ponderada (r_w), o que possibilitará transformar o valor de $\bar{z}'_w$:

$$r_w = \frac{(e^{2\bar{z}'_w} - 1)}{(e^{2\bar{z}'_w} + 1)} \quad (57)$$

em que:

e é a constante exponencial

A modelagem dos índices via estimadores por razão padronizados foi efetuada utilizando a linguagem de programação *Julia*, bem como a aplicação dos testes de homogeneidade. O resultado de cada índice e seu respectivo intervalo de confiança foram apresentados com o objetivo de avaliar o seu comportamento em cada idade.

Desta forma, com a aplicação do teste de homogeneidade duas análises foram efetuadas:

1) Avaliação do efeito de idades sobre os índices morfométricos

O teste de homogeneidade foi aplicado para averiguar se a hipótese da nulidade, que os coeficientes de correlação são homogêneos, ou seja, que não existe efeito da idade nos valores dos índices morfométricos.

2) Avaliação do efeito do local do plantio sobre os índices morfométricos

O teste de homogeneidade foi aplicado para averiguar se a hipótese da nulidade, que os coeficientes de correlação são homogêneos, ou seja, que não existe efeito de locais de plantio nos valores dos índices morfométricos.

Este teste foi aplicado dentro de grupos de idades, dado que cada grupo é constituído por povoamentos das três regiões amostradas (Tabela 7).

TABELA 8 - CLASSIFICAÇÃO DOS POVOAMENTOS EM GRUPOS DE IDADE.

Grupo	Número de árvores amostradas	Idade
1	186	≤ 2 anos
2	163	$> 2 < 4$ anos
3	153	$\geq 4 \leq 6$ anos
4	170	> 6 anos

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

Observou-se que os dados apresentam alta variabilidade (Tabela 8). O coeficiente de variação (CV%) variou de 39,88% a 100,21%, sendo o *dc* a variável com o menor CV%, representando maior homogeneidade do conjunto de dados quando comparado às demais variáveis, seguida da variável *h* com variação em torno da média de 40,63%. A variação dos dados é justificada, principalmente pelas diferentes idades das árvores nos povoamentos de estudo.

Segundo Finger et al. (2000) a acácia-negra é cultivada em rotações curtas, 7 anos, atingindo em média altura de 15,8 m e diâmetro de 12,4 cm. Na floresta de acácia negra o *dap* variou de 0,64 a 23,55 cm, apresentando uma média de 9,50 cm. A média de *dap* das árvores mais velhas (acima de 9 anos) foi de 12,92 cm. No estudo, a maior árvore de acácia-negra apresentou 23,55 cm de *dap*, *h* de 21,90 m e *v* igual a 0,4773 m³. A média de *h* dos povoamentos

foi de 12,17 m e volume médio obtido igual a 0,0663 m³. O *cc* variou de 0,8m a 15,6 m, com uma média de 5,81 m. A variável *dc* apresentou variação de 0,45 m a 5,6 m e apresentando uma média de 1,92 m.

TABELA 9 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E MORFOMÉTRICAS COLETADAS NOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA-NEGRA, LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.

Estatística	Variáveis				
	<i>dap</i> (cm)	<i>h</i> (m)	<i>cc</i> (m)	<i>dc</i> (m)	<i>v</i> (m ³)
Mínimo	0,64	1,60	0,80	0,45	0,0002
Máximo	23,55	21,90	15,60	5,60	0,4773
Média	9,50	12,50	5,81	1,92	0,0663
Variância	19,28	24,45	5,73	0,59	0,0044
Desvio padrão	4,39	4,95	2,39	0,76	0,0664
Coefficiente de variação (CV%)	46,21	40,63	41,22	39,88	100,2140
Erro Padrão	0,17	0,19	0,09	0,03	0,0026
IC inferior	9,17	12,12	5,63	1,86	0,0612
IC superior	9,83	12,87	5,99	1,98	0,0713

Em que: IC é o intervalo de confiança; *dap* é o diâmetro à altura do peito; *h* é a altura; *cc* é o comprimento de copa; *dc* é o diâmetro de copa; *v* é o volume.

3.2. MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

3.2.1. Ajuste por Estimativa Pontual

3.2.1.1. Proporção de Copa

Os valores médios, máximos e mínimos de *PC* nas diferentes idades dos povoamentos amostrados nos três municípios de estudo, estão apresentados na Tabela 9.

A acácia-negra apresentou Proporção de Copa média de 53,4%, ou seja, em média, nos povoamentos de acácia, a sua copa ocupa mais da metade da altura da árvore. Observa-se que os povoamentos de menor idade apresentam os maiores valores para este índice, com resultados acima de 50%, sendo, ainda, o povoamento instalado em Piratini o qual apresentou maior valor do índice, com uma média de 96,23% para floresta de 1,00 ano de idade. A menor Proporção de Copa encontrada foi de 7,02% na idade 10,08 anos. Conforme Durlo e Denardi (1998), essa variação pode ser atribuída aos diferentes graus de concorrência aos quais as árvores estão submetidas, podendo, também, estar relacionada à dimensão da árvore. As condições de auto sombreamento dos galhos nas florestas maduras é outro motivo para diminuição da altura de copa, consequentemente a obtenção de valores menores para os índices.

TABELA 10 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE *PC*, EM PORCENTAGEM, NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.

Idade (anos)	Grupo	Média (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)	Desvio Padrão
1,00	1	96,23	97,65	89,66	1,42
1,75		59,23	90,00	31,94	12,57
1,83		71,70	95,74	54,55	9,10
2,33	2	59,32	93,06	45,13	10,66
2,75		40,91	54,89	16,67	7,59
3,08		46,09	71,29	18,68	11,16
5,00	3	37,95	58,23	19,64	8,33
5,25		43,80	67,13	20,97	9,02
5,75		34,40	55,15	17,46	10,20
9,83	4	48,82	86,67	21,02	14,85
10,08		41,92	71,79	7,02	16,74
10,75		45,56	82,98	12,17	17,88
Total		53,40	97,65	7,02	21,06

3.2.1.2. Grau de Esbeltez

Os valores médios, máximos e mínimos de *GE* nas diferentes idades dos povoamentos amostrados nos três municípios de estudo, estão apresentados na Tabela 10.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE *GE* NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.

Idade (anos)	Grupo	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
1,00	1	1,51	2,98	1,09	0,32
1,75		1,12	1,55	0,68	0,17
1,83		1,20	2,28	0,84	0,24
2,33	2	1,27	1,96	0,86	0,27
2,75		1,37	1,91	0,96	0,21
3,08		1,36	2,04	0,99	0,21
5,00	3	1,42	2,20	0,96	0,31
5,25		1,39	2,03	0,91	0,25
5,75		1,47	2,36	1,06	0,33
9,83	4	1,30	2,22	0,87	0,30
10,08		1,34	1,83	0,85	0,21
10,75		1,36	2,02	0,91	0,19
Total		1,34	2,98	0,68	0,27

A variável que caracteriza a estabilidade das árvores apresentou média igual a 1,34, variando de 0,68 a 2,98 nas diferentes idades e povoamentos. Segundo Costa et al. (2009), quanto maior o Grau de Esbeltez maior a instabilidade da árvore e quanto menor o valor deste

índice mais estável é a árvore. Os resultados obtidos para este índice, em média, apresentaram pouca variação entre as idades (0,39), sendo que, após os 3 anos de idade, essa variação reduz-se para 0,13. Conforme Tonini e Arco-Verde (2005), valores de GE superiores a 1 indicam que o crescimento em diâmetro é menor que o crescimento em altura, portanto, em todas as unidades amostrais instaladas nos povoamentos, em média, apresentaram maior crescimento em altura do que em diâmetro. Altos valores de GE podem ser ocasionados por competitividade pelos recursos do meio (DURLO; DENARDI, 1998).

3.2.1.3. Índice de Saliência

Os valores médios, máximos e mínimos de IS, nas diferentes idades dos povoamentos amostrados nos três municípios de estudo, estão apresentados na Tabela 11.

TABELA 12 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DE IS NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.

Idade (anos)	Grupo	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
1,00	1	0,48	1,57	0,21	0,22
1,75		0,28	0,44	0,15	0,07
1,83		0,27	0,46	0,13	0,07
2,33	2	0,22	0,29	0,15	0,03
2,75		0,20	0,60	0,13	0,08
3,08		0,21	0,61	0,11	0,08
5,00	3	0,18	0,25	0,11	0,03
5,25		0,20	0,53	0,13	0,07
5,75		0,18	0,63	0,12	0,07
9,83	4	0,19	0,44	0,13	0,05
10,08		0,17	0,40	0,09	0,06
10,75		0,17	0,37	0,09	0,04
Total		0,23	1,57	0,09	0,13

O IS para a acácia-negra resultou em uma média igual a 0,23. Infere-se, então, que a espécie tem um *dc* 23 vezes maior que o *dap*. Nota-se que os valores médios de IS apresentam tendência a diminuir nas florestas mais velhas, ou seja, à medida que a árvore aumenta o seu *dap*, o IS diminui.

Observa-se na floresta jovem com 1,00 ano de idade IS médio igual a 0,48. Nesta idade o *dc* é 48 vezes maior que o seu *dap*, configurando-se claramente a necessidade da área foliar no desenvolvimento inicial de uma espécie, uma vez que o crescimento da árvore dependerá da quantidade de energia fotossintética (BEHLING, 2014).

3.2.1.4. Índice de Abrangência

Os valores médios, máximos e mínimos de *IA* nas diferentes idades dos povoamentos amostrados nos três municípios de estudo, estão apresentados na Tabela 12.

O *IA* apresentou valor máximo de 0,83 e mínimo de 0,06, nas idades dos povoamentos maduros. A média deste índice foi de 0,18, indicando que a copa da árvore atinge, aproximadamente, $\frac{1}{4}$ da altura da árvore. Observou-se tendência de redução dos valores deste índice com o aumento da idade, em que o *IA* é igual a 0,31 no povoamento com 1 ano de idade e 0,13 no povoamento com 10,75 anos; isto ocorre devido ao crescimento em altura da acácia negra com o avanço da idade dos povoamentos. O *IA* tende a diminuir com a altura, devido ao crescimento em altura da árvore ser maior que o crescimento observado no diâmetro de copa (TONINI; ARCO-VERDE, 2005).

TABELA 13 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DO *IA* NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.

Idade (anos)	Grupo	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
1,00	1	0,31	0,83	0,16	0,11
1,75		0,25	0,56	0,12	0,07
1,83		0,23	0,44	0,11	0,07
2,33	2	0,18	0,29	0,10	0,05
2,75		0,14	0,23	0,08	0,04
3,08		0,16	0,72	0,07	0,08
5,00	3	0,13	0,19	0,07	0,03
5,25		0,15	0,26	0,09	0,04
5,75		0,12	0,24	0,07	0,03
9,83	4	0,15	0,31	0,08	0,05
10,08		0,12	0,23	0,06	0,04
10,75		0,13	0,28	0,06	0,04
Total		0,18	0,83	0,06	0,09

3.2.1.5. Formal de Copa

Os valores médios, máximos e mínimos de *FC* nas diferentes idades dos povoamentos amostrados nos três municípios de estudo, estão apresentados na Tabela 13.

O *FC* indica o grau de achatamento das copas. Quando seu valor é igual a 1,0 significa que a copa é redonda, valores abaixo de 1,0 caracterizam copas esbeltas e valores acima de 1,0 caracterizam copas achatadas. A acácia negra apresentou *FC* médio igual a 0,36, sendo o maior valor encontrado igual a 1,64 (2,75 anos) e o menor 0,10 (10,75 anos). Desta forma, os resultados apontam que no estudo as árvores apresentam-se, majoritariamente, com copas

esbeltas e a presença de copas achatadas em algumas idades (2,75; 5,75 e 10,08 anos). Segundo Klein (2017) entre árvores com mesmo diâmetro, será mais produtiva aquela que apresentar menor valor de Formas de Copa. Menores valores de *FC* são encontrados mais comumente nas árvores maduras (acima de 9 anos de idade).

TABELA 14 - VALORES MÉDIOS, MÁXIMOS E MÍNIMOS DO FC NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL.

Idade (anos)	Grupo	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
1,00	1	0,33	0,88	0,16	0,11
1,75		0,44	0,86	0,19	0,13
1,83		0,33	0,69	0,13	0,11
2,33	2	0,30	0,46	0,18	0,07
2,75		0,39	1,64	0,19	0,24
3,08		0,35	0,76	0,18	0,10
5,00	3	0,35	0,54	0,17	0,10
5,25		0,35	0,78	0,18	0,09
5,75		0,39	1,02	0,17	0,15
9,83	4	0,34	0,66	0,12	0,12
10,08		0,38	1,31	0,15	0,27
10,75		0,33	0,78	0,10	0,17
Total		0,36	1,64	0,10	0,15

3.2.1.6. Avaliação do método

A modelagem por Estimativa Pontual nos povoamentos, de forma geral, resultou em média que as copas representaram 53,40% da altura das acácias negras, sendo este valor elevado nas florestas jovens e decrescendo gradualmente com o crescimento da espécie. O *GE* resulta em valor superior a 1, indicando baixa estabilidade, porque o crescimento em altura supera o crescimento em *dap*. Em média, apresentam *dc* 23 vezes maior que o *dap*, com tendência decrescente com a idade, crescimento em altura superior ao crescimento em diâmetro de copa, e, em sua maioria, as acácias negras apresentam copas esbeltas.

Na modelagem por estimativa pontual o equacionamento das variáveis para obtenção dos índices morfométricos é efetuado de forma a obter um valor médio. Embora esta condição tenha sido efetuada, ela não é adequada para o presente caso, porque a seleção das árvores deveria ter sido efetuada com probabilidade proporcional ao quadrado da variável independente que compõe o índice morfométrico. Esta situação seria o caso em que a amostragem fosse efetuada aplicando-se o método de *Bitterlich*. Para a presente estrutura de dados, na qual as árvores foram selecionadas com probabilidade proporcional ao valor linear da variável amostrada, o valor médio do índice deverá ser obtido aplicando-se o Estimador por Razão.

3.2.2. Ajuste dos modelos morfométricos com estimadores por razão

Aplicando os Estimadores por Razão os índices morfométricos foram estimados, estabelecidos os intervalos de confiança (Figura 5) e suas respectivas precisões (Tabela 15). Os estimadores por razão revelaram valores dos índices com o mesmo comportamento daqueles obtidos por meio da modelagem por estimativa pontual e estão apresentados na Tabela 14.

FIGURA 5 - INTERVALO DE CONFIANÇA, EM GRUPOS DE IDADES, DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS AJUSTADOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.

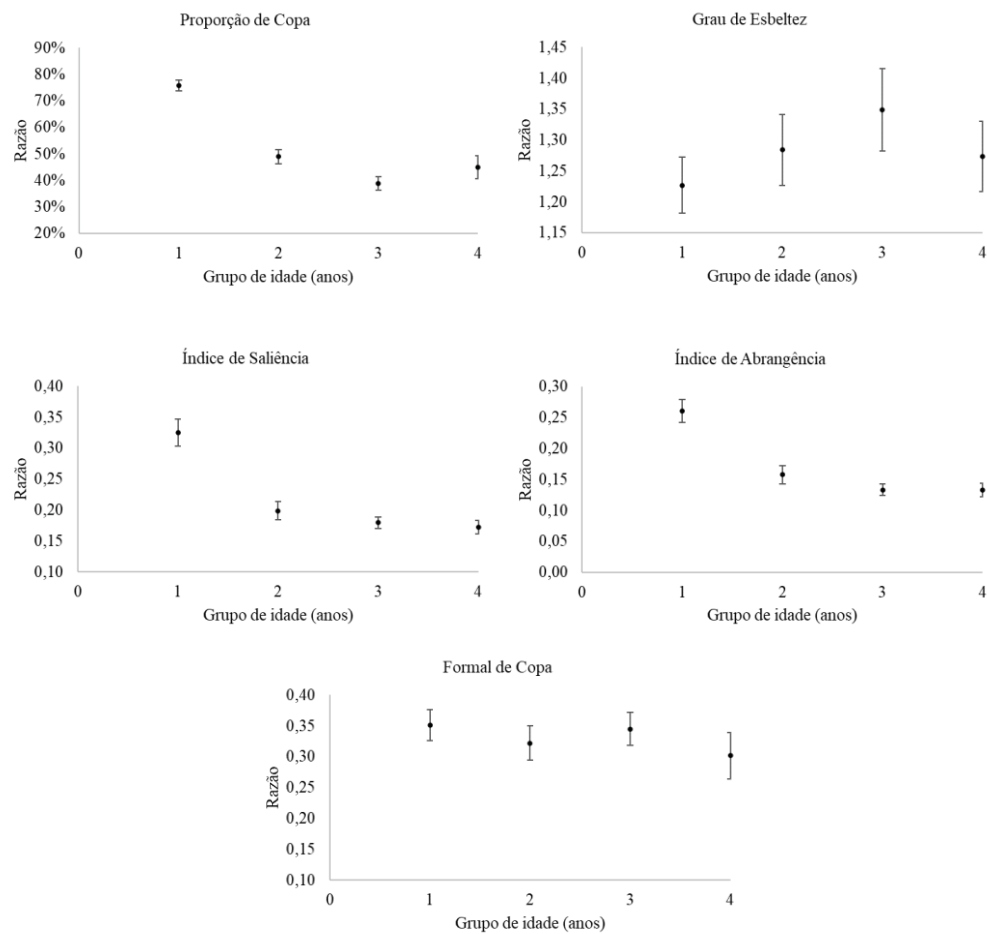


TABELA 15 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL E AJUSTADOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.

			Índice morfométrico				
Local	Idade	Grupo	PC	GE	IS	IA	FC
P	1,00	1	96,4%	1,43	0,44	0,31	0,32
C	1,75		59,4%	1,09	0,27	0,25	0,42
E	1,83		71,6%	1,16	0,26	0,22	0,31
P	2,33	2	59,6%	1,21	0,22	0,18	0,30
C	2,75		41,3%	1,32	0,19	0,14	0,34
E	3,08		45,9%	1,32	0,19	0,15	0,32
C	5,00	3	38,4%	1,35	0,18	0,13	0,35
P	5,25		43,5%	1,32	0,19	0,14	0,33
E	5,75		34,4%	1,38	0,17	0,12	0,36
P	9,83	4	48,5%	1,22	0,19	0,16	0,32
C	10,08		41,3%	1,28	0,16	0,12	0,30
E	10,75		45,0%	1,32	0,17	0,12	0,28
Média total			52,1%	1,28	0,22	0,17	0,33

Em que: P é Piratini; C é Cristal; E é Encruzilhada do Sul; *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa.

TABELA 16 - PRECISÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS DIFERENTES IDADES DOS POVOAMENTOS LOCALIZADOS EM TRÊS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL AJUSTADOS POR MEIO DE ESTIMADORES POR RAZÃO.

			Precisão do índice morfométrico				
Local	Idade		<i>PC</i>	<i>GE</i>	<i>IS</i>	<i>IA</i>	<i>FC</i>
P	1,00		0,32%	3,32%	8,17%	7,37%	7,38%
C	1,75		5,47%	3,87%	4,92%	6,38%	7,34%
E	1,83		3,11%	3,93%	5,73%	7,44%	6,83%
P	2,33		5,24%	5,68%	4,62%	7,45%	6,47%
C	2,75		5,26%	4,59%	5,23%	7,94%	6,82%
E	3,08		5,82%	3,22%	5,12%	6,33%	5,10%
C	5,00		6,43%	5,69%	5,04%	7,88%	8,71%
P	5,25		5,16%	4,41%	4,97%	5,85%	5,40%
E	5,75		8,30%	4,72%	5,57%	7,46%	9,24%
P	9,83		8,31%	5,34%	5,87%	7,97%	10,34%
C	10,08		10,62%	4,51%	6,56%	8,78%	14,33%
E	10,75		10,08%	3,60%	5,05%	6,30%	12,21%

Em que: P é Piratini; C é Cristal; E é Encruzilhada do Sul; *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa.

3.2.2.1. Proporção de Copa

Observou-se um decréscimo no valor da *PC* nas florestas maduras. Os resultados apresentaram variação de 34,4% a 96,4%. O índice *PC* apresentou diminuição de mais de 50% com o aumento da idade. Observou-se variação em função do local nas florestas jovens (Grupo

1), visto que de 1 ano para 1,75 anos de idade o índice passa de 96,4% para 59,4% e aumenta (71,6%) no povoamento com 1,83 anos. Nos grupos 2, 3 e 4 esta alteração é mais estável, com média de *PC* igual a 42%. A precisão, que se refere à dispersão entre medidas repetidas sob as mesmas condições (LIMA JUNIOR et al., 2013), apresentou uma média de 2,96% no Grupo 1, enquanto o Grupo 2 revelou precisão média de 5,44% e os grupos 3 e 4 apresentaram precisão em torno de 6,63% e 9,67%, respectivamente.

3.2.2.2. Grau de Esbeltez

O índice *GE* tende a um comportamento homogêneo, com resultados em torno de 1,28. A maior variação 1,43 (1,00 ano) a 1,09 (1,83 anos) ocorreu na floresta jovem, revelando a interferência do local de plantio. Medidas precisas são menos dispersas, isto é, quando repetidas, elas tendem a apresentar os mesmos resultados (LIMA JUNIOR et al., 2013) e, para este índice, a precisão mais baixa não alcançou 6% (povoamento de 5 anos de idade), sendo a precisão nas demais idades superiores (<5%), indicando alta precisão do índice (mais confiáveis estatisticamente), conforme descrito na seção 2.5.

3.2.2.3. Índice de Saliência

A relação *dc/dap* apresentou uma média de 0,22 e comportamento decrescente com o aumento da idade. O maior valor foi observado na idade 1 ano (0,44) reduzindo para 0,27 na idade 1,75 anos. Observou-se aqui a maior variação de resultado de *IS*, passando a um decréscimo gradual após estas idades. Embora seja notado um comportamento nos valores do índice, não há uma tendência clara no comportamento da precisão. As precisões se apresentaram em torno de 6,27% e 4,95% nos grupos 1 e 2, e em torno de 5,19% e 5,83% nos grupos 3 e 4, respectivamente.

3.2.2.4. Índice de Abrangência

Assim como o *IS*, o *IA* (Tabela 19) apresentou comportamento decrescente, ou seja, com o avançar das idades o valor do *IA* diminui, variando de 0,31 (1 ano) a 0,12 (10,75 anos). Os maiores valores de *IA* foram observados nas florestas jovens, com uma média igual a 0,26. Nas idades médias e maduras o índice revelou-se em torno de 0,14. A precisão resultou em

valores semelhantes, com resultados em torno de 7,06% e 7,24% nos grupos 1 e 2, e em torno de 7,06%, também, e 7,68% nos grupos 3 e 4, respectivamente.

3.2.2.5. Formal de Copa

O índice *FC* apresentou comportamento homogêneo, variou de 0,28 a 0,42, com média igual a 0,33. A maior variação, assim como verificado nos índices anteriores, ocorreu entre as idades 1 e 1,75 anos, de 0,32 a 0,42. Observou-se precisão média de 7,18%, 6,13%, 7,78% e 12,29% nos grupos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. O *FC* manifestou a menor confiabilidade dos resultados obtidos ($\bar{x}$ = 8,35%), quando comparado aos demais índices anteriormente apresentados.

3.2.2.6 Avaliação do método

Os estimadores por razão revelaram valores dos índices com o mesmo comportamento daqueles obtidos pela modelagem por estimativa pontual, podendo-se, adicionalmente, calcular as precisões destes índices. De modo geral, o índice *GE* apresentou menor dispersão, indicando maior confiabilidade estatística, seguido do *IS*. O *FC* foi o índice de menor confiabilidade estatística, com média de 8,35%. A mais alta precisão ocorreu para o índice *PC* no povoamento localizado em Piratini com 1 ano de idade (0,32%) e a mais baixa foi de 14,33% em Cristal aos 10,08 anos de idade, neste mesmo índice.

Avaliar a precisão dos índices possibilita constatar o grau com que os seus resultados se repetem. Também, origina a possibilidade da análise referente a variação referente ao local, uma vez que as amostras se aproximam de um mesmo tamanho.

Embora tenha sido possível o estabelecimento de intervalos de confiança, nota-se que a precisão varia entre idades, ou seja, as variâncias das variáveis variam entre as idades, dificultando uma efetiva comparação direta, no sentido de evidenciar se os valores dos índices diferem estatisticamente. Para que isso possa ser efetuado é requerido, para um mesmo índice, obter uma proximidade na variação de intervalo de confiança, ou seja, variâncias homogêneas.

Desta forma, avaliando as relações das variáveis que geram os índices, foram identificadas duas situações: 1) a variância das variáveis varia conforme a idade das florestas, ocorrência naturalmente esperada; e 2) percebe-se a necessidade da inclusão de um intercepto – cujo objetivo é descartar a diferença da variabilidade entre grupos.

3.2.3. Ajuste dos modelos morfométricos por modelagem correlacional

Aplicando-se estimadores por razão às variáveis padronizadas, o valor do coeficiente de razão é exatamente o valor da covariância entre as duas variáveis que geram os índices, também exatamente igual aos valores da análise de regressão quando o intercepto é igual a zero (ANEXOS – Figuras 6 – 17), bem como ao valor de correlação entre duas variáveis padronizadas, ou mesmo originais (Tabela 16). Tendo em vista tal constatação, conforme as provas matemáticas apresentadas na seção 2.6, como forma de facilitar o entendimento destas relações estatísticas, este terceiro método de modelagem de índices morfométricos passou a ser denominado como modelagem correlacional (r). Observa-se que, para todos os índices, foi constatada a relação de linearidade entre as variáveis, o que é preferível para aplicação do coeficiente de correlação.

TABELA 17 - VALORES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Idade		Índices morfométricos				
		<i>PC</i>	<i>GE</i>	<i>IS</i>	<i>IA</i>	<i>FC</i>
1,00	r, cor e cov	0,9986	0,9390	0,4440	0,4340	0,4380
1,75	r, cor e cov	0,5881	0,7280	0,7150	0,4170	0,4280
1,83	r, cor e cov	0,8109	0,8080	0,6700	0,2980	0,4650
2,33	r, cor e cov	0,6102	0,6990	0,8380	0,5160	0,6530
2,75	r, cor e cov	0,8024	0,8450	0,8580	0,6860	0,7180
3,08	r, cor e cov	0,5386	0,8454	0,7321	0,5363	0,7506
5,00	r, cor e cov	0,7405	0,8390	0,8600	0,7100	0,5580
5,25	r, cor e cov	0,6938	0,8520	0,7900	0,5770	0,7040
5,75	r, cor e cov	0,5317	0,9000	0,8250	0,6390	0,5490
9,83	r, cor e cov	0,3797	0,8830	0,8110	0,6350	0,4050
10,08	r, cor e cov	0,3310	0,8750	0,8400	0,7110	0,2180
10,75	r, cor e cov	0,2397	0,8886	0,7744	0,6084	0,1107

Em que: r é a razão; cor é o coeficiente de correlação; cov é a covariância; *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa.

3.2.3.1. Proporção de Copa

O índice apresenta tendência decrescente em função da idade. A associação das variáveis que compõe este índice tende a ser mais fraca nas florestas mais velhas. A maior correlação encontra-se no povoamento de 1 ano de idade (0,9986), justificada pela necessidade de área fotossintética no crescimento inicial da espécie. O decréscimo da correlação nas idades avançadas (0,2397) indica que a relação altura e comprimento de copa torna-se fraca, ou seja, a variação que ocorre neste índice passa a estar mais relacionada com outras características da

floresta do que propriamente com a variável altura da árvore, refletindo os efeitos de competição das copas e auto-sombreamento dos galhos. Evidencia-se a intervenção do local. Na floresta jovem (Grupo 1) há grande diferença na associação das variáveis, observando-se nas idades 1 (0,9986) e 1,75 anos (0,5881), passando de correlação muito forte a regular e seguindo para correlação forte na idade seguinte (1,83 anos). Essa variação ocorre nos 4 grupos de idade, decaindo até alcançar a floresta madura, na qual observa-se fraca associação.

A alta associação das variáveis na floresta mais jovem (1 ano de idade) indica que o aumento de uma unidade de altura corresponde ao aumento de 0,9986 da unidade de comprimento de copa. Já na floresta mais velha esta relação é de apenas 0,24 unidades.

TABELA 18 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO ÍNDICE PC POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Idade	Grupo	Proporção de Copa			
		Índice	IC inferior	IC superior	Precisão
1,00	1	0,9986	0,9978	0,9992	99,9%
1,75		0,5881	0,3909	0,7337	53,3%
1,83		0,8109	0,6965	0,8851	78,7%
2,33	2	0,6102	0,3944	0,7622	51,7%
2,75		0,8024	0,6696	0,8855	75,6%
3,08		0,5386	0,3444	0,6886	50,0%
5,00	3	0,7405	0,5661	0,8515	66,5%
5,25		0,6938	0,5339	0,8057	66,3%
5,75		0,5317	0,2974	0,7056	42,1%
9,83	4	0,3797	0,1163	0,5932	19,6%
10,08		0,3310	0,0771	0,5446	14,2%
10,75		0,2397	-0,0107	0,4618	2,3%

Em que: IC é o intervalo de confiança.

Quanto maior o percentual obtido na precisão, resultante do intervalo de confiança, menor a variação dos resultados obtidos para o índice. A precisão média dos intervalos de confiança para os resultados do índice *PC* foi de 57% (Tabela 17). O menor intervalo de precisão encontra-se no povoamento com 1 ano de idade, enquanto o maior ocorre na idade 9,83 anos (2,3%). A significância da correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 22) relevou valores inferiores ao nível de 95% probabilidade, mostrando que o índice varia nas diferentes idades. O teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 23) também revelou que existe variação significativa a 95% de probabilidade para o índice com o aumento de idade da floresta. A classificação por grupos (ANEXOS – Tabela 24) demonstrou que o índice *PC* apresenta variação significativa para as diferentes idades e locais nos grupos 1 e 2.

3.2.3.2. Grau de Esbeltez

O índice *GE* apresenta forte associação das variáveis em todos os povoamentos. Não existe tendência na correlação em função da idade, como visto nos métodos anteriores, os resultados variam pouco. Apesar disso, pode-se verificar que as correlações mais fortes ocorrem nas idades dos grupos 3 e 4. Na floresta com 1 ano de idade observa-se associação muito forte (0,939). Em média, a correlação para este índice alcançou $r = 0,842$ e, desta forma, como observado no índice *PC*, a mesma interpretação pode ser feita neste caso, em média o aumento de uma unidade de *dap* resulta em 0,842 unidade de altura. A menor correlação ocorreu no povoamento com idade 2,33 anos (0,699).

TABELA 19 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO ÍNDICE *GE* POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Grau de Esbeltez					
Idade	Grupo	Índice	IC inferior	IC superior	Precisão
1,00	1	0,939	0,904	0,962	94,0%
1,75		0,728	0,580	0,830	69,9%
1,83		0,808	0,693	0,883	78,4%
2,33	2	0,699	0,517	0,820	63,1%
2,75		0,845	0,737	0,911	80,8%
3,08		0,845	0,760	0,902	84,3%
5,00	3	0,839	0,720	0,910	79,1%
5,25		0,852	0,763	0,909	83,9%
5,75		0,900	0,829	0,942	88,0%
9,83	4	0,883	0,804	0,932	86,2%
10,08		0,875	0,796	0,925	86,1%
10,75		0,889	0,821	0,932	88,1%

Em que: IC é o intervalo de confiança.

A precisão média dos intervalos de confiança para os resultados de *GE* foi de 82% (Tabela 18). O menor intervalo de confiança foi obtido para a floresta jovem com 1 ano de idade, alcançando precisão do intervalo de 94,0%, enquanto o maior ocorreu na idade 2,33 anos (63,1%). Este foi o índice de maior precisão dos índices. A significância da correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 22) apresentou valores inferiores ao nível de 95% de probabilidade, mostrando que o índice varia com o aumento da idade. O teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 23) revelou que existe variação significativa a 95% de probabilidade para o índice com o aumento da idade. A classificação por grupos (ANEXOS – Tabela 24) demonstrou que o índice *GE* apresenta variação significativa para as diferentes idades e locais somente no Grupo 1.

3.2.3.3. Índice de Saliência

Exceto o povoamento de 1 ano de idade instalado em Piratini, que resultou em $r=0,444$, a relação das variáveis *dc* e *dap* se mantém estável com o aumento da idade, cujos valores gravitam em torno da média de 0,763. O índice apresenta forte associação das variáveis. A maior correlação foi observada na floresta com 5 anos de idade ($r=0,860$). Verifica-se a influência do local no Grupo 1, que, em Piratini, apresentou variação no *dc* não dependente propriamente da variável *dap*.

TABELA 20 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO IS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Índice de Saliência					
Idade	Grupo	Índice	IC inferior	IC superior	Precisão
1,00	1	0,444	0,233	0,615	37,9%
1,75		0,715	0,562	0,821	68,5%
1,83		0,670	0,495	0,793	62,3%
2,33	2	0,838	0,727	0,906	80,2%
2,75		0,858	0,758	0,919	82,4%
3,08		0,732	0,598	0,826	72,4%
5,00	3	0,860	0,755	0,922	81,9%
5,25		0,790	0,670	0,869	77,1%
5,75		0,825	0,709	0,897	79,0%
9,83	4	0,811	0,689	0,888	77,6%
10,08		0,840	0,742	0,903	82,2%
10,75		0,774	0,650	0,858	75,8%

Em que: IC é o intervalo de confiança.

A precisão média dos intervalos de confiança para os resultados de *IS* foi de 74% (Tabela 19). O menor intervalo de confiança foi observada nos povoamentos com 2,75 e 10,08 anos de idade, em torno de 82% de precisão, enquanto o maior ocorre na idade 1 ano (37,9%). A significância da correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 22) revelou valores inferiores ao nível de 95% de probabilidade e que o índice varia com o aumento da idade. O teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 23) revelou que existe variação significativa a 95% de probabilidade para o índice com o aumento da idade da floresta. A classificação por grupos (ANEXOS – Tabela 24) comprovou que o índice *IS* passa a não apresentar variação significativa a partir de 2 anos de idade.

3.2.3.4. Índice de Abrangência

Apesar da influência do local, observa-se aumento da correlação das variáveis do Índice de Abrangência com o aumento da idade da floresta. A associação das variáveis que compõe este índice tende a melhorar após os 2 anos de idade. A maior correlação foi observada na idade de 10,08 anos com $r=0,711$, enquanto a menor foi observada no povoamento com idade 1,83 anos (0,298). A associação pode ser explicada avaliando-se o envelhecimento da floresta, quando ocorre o crescimento em altura e, também, que as árvores apresentam maior diâmetro de copa (PADOIN et al., 2010). O índice apresenta correlação regular, sendo forte nas florestas maduras.

TABELA 21 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO IA POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

		Índice de Abrangência			
Idade	Grupo	Índice	IC inferior	IC superior	Precisão
1,00	1	0,434	0,222	0,607	36,5%
1,75		0,417	0,180	0,608	29,6%
1,83		0,298	0,038	0,520	7,4%
2,33	2	0,516	0,272	0,698	39,0%
2,75		0,686	0,497	0,813	61,1%
3,08		0,536	0,342	0,687	49,7%
5,00	3	0,710	0,521	0,833	62,5%
5,25		0,577	0,379	0,725	52,2%
5,75		0,639	0,439	0,779	56,4%
9,83	4	0,635	0,435	0,775	56,2%
10,08		0,711	0,553	0,820	67,4%
10,75		0,608	0,423	0,745	56,8%

Em que: IC é o intervalo de confiança.

A precisão média dos intervalos de confiança para os resultados de *IA* foi de 50,0% (Tabela 20). O menor intervalo de confiança foi observado no povoamento com 10,08 anos de idade (67,4%), enquanto o maior ocorreu na idade 1,83 anos (7,84%). A significância da correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 22) relevou valores inferiores ao nível de 95% de probabilidade, mostrando que o índice varia com o aumento da idade. O teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 23) revelou que não existe variação significativa a 99 % de probabilidade para o índice com o aumento da idade. A classificação por grupos (ANEXOS – Tabela 24) comprovou que o índice *IA* passa a não apresentar variação significativa a partir de 2 anos de idade.

3.2.3.5. Formal de Copa

O *FC* não apresenta tendência em função da idade. A relação de *dc* e *l* é forte nas idades intermediárias (2,33 a 5,75), sendo que nos povoamentos mais jovens esta correlação fica em torno de 0,444 e nos povoamentos com idades avançadas em torno de 0,244. A observação remete à formação da copa com o avanço da idade da floresta, visto que nas florestas jovens o *cc* é maior que o *dc*, resultando em uma copa cilíndrica, avançando para copas mais largas na base (aumento de *dc*), quando estas atingem a idade intermediária. Na floresta madura as copas se encontram, ocasionando o auto sombreamento dos galhos e tornando fraca a associação entre as variáveis que o compõe. A média para este índice foi de $r=0,500$, pertencendo à classificação regular concernente à intensidade de associação.

TABELA 22 - INTERVALO DE CONFIANÇA (IC) APLICADO AO ÍNDICE FC POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Formal de Copa					
Idade	Grupo	Índice	IC inferior	IC superior	Precisão
1,00	1	0,438	0,226	0,610	38,39%
1,75		0,428	0,193	0,617	42,34%
1,83		0,465	0,230	0,648	41,85%
2,33	2	0,653	0,452	0,790	33,79%
2,75		0,718	0,543	0,834	29,03%
3,08		0,751	0,624	0,839	21,51%
5,00	3	0,558	0,310	0,735	42,53%
5,25		0,704	0,548	0,812	26,48%
5,75		0,549	0,320	0,718	39,81%
9,83	4	0,405	0,146	0,612	46,65%
10,08		0,218	-0,046	0,453	49,81%
10,75		0,111	-0,143	0,351	49,38%

Em que: IC é o intervalo de confiança.

A precisão média para os resultados de *FC* foi de 47,0% (Tabela 21). O menor intervalo de confiança encontra-se no povoamento com 3,08 anos de idade (74,4%), enquanto o maior ocorre na idade 10,08 anos (10,1%). A significância da correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 22) relevou valores inferiores ao nível de 95 % de probabilidade, significando que o índice varia com o aumento da idade. O teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para todas as idades (ANEXOS – Tabela 23) revelou que existe variação significativa a 95 % de probabilidade no índice com o aumento da idade. A classificação por grupos (ANEXOS – Tabela 24) comprovou que o índice *FC* passa a não apresentar variação significativa a partir de 2 anos de idade.

3.2.3.6. Avaliação do método

Após a padronização: 1) todas as variáveis passam a ter a mesma média, ou seja, média igual a 0 (zero); 2) todas as variáveis passam a ter a mesma variância, ou seja, variância igual a 1 (um); 3) elimina-se o efeito das unidades de medida e 4) deixa de existir diferença de variabilidade entre grupos. Observa-se que no estimador por razão as variâncias variam com o aumento da idade, citado anteriormente, enquanto, com variáveis padronizadas, as variâncias são constantes.

Comparação dos resultados dos índices, entre grupos de idades, estão apresentados na Quadro 2.

QUADRO 2 - COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

(Continua)

Índice	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Tendência	Associação
Proporção de Copa	A correlação média foi igual 0,799. Observa-se variação por local. A associação varia de muito forte (0,999) para regular (0,588) e forte (0,811).	A correlação média foi igual 0,650. Observa-se variação por local. A associação varia de forte para regular.	A correlação média foi igual 0,655. A associação decresce de forma gradual, varia de forte para regular.	A correlação média foi igual 0,317. A associação decresce de forma gradual, varia de regular para fraca na idade 10,75 anos.	Com tendência	Forte
Grau de Esbeltez	A correlação média foi igual 0,825. Observa-se variação por local. A associação varia de muito forte para forte.	A correlação média foi igual 0,796. Observa-se aumento da associação, variando de 0,699 para 0,845.	A correlação média foi igual 0,864. Observa-se aumento da associação, variando de 0,839 para 0,900. A associação é forte nas idades 5,00 e 5,25 anos e muito forte aos 5,75 anos.	A correlação média foi igual 0,882, a maior observada entre grupos de idade. Observa-se aumento da associação, variando de 0,883 para 0,889.	Tendência estável	Forte

QUADRO 2 - COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

(Conclusão)

Índice de Saliência	A correlação média foi igual 0,610. Observa-se variação por local. A associação varia de regular para forte, sendo em Cristal a maior correlação (0,715).	A correlação média foi igual 0,809. Observa-se variação por local. A associação é menor em Encruzilhada do Sul (0,732).	A correlação média foi igual 0,825. A associação é forte, sendo maior na idade 5,00 (0,860) e menor na idade 5,25 anos (0,790).	A correlação média foi igual 0,808. A associação é forte, sendo maior na idade 10,08 anos (0,840) e menor na idade 10,75 anos (0,700).	Com tendência	Forte
Índice de Abrangência	A correlação média foi igual 0,383. Observa-se variação por local. A associação varia de regular para fraca em Encruzilhada do Sul.	A correlação média foi igual 0,579. Observa-se variação por local. A associação varia de regular para forte e regular.	A correlação média foi igual 0,642. A associação é forte em Piratini e Encruzilhada do Sul e regular em Cristal.	A correlação média foi igual 0,651. A maior associação encontra-se em Cristal.	Com tendência	Regular
Formal de Copa	A correlação média foi igual 0,444. A mais forte associação foi observada na idade 1,83 anos. Não foi observada variação por local.	A correlação média foi igual 0,707. A associação aumenta com a idade e local, observando-se em Encruzilhada do Sul a maior associação.	A correlação média foi igual 0,604. Observa-se variação por local. A associação é forte em Cristal e regular em Piratini e Encruzilhada do Sul.	A correlação média foi igual 0,245. Observa-se variação por local. A associação varia de regular para fraca nas florestas acima de 10 anos de idade.	Sem tendência	Regular

3.3. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS IDADES E AMBIENTES

A correlação das variáveis de cada índice foi testada por meio de um teste *t* e os resultados obtidos estão apresentados nos ANEXOS – Tabela 22. O teste de significância

revelou valores inferiores ao nível 95% de probabilidade, mostrando que os índices morfométricos variam com o avanço da idade.

Os resultados provenientes do teste de homogeneidade dos coeficientes de correlação para todas as idades, sem considerar o local, estão apresentados nos ANEXOS – Tabela 23. O teste revelou que todos os índices apresentaram variação significativa com o avanço da idade.

Os resultados provenientes do teste de homogeneidade dentro dos grupos de idades, para comparar os locais, estão apresentados nos ANEXOS – Tabela 24. O Grupo 1 revelou que os índices *IS*, *IA* e *FC* não apresentaram variação significativa. E a partir de 2,33 anos de idade nenhum índice constatou variação significativa a 95% de probabilidade, indicando não haver mudança entre os grupos de idade em função do local, quando se compara as mudanças nas relações idade x local, nos índices morfométricos.

3.4. COMPARAÇÃO DOS ESTIMADORES PARA MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Uma síntese dos resultados dos índices morfométricos provenientes das modelagens aplicadas estão apresentadas na Quadro 3. Em ANEXOS – Tabela 25 a 29 estão incluídos os resultados numéricos dessas interpretações.

QUADRO 3 - SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS TRÊS ABORDAGENS APLICADAS NO ESTUDO.

(Continua)

Índice morfométrico	Modelagem por estimativa pontual	Estimador por razão	Modelagem Correlacional
Proporção de Copa	A acácia-negra apresentou Proporção de Copa média de 53,4%. Isto revela, em média, nos povoamentos estudados, que a copa ocupa mais da metade da altura da árvore.	A relação tende a piorar com o avançar das idades, consequentemente a sua precisão, embora as amostras sejam de tamanho diferente. Existe um comportamento decrescente do índice em relação à idade dos povoamentos. Com precisão de 0,32% na idade 1,00 ano e 10,08% na idade 10,75 anos.	Alta correlação das variáveis nas florestas jovens, na idade 1,00 ano resultou em $r=0,9986$, sendo esta associação fraca em povoamentos com árvores maduras (0,2397).

QUADRO 3: SÍNTESE DOS RESULTADOS DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NAS TRÊS ABORDAGENS APLICADAS NO ESTUDO.

(Conclusão)

Grau de Esbeltez	A média de Grau de Esbeltez nos povoamentos foi de 1,34. No entanto, em média, todas as amostras apresentaram maior crescimento em <i>h</i> quando comparado ao crescimento em <i>dap</i> .	O Grau de Esbeltez apresenta comportamento homogêneo, quando comparado aos demais índices, tanto em valor do índice, quanto em precisão, ou seja, há pouca variabilidade entre os índices. Os resultados de precisão demonstram-se, em grande parte, inferiores a 5%.	O índice Grau de Esbeltez apresenta forte correlação de suas variáveis em todas as idades, em torno de 0,842, sendo a maior na idade 1 ano com $r=0,939$.
Índice de Saliência	O Índice de Saliência médio calculado foi de 0,23, sugerindo, então, que em média, a espécie estudada tem uma copa 23 vezes maior que o <i>dap</i> .	Esta relação decresce com o avançar da idade dos povoamentos, porém a precisão apresenta-se melhor nas idades intermediárias.	A associação das variáveis do <i>IS</i> é forte, com exceção do povoamento com 1 ano de idade ($r=0,444$), com média de $r=0,763$.
Índice de Abrangência	O Índice de Abrangência médio encontrado foi de 0,18, indicando que o <i>dc</i> é inferior à altura da árvore	Esta relação decresce com o avançar da idade dos povoamentos, porém, a precisão é constante, sem comportamento definido em função da idade, com classificação média, em torno de 7,26%.	A correlação destas variáveis varia em torno de 0,564, sendo a maior encontrada na idade 10,08 anos (0,711).
Formal de Copa	O Formal de Copa médio foi de 0,35, sendo o maior valor encontrado de 1,74 e o menor 0,04, indicando que no estudo existem tanto árvores com copas esbeltas quanto achatadas.	O índice Formal de Copa apresenta resultados semelhantes. A precisão varia ao longo das idades, sendo pior nas florestas maduras.	Em média a associação das variáveis deste índice encontra-se em torno de 0,50, sendo que a relação é mais fraca em árvores maduras. As idades 10,08 e 10,75 apresentaram $r=0,218$ e $r=0,111$, respectivamente.

3.5. COMPARAÇÃO DAS MODELAGENS

No Quadro 4 está apresentado um resumo das características positivas e negativas das modelagens aplicadas.

QUADRO 4 - COMPARAÇÃO DE ESTIMADORES PARA MODELAGEM DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS.

Modelagem	Pontos positivos	Pontos negativos
Estimador pontual	Admite um valor, ou seja, propicia uma estimativa pontual. Traz interpretações pré-estabelecidas.	Nenhuma outra estatística é obtida para a avaliação e interpretação do índice morfométrico. As interpretações pré-estabelecidas não são apropriadas à todas as condições da floresta de acácia negra.
Estimador por razão	Obtém-se a estimativa pontual e, também, a precisão dos resultados (calcula-se variância, erro padrão, intervalo de confiança e precisão).	O método impossibilita a comparação direta entre grupos devido ao problema da variância das variáveis. A inclusão de um intercepto é requerida para que a modelagem seja mais apropriada.
Modelagem correlacional	A padronização das variáveis de interesse elimina a diferença da variabilidade existente entre grupos. A razão entre as variáveis que compõe o índice morfométrico pode ser facilmente calculado por meio da análise de correlação. É obtido também pela covariância das variáveis padronizadas. São obtidos índices que variam dentro de uma escala conhecida.	Não é possível ter a percepção de percentual de uma variável sobre a outra, como ocorre no índice Proporção de Copa e Índice de Saliência, em uma visão geral e por árvore.

Neste estudo foi observado que algumas interpretações cabem somente às florestas jovens. Entretanto, não é possível aplicar as recomendações estabelecidas pela literatura integralmente à diferentes espécies e à outras circunstâncias (neste caso, à idade), ou seja, alguns resultados não são compatíveis com a interpretação que se encontra na literatura.

4. CONCLUSÃO

Uma vez que o método tradicional de obtenção dos índices morfométricos não é apropriado à forma de seleção das árvores, para o presente estudo, este não é recomendado. Por este mesmo motivo, a utilização de estimadores por razão, além de proporcionar ao índice seu intervalo de confiança e também a sua precisão, é a maneira adequada para a obtenção destes índices (à forma de seleção das árvores aplicada no presente estudo, que, geralmente, também é adotada em outros estudos). A modelagem dos índices morfométricos por meio do Estimador por Razão é então aconselhável, embora as variâncias das variáveis apresentem variação entre as idades, dificultando uma efetiva comparação direta entre os índices.

A aplicação de variáveis padronizadas aos estimadores por razão resultou na correção para a dificuldade encontrada no método anterior proposto. Ainda, conforme demonstrado, a aplicação de variáveis padronizadas à obtenção dos índices morfométricos revela que os resultados obtidos são os mesmos àqueles decorrentes da correlação entre as variáveis, a avaliação do índice passou a variar de 0 a 1, permitindo a comparação dos índices. Desta forma, a modelagem permite verificar a associação existente entre as variáveis que compõe os índices morfométricos.

A avaliação do efeito da idade e de locais de cultivo sobre os índices morfométricos revelou que há variação do índice conforme a idade da floresta. Na relação idade x local os índices dos grupos de idade 3 e 4 resultaram-se não significantes à essa mudança, ou seja, não houve efeito de local de plantio.

REFERÊNCIAS

- BERTOLINI, I. C. **Dendrometria e morfometria da *Araucária angustifolia* (Bertol.) Kuntze sob diferentes condições de manejo**. 39 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal) – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2013.
- BOECHAT SOARES, C. P.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal**. UFV, 2011.
- BRING, J. How to standardize regression coefficients. **The American Statistician**. V. 48, n.3, p. 209-213, 1994.
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre:Artemed, 2003.
- COCHRAN, W. G. **Sampling Techniques**. 3d. 1997.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequidânea. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 239-245, 2015.
- COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze**, Lages, SC. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

COSTA, J. R.; CASTRO, A. B. C.; WANDELLI, E. V.; CORAL, S. C. T.; SOUZA, S. A. G. Aspectos silviculturais da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) em sistemas agroflorestais na Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 843-850, 2009.

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

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 18, n. 1, 2010.

FINGER, C. A. G.; SPATHELF, P.; SCHENEIDER, P. R.; COELHO, L. Curvas de altura-diâmetro de acácia negra (*Acacia Mearnsii* de Wild). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 387 - 391, 2000.

HESS, A. F.; ARRUDA DE SOUZA, I.; COSTA, E. A.; MAGALHÃES, T. L. Morphometric Relationships as Indicative of Silvicultural Interventions for Brazilian Pine in Southern Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 7, p. 110-121, 2018.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.

LIMA JUNIOR, P.; SILVA, M. T. X.; SILVEIRA, F. L.; VEIT, E. A. **Laboratório de mecânica**: subsídios para o ensino de Física experimental. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

LOHR, L.S. **Sampling: Design and Analysis**. 2nd Edition, Arizona State University, Tempe, 2010.

MARTINS, J. F. C., DIMAS, A. S., BEHLING, A., RIBEIRO, R.. Modelagem hipsométrica de povoamentos de acácia-negra usando linguagem de programação Julia. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 6, n. 2, p. 133-152, 2021.

MOCHIUTTI, S. **Produtividade e sustentabilidade de plantações de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) no Rio Grande do Sul**. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

OLIVEIRA, T. M. **Influência das relações morfométricas para o manejo de *Tectona grandis* Linn F**. 45 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

ORELLANA, E. KOEHLER, A. B. Relações morfométricas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 229-237, 2008.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 95-105, 2010.

PAD 705. **Standardized Regression Coefficients**. Rockefeller College, University at Albany, 2004.

PÉLLICO NETO, S.; BEHLING, A. Additivity of tree biomass components using ratio estimate. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 3, 2019.

RICKEN, P.; HESS, A. F.; PÓVOA DE MATTOS, P.; BRAZ, E. M. NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T. Morfometria de *Araucaria angustifolia* em diferentes altitudes no Sul do Brasil. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 40, p. 1-11, 2020.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell) Arráb. Ex. Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

SANTOS, A. R. C. S.; SILVA, L. G.; VIEIRA, A. C. S.; SANTOS, A. A. L.; SILVA, N. L. FLORIANO, E. P. Morphometry of *Tabebuia aurea* (Silva Manso, Benth. & Hook. f ex s. Moore) in sections of the Federal University of Alagoas, Maceió, AL. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 32445-32454, 2019.

SELLE, G. L., VUADEN, E. Crescimento de seis espécies nativas da região central do estado do Rio Grande do Sul. **Ambiência**, v. 6, n. 1, p. 169-192, 2010.

SILVEIRA, B. D.; FLORIANO, E. P.; NAKAJIMA, N. Y.; HOSOKAWA, R. T.; ROSOT, N. C.; GRACIOLI, C. R. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia clausenii* em um fragmento de floresta semidecidual, RS. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 373-382, 2015.

SILVEIRA, A. C. **Relações interdimensionais e dinâmica estrutural no manejo sustentável de *Araucaria angustifolia* (Bertol) Kuntze em Santa Catarina**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SCHIELZETH, H. Simple means to improve the interpretability of regression coefficients. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 1, p. 103–113, 2010.

SHIMAKURA, S. **Bioestatística avançada I**. Departamento de Estatística. Universidade Federal do Paraná, 2005.

TABOGA, M. **Lectures on Probability Theory and Mathematical Statistics**. 3d, 2017.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

TORRES, V. S.; TODESCHINI, F.; FARIAS, M. F. Morfometria de *Tipuana tipu* (Benth.) Kuntze, em floresta urbana de Porto Alegre. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 25, n. 1, p. 20-30, 2019.

ZIMMERMANN, APL et al. Relações morfométricas para árvores dominantes de *Pinus taeda* no Estado do Paraná. In: **Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 7., 2012, Viçosa, MG.[Anais...]. Viçosa, MG: UFV, 2012., 2012.

CAPÍTULO 2

RELAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS COM AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DA FLORESTA DE *Acacia mearnsii* DE WILD. NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

RESUMO

Nota-se que as relações dos índices morfométricos com as variáveis de produção são distintas entre as espécies. No presente trabalho, buscou-se obter estas relações para a espécie acácia-negra, sobre as quais não se tem informações a respeito. Tendo isso em vista, o objetivo deste estudo foi compreender como as variáveis de produção área basal, biomassa e volume se relacionam com os índices morfométricos e, conseqüentemente, como esta relação se comporta ao longo do ciclo de cultivo da espécie acácia negra. Para isso, duas bases de dados foram utilizadas: 1) Base de dados 1: dados coletados em floresta ao longo de um ciclo de cultivo; e 2) Base de dados 2: dados coletados em uma floresta na idade de corte. A base de dados 1 corresponde àquela descrita no capítulo 1. A base de dados 2 é composta por dados oriundos de plantios comerciais de acácia negra, situados no município de Cristal, na região sul do estado do Rio Grande do Sul, estabelecidos nos anos de 2003, 2004 e 2005. Para esta base, noventa e uma unidades amostrais foram demarcadas e instaladas parcelas com 9, 10 e 11 anos de idade. Na presente modelagem, foram empregadas as variáveis diâmetro à altura do peito (*dap*), altura total (*h*), comprimento de copa (*cc*), diâmetro de copa (*dc*), área basal (*G*), volume (*V*), e biomassa (*B*). Os índices morfométricos obtidos foram: Proporção de Copa (*PC*), Grau de Esbeltez (*GE*), Índice de Saliência (*IS*), Índice de Abrangência (*IA*) e Formal de Copa (*FC*). (A correlação de Pearson foi calculada entre as variáveis de produção e os índices morfométricos. Como complemento, uma análise de fatores foi efetuada com o objetivo de agrupar as variáveis de produção e os índices morfométricos. Para a floresta ao longo de um ciclo de cultivo: o índice *PC*, sem considerar a idade, apresentou maior correlação com as variáveis de produção, comparado aos demais índices. O *GE* foi o índice que melhor se correlacionou com a área basal, biomassa e volume na floresta madura. Maior correlação foi observada nos grupos que contém parcelas com árvores jovens. Para a floresta em idade de colheita: o *PC* apresentou forte correlação com as variáveis de produção ($\bar{r} = 0,74$), seguida do *IS* ($\bar{r} = 0,72$). Os índices *PC* e *GE* apresentaram relação inversamente proporcional às variáveis de produção da floresta de acácia negra e são os dois índices mais importantes e que estão relacionados com a produção das florestas de acácia -negra.

Palavras-chave: Produção florestal. Morfometria. Associação.

ABSTRACT

The relationships of morphometric indices with the production variables are distinct between species. In the present work, we sought to obtain these relationships for black wattle species, for which there is no information about it. The objective of this study was to understand how the production variables basal area, biomass and volume are related to morphometric indices and, consequently, how this relationship behaves throughout the crop cycle of the black wattle species. Two databases were used: 1) Database 1: data collected in the forest during a cultivation cycle; and 2) Database 2: data collected in a forest at the cutting age. Database 1 corresponds to that described in chapter 1. Database 2 is composed of data from commercial plantations of black wattle, located in the municipality of Cristal, in the southern region of the state of Rio Grande do Sul, established in the years 2003, 2004 and 2005. For this base, ninety-one sampling units were demarcated and installed plots with 9, 10 and 11 years of age. In the present modeling, diameter at breast height (dbh), total height (h), crown length (cc), crown diameter (dc), basal area (G), biomass (B) and volume (V), were used as variables. The morphometric indices obtained were: Crown Ratio (CR), Degree of Slenderness (DS), Salience Index (SI), Coverage Index (CI) and Crown Formal (CF). Pearson's correlation was performed between the production variables and morphometric indices. As a complement, a factor analysis was performed in order to group the production variables and the morphometric indices. For the forest throughout a crop cycle: the crown ratio (CR), without considering age, presented a higher correlation with the production variables, compared to the other indices. The Degree of Slenderness (DS) was the index that best correlated with basal area, biomass, and volume in mature forest. A higher correlation was observed in the groups containing plots with young trees. For the forest of harvest age: the CR showed a strong correlation with the production variables ($\bar{r} = 0,74$), followed by Salience Index (SI) ($\bar{r} = 0,72$). The CR and DS indices behaved inversely proportional to the production variables of the black wattle forest and are the two most important indices that are related to the production of black wattle forests.

Keywords: Forest production, Morphometry, Association.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento de árvores está diretamente relacionado com a sua forma e estrutura (WEBER, 2013), o que pode ser avaliado por meio da morfometria. A morfometria refere-se ao estudo da variação da forma de órgãos e organismos e sua covariação com outras variáveis (PARES-CASANOVA, 2017). O conhecimento da morfometria e das relações interdimensionais de espécies arbóreas apresentam várias finalidades, tais como: estimativa de volumes de madeira e de biomassa, modelagem do crescimento e a escolha de procedimentos silviculturais (ISTCHUK, 2016). Os índices morfométricos, descritos por Durlo e Denardi (1998), são: Proporção de Copa (*PC*), Grau de Esbeltez (*GE*), Índice de Saliência (*IS*), Índice de Abrangência (*IA*) e Formal de Copa (*FC*).

Neste sentido, um importante aspecto é identificar se existe associação entre os índices morfométricos com as três principais variáveis de produção: área basal (*G*), biomassa (*B*) e volume (*V*).

A área basal é a área seccional do tronco da árvore obtida no diâmetro à altura do peito (*dap*) e refere-se ao grau de ocupação do terreno pelos fustes das árvores (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014), sendo uma das mais importantes medidas de densidade em mensuração florestal, isolada ou em combinação com outro fator. Seu conhecimento permite que sejam efetuadas avaliações econômicas e potenciais, tanto para florestas nativas como plantadas (FINGER, 1992). Segundo Machado e Figueiredo Filho (2009), a área basal apresenta forte correlação com o volume, sendo uma importante variável para projetar as produções futuras.

A biomassa florestal refere-se a toda massa vegetal existente na floresta ou apenas sua fração arbórea (SANQUETTA, 2002). A estimativa de componentes da biomassa é essencial para o estudo da produção e proteção florestal, reciclagem de nutrientes, hidrologia, ambientes naturais e comportamento do fogo (FLEIG, 2002), também para fins energéticos e como base de informação para estudos de sequestro de carbono (ROCHA JUNIOR, 2013). Estes estudos são de grande importância para a tomada de decisões no manejo florestal. A fonte de energia de uma árvore provém da luz do sol, que é transformada pelo processo da fotossíntese em energia química, cuja copa é o órgão da árvore responsável por este processo. Deste modo, pode-se inferir, que as variáveis relacionadas à copa estão diretamente relacionadas com o crescimento e a produção de matéria seca da árvore (NUTTO et al., 2013).

Estimar o volume das árvores é, na maioria das vezes, a principal finalidade dos levantamentos florestais, quando se trata de povoamentos destinados para fins comerciais

(MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Com os conhecimentos das medidas de diâmetro e altura das árvores, pode-se obter os seus volumes. O volume é uma importante variável no diagnóstico do potencial madeireiro de uma floresta (CUNHA, 2004), além de ser uma variável de uso corrente no manejo florestal.

Observa-se que as variáveis ligadas de forma direta e/ou indireta à área basal, biomassa e volume também são aquelas utilizadas para compor os índices morfométricos. Na literatura existem relatos da relação dos índices morfométricos com as variáveis de produção da floresta: área basal (G), biomassa (B) e volume (V).

Características de dimensões da árvore e da copa foram empregadas para modelar o incremento em área basal em floresta natural de *Araucaria angustifolia*, no município de Lages, SC, utilizando-se as variáveis *FC*, *PC* para árvores dominantes, comprimento de copa (*cc*) e *GE*. Costa et al. (2015) identificaram que à medida que o índice *FC* aumentava, indicando árvores com copa curta e larga, o incremento em área basal foi menor quando comparadas com árvores de copa longa e estreita, com menor *FC*. Também, foi observado que valores de *GE* entre 0,35 a 0,62 em árvores jovens com alta Proporção de Copa, apresentaram maior incremento da variável de produção. Os autores apresentaram a precisão da estimação do incremento periódico anual da área basal em %, tendo como variáveis independentes os índices *FC* e *GE*. Carrijo (2016) observou, em povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, relação inversamente proporcional entre *GE*, *IS* e *IA* com o volume. Rocha Junior (2013) verificou moderada correlação das variáveis morfométricas com a biomassa foliar, em que os índices *GE* e *IS* apresentaram correlações negativas com a biomassa.

Nota-se que as relações dos índices morfométricos com as variáveis de produção são distintas entre as espécies. No presente trabalho, busca-se obter estas relações para espécie acácia negra, para a qual não se tem informações a respeito. A silvicultura da acácia negra tem importância econômica e social nas pequenas propriedades existentes na região de plantio, no estado do Rio Grande do Sul, contribuindo aos variados segmentos econômicos por meio de seus produtos: madeira e casca (HIGA et al., 2001). Almeja-se identificar se as produções de área basal, biomassa e volume são dependentes dos índices morfométricos e, ainda, como isso se comporta ao longo das idades dos povoamentos.

Sendo assim, o objetivo deste estudo é avaliar se as variáveis de produção área basal, biomassa e volume estão correlacionadas com os índices morfométricos e, à vista disso, como esta relação se comporta ao longo do ciclo de cultivo e em floresta em idade de colheita da espécie acácia negra.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 INFORMAÇÕES SOBRE ÁREA DE ESTUDO E DOS DADOS

Duas bases de dados foram utilizadas para a avaliação da relação dos índices morfométricos com as variáveis de produção da floresta de acácia negra, denominadas:

1. Base de dados 1: dados coletados em florestas de acácia negra ao longo de um ciclo de cultivo;
2. Base de dados 2: dados coletados em uma floresta de acácia negra na idade de colheita.

2.1.1. Base de dados 1 – origem dos dados e mensuração das variáveis

A Base de dados 1 corresponde àquela descrita no capítulo 1, sendo assim, as características da área, a origem dos dados empregados e a mensuração das variáveis morfométricas estão apresentação na seção 2 do capítulo, bem como a estatística descritiva das principais variáveis.

A obtenção das variáveis de produção ocorreu da seguinte forma:

- A área basal foi obtida por meio da equação:

$$G = \sum_{i=1}^n g_i \quad (58)$$

em que:

G corresponde à área basal, em m^2

g_i obtido por $g_i = \frac{\pi d_i^2}{40000}$, corresponde à área transversal dos diâmetros das árvores da parcela

- A biomassa foi mensurada por meio da pesagem da árvore e de amostras para obtenção da biomassa seca, em balança digital *Hoyle*, com precisão de 1g;
- O volume foi obtido conforme equação (59):

$$v = \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{4} d a p_i^2 l_i \quad (59)$$

em que:

v corresponde ao volume, em m^3

dap corresponde ao diâmetro à altura do peito, em m

l_i é o comprimento da seção, em m

Destaca-se que foram realizadas as mensurações de volume e biomassa para todas as árvores das parcelas. Os procedimentos adotados, para tanto, estão apresentados em Behling (2016) e Péllico Netto e Behling (2019).

Uma vez que o hectare é a unidade de referência os resultados obtidos para cada variável de produção (G, B, V) foram extrapolados para esta medida.

2.1.2. Base de dados 2

2.1.2.1. Origem dos dados

Esta base de dados é composta por dados oriundos de plantios comerciais de acácia negra, situados no município de Cristal, na região sul do estado do Rio Grande do Sul, estabelecidos nos anos de 2003, 2004 e 2005. O povoamento amostrado totalizou uma área de 939,1 hectares de efetivo plantio.

Cristal está localizado na região Encosta do Sudeste. A encosta do Sudeste apresenta relevo plano, com altitude inferior a 30m, exceto os esporões, onde encontram-se os campos secos e as florestas latifoliadas altas, alcançando até 200 m de altitude. Predominam solos Argissolos, Neossolos e Cambissolos, nos topos e encostas, e solos Planossolos e Gleissolos nas áreas baixas e planas (MOCHIUTTI, 2007). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é o Cfa, subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C.

Os plantios foram estabelecidos em áreas de primeira e segunda rotação. O preparo do solo foi efetuado somente na linha de plantio (cultivo mínimo). Durante o plantio foram adicionados 50 g de NPK (5-30-15) por planta. Os plantios foram efetuados sob espaçamento de 3m x 1,75m e 3m x 1,5m.

2.1.2.2. Mensuração e estimativa das variáveis

No povoamento estudado noventa e uma unidades amostrais de 450 m² foram demarcadas, e foram instaladas uma parcela na área com 9 anos, 48 parcelas na área com 10 anos e 42 parcelas na idade de 11 anos, nas quais foram mensuradas as variáveis:

- Diâmetro à altura do peito (*dap*, em cm) de todas as árvores (6.927 árvores);
- Altura total (*h*, em m) de aproximadamente 34% das árvores (2.373 árvores).

Foram estimadas as variáveis comprimento de copa (*cc*, em m) e diâmetro de copa (*dc*, em m) visando a obtenção dos índices por meio do método de estimativa por estimadores por razão, conforme os seguintes passos:

1. Obtenção dos valores de média e desvio padrão de cada parcela para os povoamentos em idade madura (>9 anos) da primeira base de dados, para todas as variáveis;
2. Obtenção da média das variáveis *h* e *dap* para os povoamentos em idade madura (>9 anos) da primeira base de dados, sem considerar o agrupamento em parcelas;
3. Padronização dos valores de *dap* e *h*, por parcela, utilizando os valores de média e desvio padrão conforme (60):

$$x_z = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{s_x} \quad (60)$$

em que:

x_z corresponde à variável padronizada

$\bar{x}_i$ corresponde à média da variável independente para *inésima* parcela

$\bar{x}$ corresponde à média da amostra da variável independente

s_x corresponde ao desvio padrão da amostra

4. Estimativa dos valores padronizados para as médias de *cc* e *dc* para cada parcela, conforme (61) e (62):

$$cc_z = 0,32 h_z \quad (61)$$

$$dc_z = 0,81 dap_z \quad (62)$$

5. Conversão para a escala original dos valores padronizados estimados para as médias de *cc* e *dc*, para cada parcela, conforme (63) e (64):

$$\widehat{cc} = cc_z s_{cc} + \overline{cc} \quad (63)$$

$$\widehat{dc} = dc_z s_{dc} + \overline{dc} \quad (64)$$

- A partir dos dados de altura obtidos na medição, a altura média (h , em m) para todas as árvores foi estimada a partir do ajuste do modelo, segundo Coutinho (2018), conforme equação (65), com valores de $R^2 = 0,80$ e $S_{xy} = 13,89\%$.

$$ht = \beta_0 + \beta_1 \log dap \quad (65)$$

- A área basal foi obtida conforme equação (58).
- A biomassa foi obtida segundo Behling (2016), para árvores de acácia negra com idade variando de 9,83 a 10,75 anos, conforme equação (66), cujo $R^2 = 0,96$ e $CV = 13,89\%$.

$$b = 0,001216(d^2h)^{1,165186} + 0,053628d^{1,967389}h^{0,736520} \quad (66)$$

em que:

b é a biomassa, em kg

d é o diâmetro à altura do peito, em cm

h é a altura total, em m

- Para obtenção do volume (v , em m^3) foram cubadas 273, pelo método de *Smalian*, para a obtenção dos respectivos volumes rigorosos individuais. A seleção dos indivíduos para a cubagem ocorreu dentro da amplitude diamétrica obtida nas parcelas. A partir destes dados foi ajustado o modelo de Schumacher-Hall, os resultados destas equações não serão apresentados neste trabalho.

Uma vez que o hectare é a unidade de referência os resultados obtidos para cada variável de produção (G , B , V) foram extrapolados para esta medida.

2.2. ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

2.2.1. Base de dados 1 – dados coletados em florestas ao longo de um ciclo de cultivo

Destaca-se que a presente base de dados foi constituída apenas de valores medidos, tanto para a obtenção das variáveis de produção, quanto para as variáveis que compõem os índices morfométricos.

Os índices morfométricos foram obtidos por meio da modelagem correlacional, e, também, por meio da estimativa pontual, conforme descrito nas seções 2.4 e 2.6 do capítulo 1. O cálculo dos índices foi efetuado por parcela e, posteriormente, classificados por grupos de idade. Cada grupo compreendeu 12 parcelas, correspondendo à avaliação de 48 parcelas. A quantidade de árvores avaliadas em cada grupo de idade está apresentada na Tabela 30.

TABELA 31 - NÚMERO DE AMOSTRAS NAS PARCELAS, CLASSIFICADAS POR GRUPO DE IDADE.

Grupo	Idade	Nº de árvores amostradas
1	≤ 2 anos	185
2	$> 2 < 4$ anos	163
3	$\geq 4 \leq 6$ anos	153
4	> 9 anos	170

A modelagem dos índices foi efetuada utilizando a linguagem de programação *Julia*. Foi efetuada a correlação de Pearson entre as variáveis de produção e os índices morfométricos. Adicionalmente, diagramas de dispersão foram construídos. Para testar se a correlação foi significativa, ou seja, testar a hipótese da nulidade de que $\rho = 0$, aplicou-se o teste *t* (95% de probabilidade).

2.2.2. Base de dados 2– dados coletados em uma floresta na idade de colheita

Destaca-se que a presente base de dados foi constituída de valores medidos e estimados, tanto para a obtenção das variáveis de produção, quanto para as variáveis que compõem os índices morfométricos.

Os modelos de obtenção dos índices morfométricos foram compostos pelas variáveis mensuradas, *dap* e *h*, e variáveis estimadas, *cc* e *dc*, conforme descrito em 2.1.2.

Os índices morfométricos foram obtidos por meio da razão dos valores médios das variáveis morfométricas para cada parcela, conforme Tabela 31.

TABELA 32 - REPRESENTAÇÃO DOS MODELOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS UTILIZADOS NA MODELAGEM DA BASE DE DADOS 2.

Índice morfométrico	Modelo	
Proporção de Copa	$PC_Z = \frac{\overline{cc}_z}{\overline{dap}_z}$	(67)
Grau de Esbeltez	$GE_Z = \frac{\overline{h}_z}{\overline{dap}_z}$	(68)
Índice de Saliência	$IS_Z = \frac{\overline{dc}_k}{\overline{dap}_z}$	(69)
Índice de Abrangência	$IA_Z = \frac{\overline{dc}_z}{\overline{h}_z}$	(70)
Formal de Copa	$FC_Z = \frac{\overline{dc}_z}{\overline{cc}_z}$	(71)

A modelagem dos índices foi efetuada utilizando a linguagem de programação *Julia*. A correlação de Pearson foi obtida entre as variáveis de produção e os índices morfométricos. Adicionalmente, diagramas de dispersão foram construídos. Para testar se a correlação foi significativa, ou seja, testar a hipótese da nulidade de que $\rho = 0$, aplicou-se o teste *t* (95% de probabilidade).

2.3. ANÁLISE DE FATORES

A análise de fatores foi aplicada com a finalidade de analisar a estrutura das correlações entre as variáveis e identificar uma estrutura latente que melhor explique as variáveis de produção da floresta de acácia negra com os índices morfométricos.

A análise foi efetuada por meio do software estatístico *SPSS* (versão para avaliação). Os fatores foram extraídos utilizando a matriz de correlação, uma vez que as variáveis originais são compostas por diferentes unidades de medidas. Os fatores foram obtidos a partir de componentes principais e os *loadings* (correlação entre a variável original e o fator – variável latente) a partir da rotação *varimax*. O critério para extração do número de fatores foi o de autovalor maior do que 1. *Loadings* menores que 0,4 não foram apresentados, devido a correlação ser baixa. Os testes de KMO (Medida de Adequação de *Kaiser-Meyer-Olkin*) e de esfericidade de *Bartlett* também foram avaliados. Embora não apresentados, estes dois testes indicaram qual análise de fatores é apropriada para o presente conjunto de dados.

2.4. RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Algumas citações em trabalhos da literatura foram resumidas de modo a contribuir com a interpretação da relação entre as variáveis de produção das florestas com os índices morfométricos, sendo destacadas no Quadro 5.

QUADRO 5 - REFERENCIAL PARA INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DA FLORESTA.

(Continua)

Índice morfométrico	Descrição	Autor
Proporção de Copa	1. Quanto maior a porcentagem de copa, tanto mais vital e produtiva é a árvore. 2. Essa variável é um indicador de vitalidade, e quanto maior o percentual maior será a produtividade da árvore. 3. A PC é considerada apropriada para avaliar a eficiência da produtividade de uma árvore de acordo com a sua finalidade. 4. Para produtos com fins madeiros, PC alta pode não ser adequada. 5. Quanto menor for o comprimento de copa, com o passar do tempo melhor, pois maior será a parte do fuste aproveitada, no entanto isso resulta em menor capacidade de realização fotossintética.	1. Roman et al., 2009. 2. Klein, 2017. 3. Hellmann et al., 2020. 4. Tonini et al., 2008. 5. Krefta, 2017
Grau de Esbeltez	1. Quanto mais baixo o Grau de Esbeltez, mais estável é a árvore, quando esse índice ultrapassa 1 indica instabilidade. 2. A diminuição do Grau de Esbeltez, com o aumento da altura das árvores, significa que estas estão crescendo mais em diâmetro do que em altura, sendo um fator positivo para sua estabilidade contra o vento. 3. Este índice tende a diminuir com a idade das árvores, indicando que elas estão tendendo a uma condição de maior estabilidade.	1. Tonini e Arco-Verde, 2005. 2. Dionisio, et al., 2018. 3. Durlo, 2001.
Índice de Saliência	1. O IS retratou uma situação semelhante para ambos os sítios de estudo, no entanto apresentaram valores maiores para níveis sociais inferiores, situação que caracteriza a competição a qual estas árvores estão submetidas. 2. O Índice de Saliência é melhor quanto mais próximo de zero, indicando maior área basal e volume por hectare na floresta.	1. Klein, 2017. 2. Krefta, 2017
Índice de Abrangência	1. O Índice de Abrangência tende a diminuir com a altura, em virtude de o crescimento em altura ser maior que o crescimento do diâmetro de copa. 2. Este tende a aumentar à medida que há aumento dos valores de <i>dap</i>, pois a taxa de crescimento em <i>dap</i> e <i>dc</i> superam o crescimento em <i>ht</i> conforme o aumento da idade da árvore.	1. Tonini e Arco-Verde, 2005. 2. Durlo, 2001.

QUADRO 6 - REFERENCIAL PARA INTERPRETAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DA FLORESTA.

(Conclusão)		
Formal de Copa	1. Considerando uma mesma espécie e sítio, quanto menor o Formal de Copa, melhor é a produtividade da árvore. 2. Se duas árvores da mesma espécie tiverem o mesmo diâmetro de copa, produzirá mais por unidade de projeção de copa aquela que tiver um menor Formal de Copa. 3. O Formal de Copa é uma medida inversa à produtividade, ou seja, quanto menor seu valor maior a produtividade.	1. 2. Durlo e Denardi, 1998. 3. Krefta, 2017

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. BASE DE DADOS 1 – AVALIAÇÃO AO LONGO DO CICLO DE CULTIVO

Os resultados dos índices morfométricos por meio da modelagem correlacional, em povoamentos de acácia negra, obtidos considerando todas as parcelas e, também, a estratificação por grupos de idades, estão apresentados na Tabela 32.

O índice *PC* apresentou tendência decrescente ao longo da idade. O *GE* revelou menor variação, ou seja, tendência estável, com valores no intervalo entre 0,78 e 0,88, enquanto *IS* e *IA* apresentaram tendência crescente ao longo do ciclo de cultivo e *FC* não revelou tendência em relação à idade da floresta.

TABELA 33 - VALORES MÉDIOS DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, PARA B1, CLASSIFICADOS POR GRUPOS DE PARCELAS, OBTIDOS POR MEIO DA MODELAGEM CORRELACIONAL.

Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	0,62	0,83	0,76	0,58	0,51
Grupo 1	≤ 2 anos	0,81	0,82	0,64	0,45	0,48
Grupo 2	> 2 < 4 anos	0,69	0,78	0,79	0,57	0,66
Grupo 3	≥ 4 ≤ 6 anos	0,69	0,84	0,83	0,64	0,64
Grupo 4	> 6 anos	0,29	0,88	0,81	0,66	0,27

Em que: Idade é expressa em anos; *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa.

As correlações entre as variáveis de produção área basal, biomassa e volume com os índices morfométricos, considerando o cálculo os dados agrupados (todas as parcelas) e por grupo de idade, estão apresentadas na Tabela 33. De modo geral, o índice *PC* é o que está maior correlacionado (*r* acima de 0,60) com as três variáveis de produção, com tendência decrescente, indicando uma relação inversamente proporcional.

TABELA 34 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO COM OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, PARA B1, OBTIDOS POR MEIO DA MODELAGEM CORRELACIONAL.

Área basal (<i>G</i>)						
Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	-0,663	-0,001	0,476	0,332	-0,255
Grupo 1	≤ 2 anos	-0,642	-0,657	0,698	0,245	0,421
Grupo 2	> 2 < 4 anos	-0,384	-0,608	0,067	-0,344	-0,040
Grupo 3	≥ 4 ≤ 6 anos	-0,342	-0,288	0,148	-0,088	0,178
Grupo 4	> 6 anos	-0,289	-0,803	-0,261	-0,288	-0,303
Biomassa (<i>B</i>)						
Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	-0,658	0,075	0,379	0,290	-0,344
Grupo 1	≤ 2 anos	-0,620	-0,654	0,723	0,259	0,404
Grupo 2	> 2 < 4 anos	-0,268	-0,576	0,120	-0,373	-0,203
Grupo 3	≥ 4 ≤ 6 anos	-0,429	-0,311	0,113	-0,138	0,087
Grupo 4	> 6 anos	-0,219	-0,800	-0,324	-0,408	-0,204
Volume (<i>V</i>)						
Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	-0,660	0,038	0,410	0,304	-0,317
Grupo 1	≤ 2 anos	-0,589	-0,646	0,671	0,230	0,410
Grupo 2	> 2 < 4 anos	-0,352	-0,674	0,056	-0,462	-0,072
Grupo 3	≥ 4 ≤ 6 anos	-0,467	-0,385	0,125	-0,199	0,033
Grupo 4	> 6 anos	-0,257	-0,804	-0,234	-0,235	-0,283

Em que: Idade é expressa em anos; *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa.

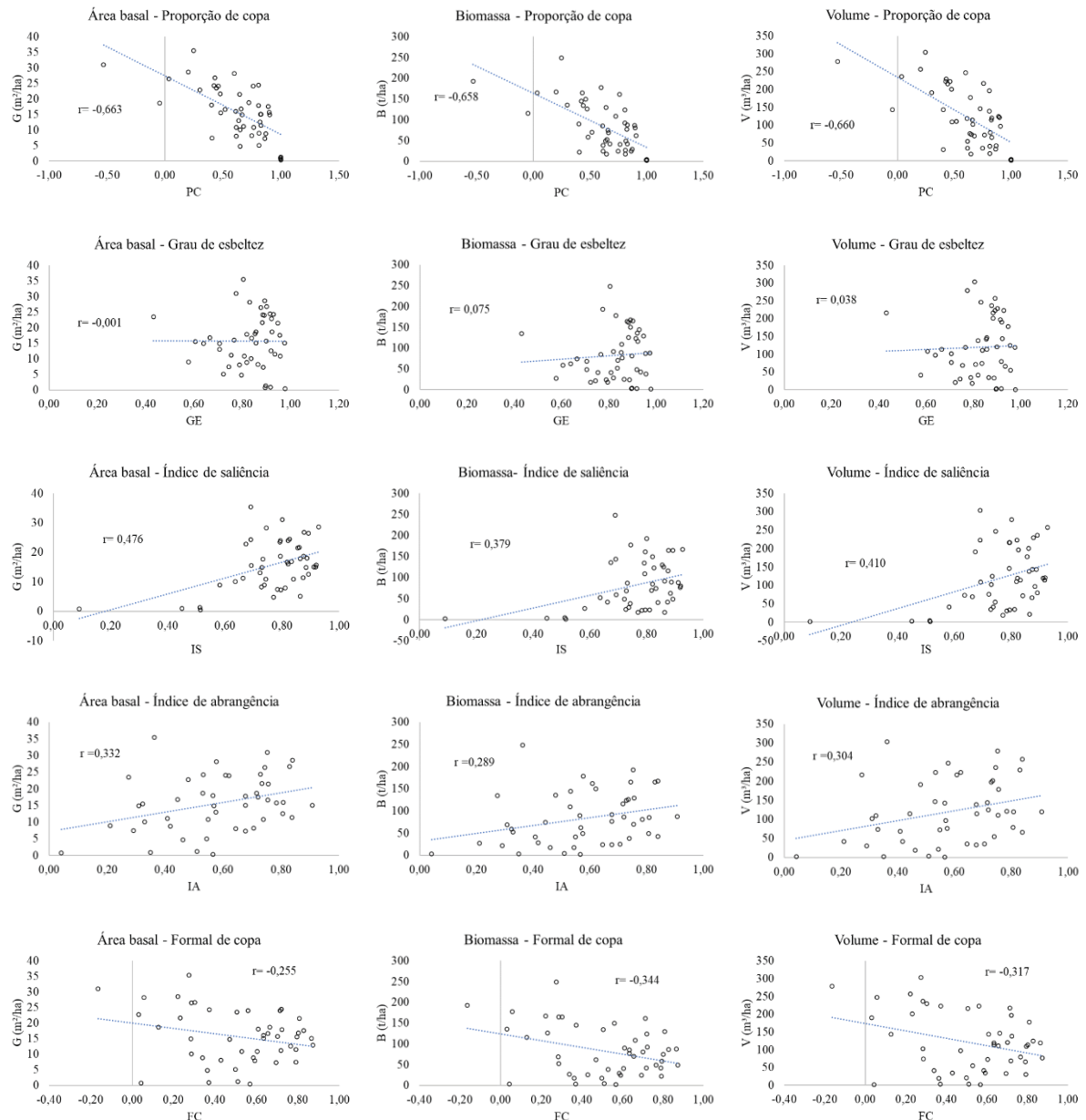
Nas Figuras 18 e 19 estão apresentados o comportamento dos índices morfométricos, por meio da estimativa pontual, em relação às variáveis de produção, *G*, *B* e *V*, de modo geral (todas as idades) e em grupos de idade, respectivamente.

Considerando todas as idades o índice *PC* apresentou correlação igual a -0,66 com as três variáveis de produção. Com tendência decrescente ao longo da idade, o Grupo 1 revelou correlação média destas variáveis com este índice, igual a -0,62, decaindo para -0,26 nas parcelas de acácia negra presentes no Grupo 4. Nesta idade, as árvores maduras de acácia negra que apresentaram melhores resultados de produção foram aquelas que compreenderam os menores valores de *PC*, em torno de 0,35, porém uma parcela sobressaiu às demais, com *PC* igual a -0,53.

As variáveis de produção revelaram fraca associação com o índice *GE*, segundo classificação descrita na seção 2.6 do capítulo 1. Observando por grupo de idade, os grupos 1 e 2 apresentaram resultados aproximados com $\bar{r}$ igual a -0,64, passando à associação regular, entre as variáveis no Grupo 3 ($r=-0,33$) e forte associação no Grupo 4 (-0,80). A floresta madura

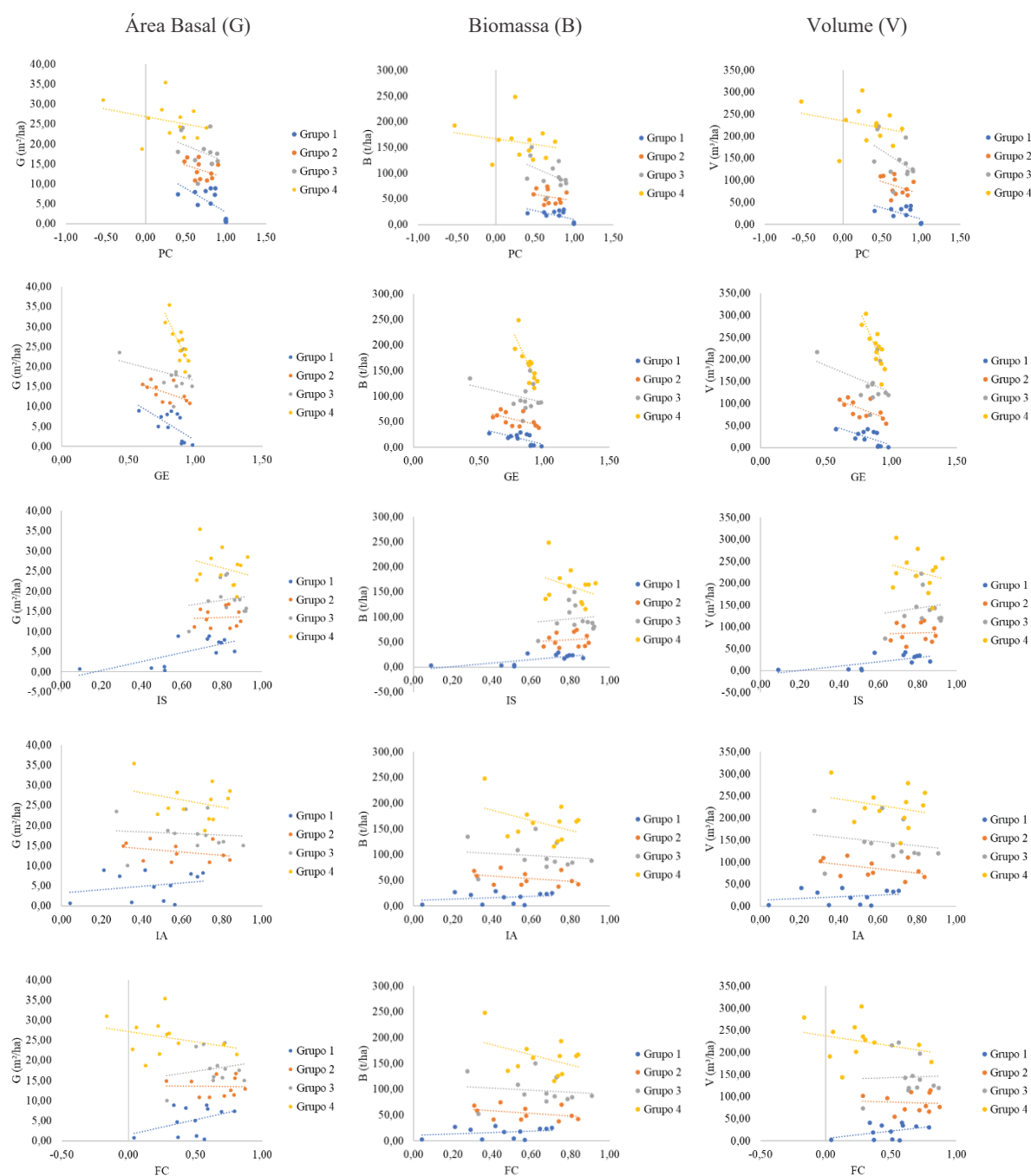
apresentou GE com valores entre 0,77 e 0,89, resultando em melhores desempenhos para área basal, biomassa e volume.

FIGURA 18: COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, COM AS VARIÁVEIS PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G , m^2/ha), BIOMASSA (B , t/ha) E VOLUME (V , m^3/ha).



A relação entre a área basal, a biomassa e o volume com o IS , para todas as idades, foi de 0,422. A correlação entre estas variáveis não apresentou tendência. A correlação revelou-se forte no grupo que apresenta parcelas com árvores jovens e correlação fraca nos demais. Na idade de rotação as acácias apresentaram r médio igual a -0,27, em que as parcelas mais produtivas foram observadas com IS médio igual 0,79, variando de 0,69 a 0,93.

FIGURA 19: COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR GRUPOS, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m²/ha), BIOMASSA (B, em kg /ha) E VOLUME (V, em m³/ha).



O *IA* apresentou associação regular com as variáveis de produção, com $\bar{r}$ igual a 0,31. A correlação entre estas variáveis não apresentou tendência. Nas variáveis área basal e volume o Grupo 2 apresentou maior valor de r , -0,34 e -0,46, respectivamente, para a variável biomassa o Grupo 4 apresentou essa condição, com r igual a -0,41. Verificou-se maior variação deste índice ao identificar o intervalo no qual estão localizadas as parcelas que atingiram elevada

produção da floresta. O Grupo 4 apresentou média de *IA* igual a 0,63, com valores variando entre 0,36 e 0,84.

Com $\bar{r}$ igual a -0,31 a correlação entre o índice *FC* e as variáveis de produção foi regular. A correlação entre estas variáveis não apresentou tendência. Por grupo de idade, o Grupo 1 sobressaiu aos demais, resultando em associação regular ($r = 0,41$). No Grupo 4 a associação deste índice com a produção da floresta é fraca ($r = -0,26$). Os maiores valores encontrados para as variáveis área basal, biomassa e volume foram observados nas parcelas com árvores em idades jovens e intermediárias, nas quais o índice *FC* se aproximou de 1,00. O contrário foi observado nas florestas maduras, que expressaram baixos valores de *FC*, em torno de 0,20, com produções elevadas.

Foi verificado que nas florestas mais jovens os índices *PC* e *FC* apresentaram valores maiores que para as florestas mais velhas. Para os índices *GE*, *IS* e *IA* os maiores valores foram obtidos nas florestas maduras. Constatou-se, também, valores próximos de *PC*, *GE*, *IS*, *IA* e *FC*, aos citados acima, resultando em valores inferiores de área basal, biomassa e volume, indicando que existe interferência do local de plantio nos resultados, uma vez que cada grupo de idade está presente nos três municípios, locais de estudo.

3.1.1. Teste de hipótese da correlação entre os índices morfométricos com as variáveis de produção

O teste de hipótese da correlação entre os índices morfométricos, obtidos por meio da modelagem correlacional, e as variáveis de produção está apresentado na Tabela 34. Observando-se a variável área basal, a correlação entre esta variável e os índices morfométricos, sem considerar a idade, foi significativa nos índices *PC*, *IS* e *IA*. Em grupos, a correlação foi significativa no Grupo 1 com os índices *PC*, *GE* e *IS* e nos grupos 2 e 4 quando a variável foi correlacionada com o índice *GE*. O mesmo comportamento foi observado na correlação entre os índices morfométricos e a variável volume.

A biomassa apresentou correlação significativa com os índices morfométricos, exceto *GE*. Em grupos, a correlação foi significativa no Grupo 1 com os índices *PC*, *GE* e *IS* e significativa no grupo 4 com o índice *GE*.

TABELA 35 - TESTE DE SIGNIFICÂNCIA DA CORRELAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM CORRELACIONAL, E AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO – B1.

Área basal (G)					
	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	-0,663 *	-0,001 ^{ns}	0,476 *	0,332 *	-0,255 ^{ns}
Grupo 1	-0,642 *	-0,657 *	0,698 *	0,245 ^{ns}	0,421 ^{ns}
Grupo 2	-0,384 ^{ns}	-0,608 *	0,067 ^{ns}	-0,344 ^{ns}	-0,040 ^{ns}
Grupo 3	-0,342 ^{ns}	-0,288 ^{ns}	0,148 ^{ns}	-0,088 ^{ns}	0,178 ^{ns}
Grupo 4	-0,289 ^{ns}	-0,803 *	-0,261 ^{ns}	-0,288 ^{ns}	-0,303 ^{ns}
Biomassa (B)					
	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	-0,658 *	0,075 ^{ns}	0,379 *	0,290 *	-0,344 *
Grupo 1	-0,620 *	-0,654 *	0,723 *	0,259 ^{ns}	0,404 ^{ns}
Grupo 2	-0,268 ^{ns}	-0,576 ^{ns}	0,120 ^{ns}	-0,373 ^{ns}	-0,203 ^{ns}
Grupo 3	-0,429 ^{ns}	-0,311 ^{ns}	0,113 ^{ns}	-0,138 ^{ns}	0,087 ^{ns}
Grupo 4	-0,219 ^{ns}	-0,800 *	-0,324 ^{ns}	-0,408 ^{ns}	-0,204 ^{ns}
Volume (V)					
	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	-0,660 *	0,038 ^{ns}	0,410 *	0,304 *	-0,317 *
Grupo 1	-0,589 *	-0,646 *	0,671 *	0,230 ^{ns}	0,410 ^{ns}
Grupo 2	-0,352 ^{ns}	-0,674 *	0,056 ^{ns}	-0,462 ^{ns}	-0,072 ^{ns}
Grupo 3	-0,467 ^{ns}	-0,385 ^{ns}	0,125 ^{ns}	-0,199 ^{ns}	0,033 ^{ns}
Grupo 4	-0,257 ^{ns}	-0,804 *	-0,234 ^{ns}	-0,235 ^{ns}	-0,283 ^{ns}

Em que: * é significativa a 95% de probabilidade; ^{ns} é não significativa a 95% de probabilidade; *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice de Formal de Copa.

3.1.2. Análise de fatores

Três fatores foram gerados, os quais explicaram 87,75% da variância dos dados, sendo que o primeiro componente explicou 49,94% da variação comum entre todas as variáveis (Tabela 35).

Na Tabela 36 estão apresentados os *loadings*, já rotacionados. O primeiro fator é composto pelas variáveis de produção, volume, biomassa e área basal, e os índices morfométricos Proporção de Copa e Formal de Copa. O segundo fator é composto pelo Índice de Saliência, índice Formal de Copa e Índice de Abrangência. O terceiro engloba o índice Grau de Esbeltez e de Índice de Abrangência.

TABELA 36 - VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PARA A RELAÇÃO VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM CORRELACIONAL.

Variância total explicada			
Fator	Total	% de variância	% cumulativa
1	3,99	49,94	49,94
2	1,88	23,50	73,44
3	1,15	14,32	87,75

A análise fatorial constatou também que as variáveis de produção, *G*, *B*, e *V*, aumentam à medida que os índices morfométricos, *PC* e *FC*, diminuem, revelando uma relação inversamente proporcional.

TABELA 37 - MATRIZ DE COMPONENTE ROTATIVA DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM CORRELACIONAL – B1.

Variáveis	Fator		
	1	2	3
Volume	0,959		
Biomassa	0,956		
Área basal	0,953		
PC	-0,823		
IS		0,838	
FC	-0,485	0,755	
GE			0,974
IA		0,632	0,657

3.1.3. Índices morfométricos obtidos por meio da estimativa pontual

Os índices morfométricos obtidos por meio da estimativa pontual estão apresentados na Tabela 37. Diversamente ao que foi observado na modelagem correlacional, notou-se, para o *IS* e *IA* comportamento decrescente do índice para diferentes idades da acácia negra. O índice *FC* revelou comportamento estável, variando entre 0,32 e 0,36.

TABELA 38 - ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL – B1.

Grupo	Idade	PC (%)	GE	IS	IA	FC
Grupo 1	Todas	75,85	1,28	0,34	0,27	0,36
Grupo 2	≤ 2 anos	50,09	1,32	0,20	0,16	0,32
Grupo 3	> 2 < 4 anos	38,65	1,42	0,18	0,13	0,36
Grupo 4	≥ 4 ≤ 6 anos	45,01	1,33	0,17	0,13	0,35

Em que: *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice de Formal de Copa.

A correlação entre as variáveis de produção e os índices morfométricos, obtidos por meio da estimativa pontual, estão apresentadas na Tabela 38. De modo geral, o *IA* apresentou

maior correlação ($\bar{r} = -0,70$) com as três variáveis, área basal, biomassa e volume, com tendência decrescente, indicando uma relação inversamente proporcional (Figura 20).

TABELA 39 - CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL – B1.

Área basal (G)						
Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	-0,69	-0,06	-0,72	-0,74	0,06
Grupo 1	≤ 2 anos	-0,89	-0,85	-0,90	-0,79	0,31
Grupo 2	$> 2 < 4$ anos	0,59	-0,63	0,24	0,53	-0,57
Grupo 3	$\geq 4 \leq 6$ anos	-0,28	-0,23	-0,18	-0,06	0,26
Grupo 4	> 6 anos	-0,31	-0,75	0,07	0,45	0,36
Biomassa (B)						
Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	-0,60	0,01	-0,61	-0,65	0,07
Grupo 1	≤ 2 anos	-0,87	-0,85	-0,92	-0,81	0,25
Grupo 2	$> 2 < 4$ anos	0,63	-0,63	0,35	0,59	-0,58
Grupo 3	$\geq 4 \leq 6$ anos	-0,45	-0,12	-0,29	-0,19	0,36
Grupo 4	> 6 anos	-0,18	-0,68	0,24	0,57	0,31
Volume (V)						
Grupo	Idade	PC	GE	IS	IA	FC
Geral	Todas	-0,64	0,02	-0,65	-0,70	0,07
Grupo 1	≤ 2 anos	-0,86	-0,82	-0,89	-0,80	0,25
Grupo 2	$> 2 < 4$ anos	0,52	-0,55	0,17	0,45	-0,55
Grupo 3	$\geq 4 \leq 6$ anos	-0,40	-0,16	-0,33	-0,21	0,27
Grupo 4	> 6 anos	-0,46	-0,70	0,00	0,37	0,47

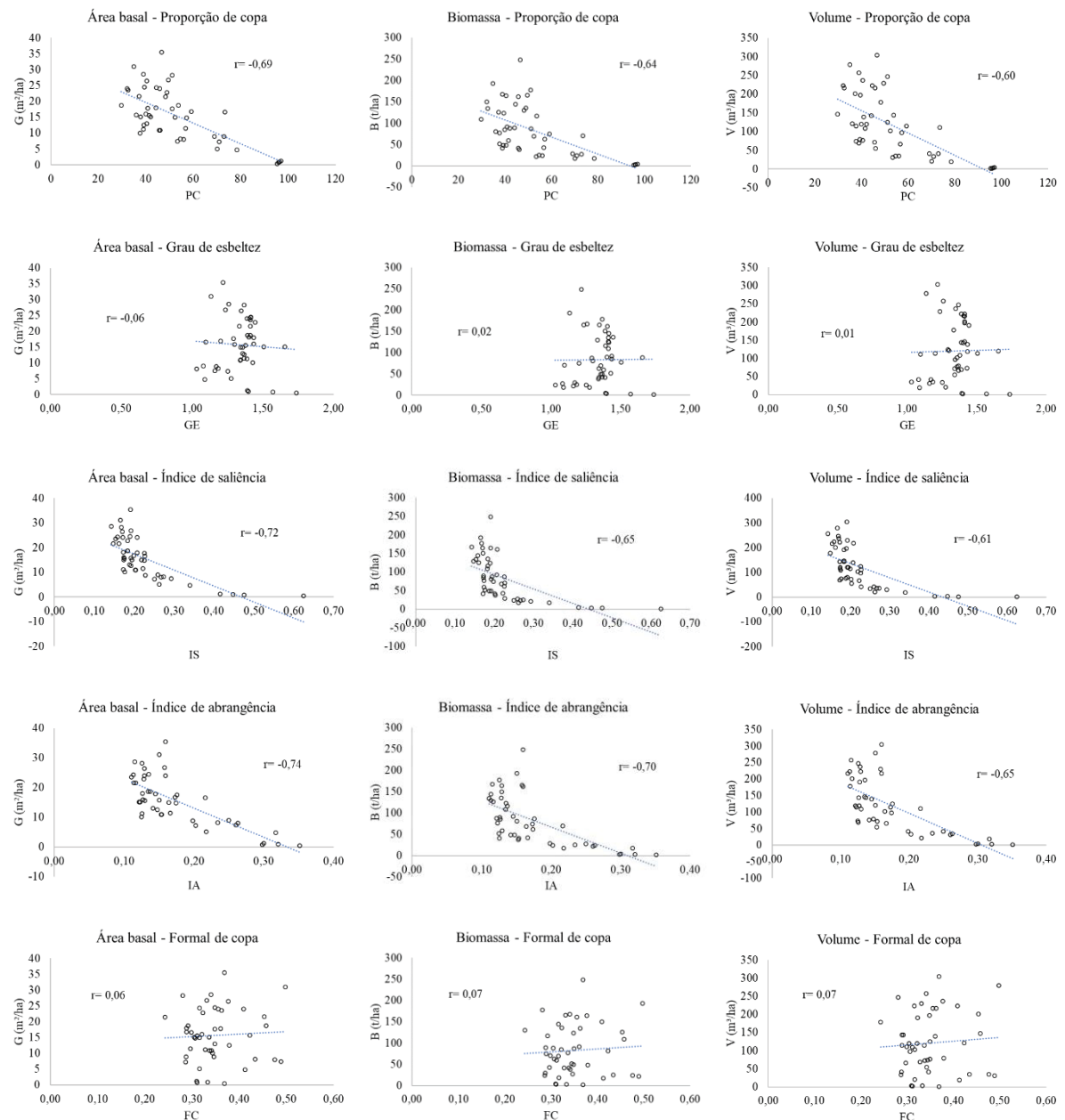
Nas Figuras 20 e 21 estão apresentados o comportamento dos índices morfométricos, por meio da estimativa pontual, em relação às variáveis de produção, G, B e V, de modo geral (todas as idades) e em grupos de idade, respectivamente.

Por grupo, o comportamento da correlação das variáveis de produção com os índices morfométricos apresentou resultado semelhante, em que o Grupo 1 demonstrou forte correlação das variáveis com os índices, com exceção do índice *FC*, que melhor associou-se com a área basal, biomassa e volume nas florestas de acácia entre 2 e 4 anos de idade.

Com $\bar{r}$ igual a -0,32, as parcelas em idade de rotação apresentaram *PC* variando entre 34,92 e 51,14% resultando em elevada produção florestal (Figura 23). Observou-se para o índice *GE* forte associação com as variáveis de produção ($\bar{r} = -0,71$) em floresta de idade madura, na qual as parcelas desse grupo apresentaram valores de *GE* próximos a 1,24 gerando os maiores resultados de área basal, biomassa e volume.

A correlação com *IS* mostrou-se forte, quando considerada todas as idades (Figura 22), no entanto revelou-se fraca na floresta madura, a qual apresentou valores deste índice em torno de 0,17, atingindo a máxima produção da floresta.

FIGURA 20 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m²/ha), BIOMASSA (B, t/ha) E VOLUME (V, m³/ha) – B1.

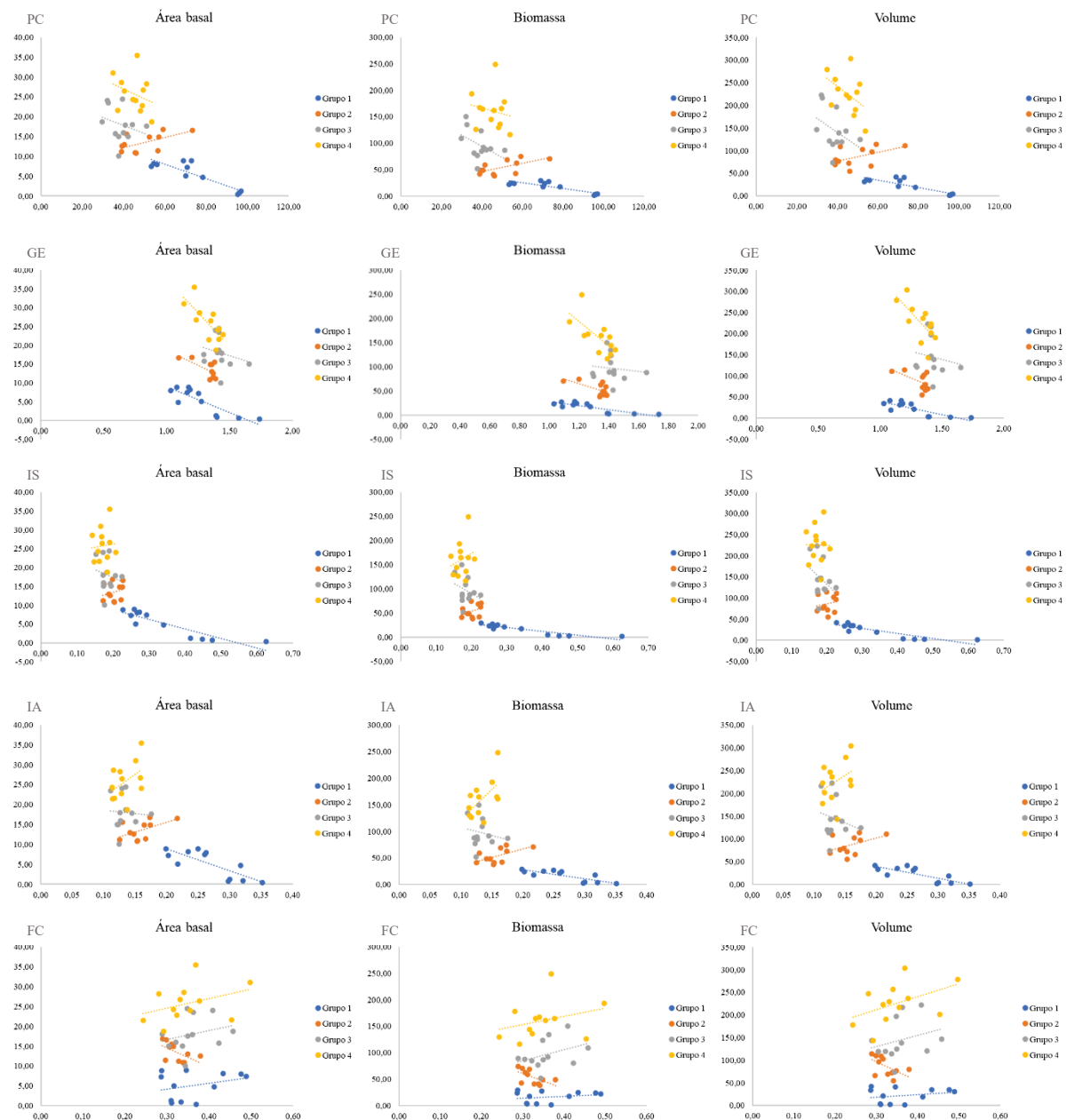


As variáveis de produção resultaram em correlação regular com o *IA* nas parcelas com árvores mais velhas ($\bar{r} = 0,46$). Neste grupo de idade as parcelas que atingiram maiores resultados de produção da floresta apresentaram *IA* em torno de 0,14 (Figura 21).

O índice *FC* apresentou resultados variando entre 0,28 e 0,50 gerando as melhores respostas das variáveis de produção da floresta, nas parcelas do Grupo 4.

Igualmente ao verificado nos índices morfométricos obtidos por meio da modelagem correlacional, constatou-se valores de *PC*, *GE*, *IS*, *IA* e *FC*, próximos aos citados acima, resultando em valores inferiores de área basal, biomassa e volume e indicando que existe interferência do local de plantio nos resultados, uma vez que cada grupo de idade está presente nos três municípios, locais de estudo.

FIGURA 21 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR GRUPOS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m²/ha), BIOMASSA (B, EM kg/ha) E VOLUME (V, EM m³/ha) – B1.



3.2. BASE DE DADOS 2 – AVALIAÇÃO EM UMA IDADE DE COLHEITA

A correlação das variáveis de produção com os índices morfométricos está apresentada na Tabela 39.

TABELA 40 - CORRELAÇÃO ENTRE A ÁREA BASAL (G, m²/ha), BIOMASSA (B, t/ha) E VOLUME (V, m³/ha) E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS - B2.

Variável	PC	GE	IS	IA	FC
G/ha	-0,68	-0,45	0,66	0,46	0,57
B/ha	-0,76	-0,56	0,77	0,57	0,68
V/ha	-0,77	-0,51	0,75	0,52	0,65

Em que: *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice de Formal de Copa.

A Figura 22 apresenta o comportamento dos índices morfométricos em relação às variáveis de produção, G, B e V.

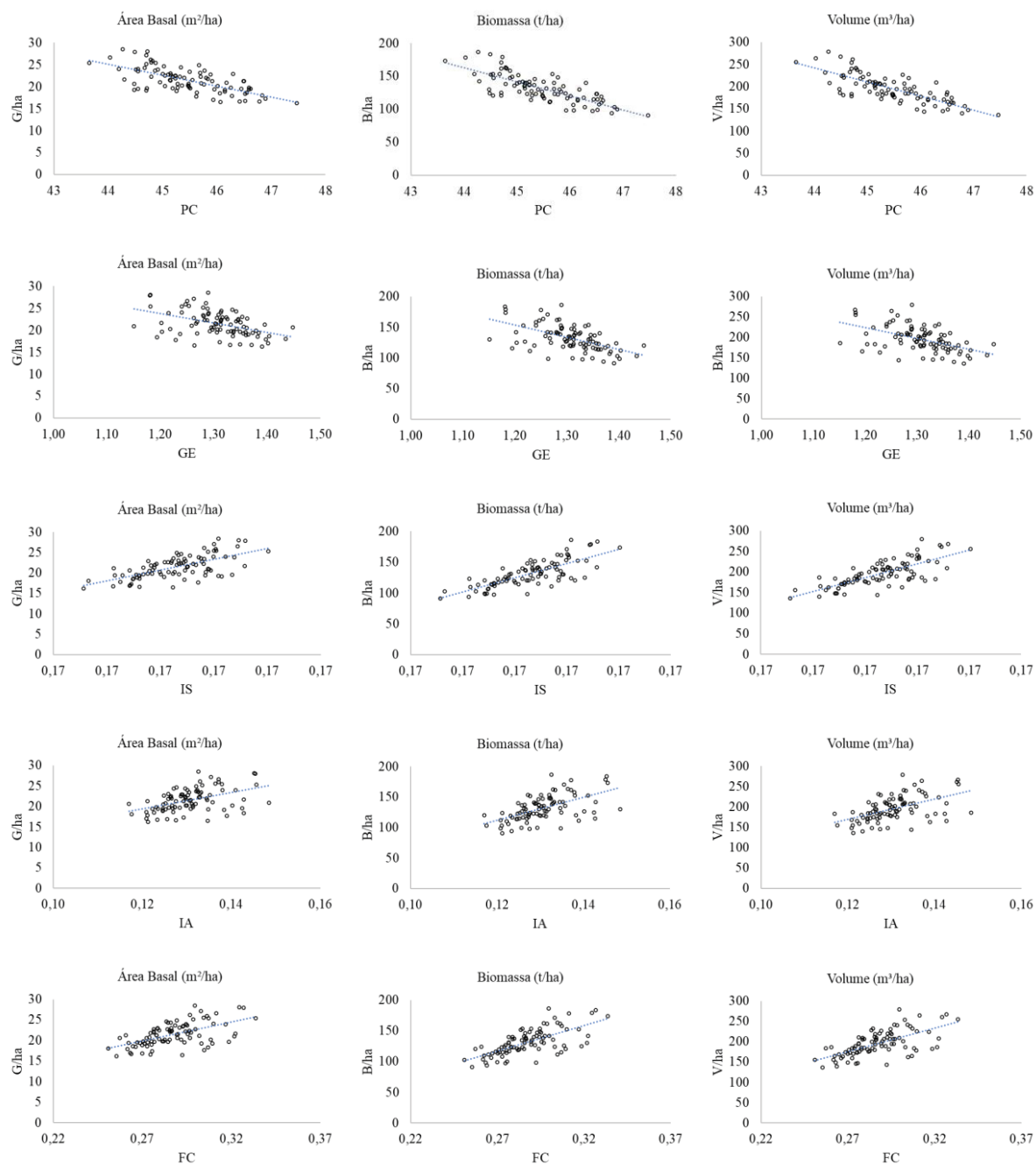
De modo geral, o índice *PC* apresentou maior correlação com as três variáveis de produção. Com valores muito aproximados e relação inversamente proporcional à produção, o índice apresentou um resultado forte, com média de -0,74. Ainda, o volume foi a variável mais correlacionada com o índice ($r = -0,77$). Os valores de *PC* que correspondem à mediana dos valores de área basal, biomassa e volume são 46,49, 44,48 e 45,40%, respectivamente.

O índice *GE* resultou em menor correlação com as variáveis de produção quando comparado aos demais índices do estudo, com $\bar{r}$ igual a -0,50. Assim como a *PC*, este índice apresentou relação inversamente proporcional com as variáveis, sendo a biomassa a variável mais correlacionada com o índice. Os valores de *GE* que correspondem à mediana dos valores de área basal, biomassa e volume são 1,31, 1,30 e 1,31, respectivamente.

A associação de *IS* com a área basal, biomassa e volume é forte e positiva, indicando que as variáveis de produção aumentam à medida que o índice aumenta. O índice resultou em maior correlação com a variável biomassa ($r = 0,77$). O índice resultou em valor igual a 0,17 correspondendo à mediana dos valores de produção.

O *IA* e o índice *FC* resultaram em associação positiva com as variáveis de produção, com melhor correlação com a variável biomassa, que em média resultaram em valores de r igual a 0,52 e 0,63, respectivamente. *IA* resultou em valor igual a 0,13, correspondendo à mediana de área basal, biomassa e volume. Os valores de *FC*, que correspondem à mediana dos valores de área basal, biomassa e volume são 0,28, 0,30 e 0,29, respectivamente.

FIGURA 22 - COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, PARA AS NOVAS PARCELAS, POR MEIO DA ESTIMATIVA PONTUAL, PARA AS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO ÁREA BASAL (G, m²/ha), BIOMASSA (B, t/ha) E VOLUME (V, m³/ha) – B2.



3.2.1. Análise de fatores

Dois fatores foram gerados, os quais explicaram 94,21% da variância dos dados, sendo que o primeiro componente explicou 47,66% da variação comum entre todas as variáveis (Tabela 40).

TABELA 41 - VARIÂNCIA TOTAL EXPLICADA PARA A RELAÇÃO VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS DA BASE DE DADOS 2.

Fator	Variância total explicada		
	Total	% de variância	% cumulativa
1	3,81	47,66	47,66
2	3,72	46,55	94,21

Na Tabela 41 estão apresentados os *loadings*, já rotacionados. Observou-se as maiores correlações com o primeiro fator associadas às variáveis de produção. Entretanto, carrega também, neste fator os índices Proporção de Copa, com correlação forte (-0,738) e Índice de Saliência, com correlação regular. Verificou-se que a associação entre a produção e a *PC* é negativa, enquanto para o *IS* é positiva. E, assim como foi observado na análise de fatores para a base de dados 1 (seção 3.1.2. deste capítulo), o *PC* diminui à medida que as variáveis de produção aumentam, indicando uma relação inversamente proporcional. Com o segundo fator as maiores correlações são os índices grau de esbeltez, índice de abrangência e formal de copa, revelando que estes melhor relacionam-se entre si.

TABELA 42 - MATRIZ DE COMPONENTE ROTATIVA DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS, POR MEIO DE MODELAGEM POR ESTIMADOR POR RAZÃO – B2.

Variáveis	Fator	
	1	2
Proporção de Copa	-0,738	-0,477
Grau de Esbeltez		-0,960
Índice de Saliência	0,575	0,786
Índice de Abrangência		0,960
Formal de Copa	0,403	0,914
Área basal	0,944	
Biomassa	0,936	
Volume	0,949	

3.3. RELAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO E OS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Constatou-se, por meio da Quadro 5, que quanto maior o percentual do índice *PC* mais vital e, também, produtiva é a árvore, porém tendo como finalidade o uso da madeira, a porcentagem deste índice deve ser verificada: em que momento o valor deste índice é apropriado, ou seja, alto ou baixo.

Quanto menor o *GE* mais estável é a árvore e este índice tende a diminuir com a idade das árvores e sua relação com a variável volume é inversamente proporcional. Quanto menor o

IS menor o grau de competição entre as árvores na floresta e quanto mais próximo de zero indica maior área basal e volume por hectare na floresta.

Dependendo da finalidade do plantio, é comum encontrar valores maiores de *IA*, com maior crescimento em altura, ou valores menores de *IA* quando ocorre maior crescimento em *dap*. Para melhor produtividade da árvore deve-se propiciar a obtenção de menores valores de *FC*.

No quadro 6 está apresentado, de forma resumida, de quais foram os resultados obtidos na floresta de acácia negra quando efetuada a interpretação da literatura e a correlação dos índices morfométricos com as variáveis de produção.

QUADRO 6 - COMPORTAMENTO OBSERVADO DA FLORESTA DE ACÁCIA NEGRA.

(Continua)

Proporção de Copa	
Literatura	Árvores com copas menores apresentam uma produção maior de madeira quando comparada com copas maiores contendo vários galhos.
Base de dados 1 Modelagem correlacional	Para a espécie acácia negra as relações dos índices morfométricos com as variáveis de produção comportaram-se de acordo com o descrito na literatura. O índice apresenta associação negativa com as variáveis de produção, com média de -0,66. No estudo, as parcelas mais produtivas foram observadas onde o índice <i>PC</i> resultou em um baixo valor, ou seja, mais próximo de zero.
Base de dados 2	A floresta de acácia em idade de colheita atendeu à descrição da literatura. Árvores mais velhas apresentam diminuição da altura de copa, devido às condições de auto-sombreamento dos galhos. A relação do índice morfométrico foi inversamente proporcional às variáveis de produção, com $\bar{r} = -0,74$. Os valores de <i>PC</i> com maior produção atingiram uma média de 45%.
Grau de Esbeltez	
Literatura	Este índice tende a diminuir com a idade das árvores, indicando que elas estão se conduzindo para uma condição de maior estabilidade.
Base de dados 1 Modelagem correlacional	O índice se manteve estável, os valores variaram pouco, com uma média de 0,83. A relação com as variáveis de produção apresentou-se inversamente proporcional com correlação de -0,80 na floresta madura. As parcelas mais produtivas foram observadas com <i>GE</i> em torno de 0,83.
Base de dados 2	A relação do índice morfométrico foi inversamente proporcional às variáveis de produção, com $\bar{r} = -0,50$. Os valores elevados de produção foram observados em parcelas que apresentaram <i>GE</i> médio de 0,29.
Índice de Saliência	
Literatura	O Índice de Saliência é melhor quanto mais próximo de zero, indicando maior área basal e volume por hectare na floresta.

QUADRO 6 - COMPORTAMENTO OBSERVADO DA FLORESTA DE ACÁCIA NEGRA.

(Conclusão)

Base de dados 1 Modelagem correlacional	O índice se manteve estável, os valores variaram pouco, com uma média de 0,77. A relação com as variáveis de produção apresentou-se inversamente proporcional com correlação de -0,27 na floresta madura. As parcelas mais produtivas foram observadas com <i>IS</i> em torno de 0,77.
Base de dados 2	A relação do índice morfométrico resultou diretamente proporcional às variáveis de produção, com $\bar{r} = 0,72$. Os valores elevados de produção foram observados em parcelas que apresentaram <i>IS</i> médio de 0,17.
Índice de Abrangência	
Literatura	Tende a aumentar à medida que há aumento dos valores de <i>dap</i> , pois a taxa de crescimento em <i>dap</i> e <i>dc</i> superam o crescimento em <i>ht</i> , conforme o aumento da idade da árvore.
Base de dados 1 Modelagem correlacional	Verificou-se que ocorreu aumento do índice em função da idade e correlação negativa com as variáveis de produção ($\bar{r} = -0,31$), na floresta mais velha, comportamento descrito na literatura. No estudo, as parcelas mais produtivas foram observadas aonde o <i>IA</i> apresentou valores em torno de 0,53.
Base de dados 2	A relação do índice morfométrico foi diretamente proporcional às variáveis de produção, com $\bar{r} = 0,52$. Os valores elevados de produção foram observados em parcelas que apresentaram <i>IA</i> médio de 0,13.
Formal de Copa	
Literatura	O Formal de Copa é uma medida inversa à produtividade, ou seja, quanto menor seu valor maior a produtividade.
Base de dados 1 Modelagem correlacional	A floresta de acácia negra também apresenta o comportamento descrito na literatura. A diminuição do índice ocorreu em função do aumento da idade. As parcelas mais produtivas foram observadas aonde o índice <i>FC</i> apresenta valor baixo, mais próximo de zero.
Base de dados 2	Para a floresta em idade de colheita, o índice não apresentou comportamento encontrado na literatura. A relação do índice morfométrico foi diretamente proporcional às variáveis de produção, com $\bar{r} = 0,63$. Os valores elevados de produção foram observados em parcelas que apresentaram <i>FC</i> médio de 0,29.

De forma geral, observou-se que a relação dos índices morfométricos com as variáveis de produção, *G*, *B* e *V*, na floresta de acácia negra ao longo de um ciclo de cultivo, apresentou comportamento como descrito na literatura. Enquanto para a avaliação em floresta em idade de corte apenas alguns índices revelaram tais comportamentos.

4. CONCLUSÃO

Observou-se relação entre os índices morfométricos e as variáveis de produção da floresta área basal, biomassa e volume.

A avaliação da relação dos índices morfométricos com as variáveis de produção, *G*, *B* e *V*, na floresta de acácia negra ao longo de um ciclo cultivo apresenta para os índices *PC* e *IS*

correlação inversamente proporcional com as variáveis, esperando-se, para estes dois índices, na floresta mais velha, obter menores valores de índice para maiores resultados de produção.

Quando observado a floresta em idade madura, a relação h/dap revela associação forte com as variáveis de produção, apresentando com a variável volume uma relação inversamente proporcional, isto demonstra que o aumento da árvore, em diâmetro, diminui o grau de esbeltez, o que consequentemente, ocasiona o aumento na estabilidade das árvores.

Os índices IA e FC apresentaram correlação regular com as variáveis de produção. Quando consideradas todas as idades, para estes índices, é desejável a obtenção de valores aproximados de 0,53 e zero, respectivamente, alcançando elevadas produções.

Na floresta de acácia em idade de colheita, com exceção do índice PC , os índices morfométricos revelaram maior correlação com a variável de produção biomassa. Os índices PC e GE apresentaram relação inversamente proporcional às variáveis de produção (G , B e V), igualmente observado na situação anterior, com valores médios desses índices de 45% e 0,29, respectivamente, atingindo maior produção da floresta.

Os demais índices, IS , IA e FC , apresentaram relação diretamente proporcional com as variáveis área basal, biomassa e volume, com valores médios desses índices de 0,17, 0,13 e 0,29, respectivamente, resultando em elevadas produções de acácia negra.

REFERÊNCIAS

BEHLING, A. **Modelagem da biomassa de árvores para assegurar aditividade dos seus componentes**. 117 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal) - Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

CARRIJO, J. V. N. **Uso de índices morfométricos na classificação das unidades produtivas em povoamentos de *Eucalyptus urophylla* no estado de Goiás**. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

CARRIJO, J. V. N.; MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; GASPAR, R. O.; MARTINS, I. S.; MEIRA JUNIOR, M. S.; ANGELO, H.; JESUS, C. M. Morphometric indexes and dendrometric measures for classification of forest sites of *Eucalyptus urophylla* stands. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 9, p. 1146-1153, 2017.

CUNHA, U. S. **Dendrometria e inventário florestal**. Manaus, AM: Série Técnica. UFAM, 2004.

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

FINGER, C. A. G. Fundamentos de biometria florestal. 1992.

FLEIG, F. D.. **Morfometria e Quantificação da Biomassa Comercial e Residual da poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em reflorestamentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

HELLMANN, S.; WATZLAWIK, L. F.; LIMA, P. C. G.; LIMA, V. A. Morfometria e relações dendrométricas de *Eugenia pyriformis* Cambess. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 3, p. 37-45, 2020.

KREFTA, S. M. **Ajuste da densidade para povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden em função de índices morfométricos**. 176 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

KLEIN, D. R. **Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto sul catarinense**. 122 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) – Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

ISTCHUK, A. N.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Estimativa das relações interdimensionais em povoamentos homogêneos de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Agraria Paranaensis.**, v. 15, n. 4, p. 401-407, 2016.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. UNICENTRO. 2ª Edição. 316 p., 2009.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. UNICENTRO. 2ª Edição – 2ª Reimpressão. 316 p., 2014.

NUTTO, L.; TONINI, H. BORSOI, G. A.; MOSKOVICH, F. A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 42, p. 123 -138, 2001.

PARÉS - CASANOVA, P. M. **Capítulo introdutório - estudos morfométricos: além da análise de forma anatômica pura, novos insights sobre estudos de morfometria**, Pere M. Pares-Casanova, IntechOpen, 2017.

PÉLLICO NETTO, S.; BEHLING, A. Rational volumetric models: tested in forest stands of *Acacia mearnsii* De Wild in southern Brazil. **CERNE**, v. 25, n. 4, p.491-505, 2019.

ROCHA JÚNIOR, D. S. **Quantificação da biomassa foliar de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez**. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. **Ci. Fl.**, v. 19, n. 4, P. 473 – 480, 2009.

SANQUETTA, C. R. **Métodos de determinação de biomassa florestal**. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Eds.). *As florestas e o carbono*. Curitiba: [s.n.], 2002, p. 119-140.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 633-638, 2005.

WEBER, V. P. et al. **Relação morfométrica e de competição no crescimento de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex Nees) Liberato Barroso na região central de Santa Catarina**. 102 f. Tese (Doutorando em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CONCLUSÕES GERAIS

Em amostragem de árvores equivalente a este estudo é desejável a aplicação de estimadores por razão para obtenção dos índices morfométricos.

No entanto, conforme aplicação demonstrada conclui-se que a avaliação dos índices por meio da modelagem correlacional é mais apropriada, uma vez que a padronização das variáveis de interesse elimina a diferença da variabilidade existente entre grupos. Permitindo também a avaliação conforme a correlação entre as variáveis da floresta, o que possibilita uma percepção .breve sobre como estas variáveis estão se comportando entre si e/ou com outras características da floresta (dentro de uma avaliação que varia entre -1 e 1). Sendo, deste modo, este o método recomendado.

Todavia, ainda deve considerar-se as interpretações constatadas na literatura, como suporte auxiliar, uma vez que a modelagem correlacional ainda não permite interpretações como a percepção do percentual, por exemplo, de ocupação da copa no fuste, observado no índice Proporção de Copa.

Em síntese, foi possível identificar como os índices morfométricos evoluem ao longo de um ciclo de cultivo e o que acontece com estes índices em relação à produtividade da floresta, (segunda base de dados).

Recomenda-se a continuidade do estudo sobre a relação dos índices morfométricos com as variáveis de produção da espécie acácia negra, pois os índices manifestaram correlação com as variáveis de produção área basal, biomassa e volume, sendo recomendado o uso dessas relações para a evolução quantitativa da acacicultura.

ANEXOS

TABELA 23 - SIGNIFICÂNCIA DO ÍNDICE MORFOMÉTRICO POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Teste de hipótese					
Idade	<i>PC</i>	<i>GE</i>	<i>IS</i>	<i>IA</i>	<i>FC</i>
1,00	0,9986*	0,9390*	0,4440*	0,4340*	0,4380*
1,75	0,5881*	0,7280*	0,7150*	0,4170*	0,4280*
1,83	0,8109*	0,8080*	0,6700*	0,2980*	0,4650*
2,33	0,6102*	0,6990*	0,8380*	0,5160*	0,6530*
2,75	0,8024*	0,8450*	0,8580*	0,6860*	0,7180*
3,08	0,5386*	0,8454*	0,7321*	0,5363*	0,7506*
5,00	0,7405*	0,8390*	0,8600*	0,7100*	0,5580*
5,25	0,6938*	0,8520*	0,7900*	0,5770*	0,7040*
5,75	0,5317*	0,9000*	0,8250*	0,6390*	0,5490*
9,83	0,3797*	0,8830*	0,8110*	0,6350*	0,4050*
10,08	0,3310*	0,8750*	0,8400*	0,7110*	0,2180*
10,75	0,2397*	0,8886*	0,7744*	0,6084*	0,1107*

em que: *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa.

TABELA 24 - TESTE DE HOMOGENEIDADE PARA TODAS AS IDADES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

Teste de homogeneidade					
	<i>PC</i>	<i>GE</i>	<i>IS</i>	<i>IA</i>	<i>FC</i>
χ^2	573	34	35	20	45
χ_c^2	19,67	19,67	19,67	19,67	19,67
r_w	0,76	0,86	0,77	0,55	0,52
<i>p</i> -valor	0,00%	0,04%	0,02%	4,58%	0,00%

em que: *PC* é o índice de Proporção de Copa; *GE* é o índice Grau de Esbeltez; *IS* é o Índice de Saliência; *IA* é o Índice de Abrangência; *FC* é o índice Formal de Copa; χ^2 = qui-quadrado calculado; χ_c^2 = qui-quadrado crítico; r_w é o coeficiente de correlação ponderado.

TABELA 25 - TESTE DE HOMOGENEIDADE – AVALIAÇÃO POR GRUPOS DE IDADES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

(Continua)

Grupo 1					
	<i>PC</i>	<i>GE</i>	<i>IS</i>	<i>IA</i>	<i>FC</i>
χ^2	319	22	6	1	0
χ_c^2	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99
r_w	0,96	0,86	0,61	0,39	0,44
<i>p</i> -valor	0,00%	0,00%	4,62%	66,30%	96,98%
Grupo 2					
χ^2	7	4	4	2	1
χ_c^2	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99
r_w	0,65	0,81	0,81	0,58	0,72
<i>p</i> -valor	3,11%	10,69%	14,36%	36,14%	60,39%
Grupo 3					
χ^2	3	2	1	1	2
χ_c^2	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99
r_w	0,66	0,87	0,82	0,64	0,62
<i>p</i> -valor	21,07%	42,89%	55,43%	53,79%	33,63%

TABELA 24 - TESTE DE HOMOGENEIDADE – AVALIAÇÃO POR GRUPOS DE IDADES DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS OBTIDOS POR MODELAGEM CORRELACIONAL.

(Conclusão)

Grupo 4					
χ^2	1	0	1	1	3
χ^2_c	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99
r_w	0,31	0,88	0,81	0,65	0,24
p- valor	71,51%	95,01%	59,83%	60,39%	25,59%

Em que: PC é o índice de Proporção de Copa; GE é o índice Grau de Esbeltez; IS é o Índice de Saliência; IA é o Índice de Abrangência; FC é o índice Formal de Copa; χ^2 = qui-quadrado calculado; χ^2_c = qui-quadrado crítico; r_w = coeficiente de correlação ponderado.

TABELA 26 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO ÍNDICE PC.

Índice morfométrico - Proporção de Copa			
Idade	Modelagem por estimativa pontual	Estimador por razão	Correlação
1,00	96,23%	96,40%	0,999
1,75	59,23%	59,38%	0,588
1,83	71,70%	71,63%	0,811
2,33	59,32%	59,60%	0,610
2,75	40,91%	41,35%	0,802
3,08	46,09%	45,89%	0,539
5,00	37,95%	38,42%	0,741
5,25	43,80%	43,55%	0,694
5,75	34,40%	34,37%	0,532
9,83	48,82%	48,51%	0,380
10,08	41,92%	41,29%	0,331
10,75	45,56%	45,02%	0,240

TABELA 27 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO ÍNDICE GE.

Índice morfométrico - Grau de Esbeltez			
Idade	Modelagem por estimativa pontual	Estimador por razão	Correlação
1,00	1,51	1,43	0,939
1,75	1,12	1,09	0,728
1,83	1,20	1,16	0,808
2,33	1,27	1,21	0,699
2,75	1,37	1,32	0,845
3,08	1,36	1,32	0,845
5,00	1,42	1,35	0,839
5,25	1,39	1,32	0,852
5,75	1,47	1,38	0,900
9,83	1,30	1,22	0,883
10,08	1,34	1,28	0,875
10,75	1,36	1,32	0,889

TABELA 28 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO *IS*.

Índice morfométrico - Índice de Saliência			
Idade	Modelagem por estimativa pontual	Estimador por razão	Correlação
1,00	0,48	0,44	0,444
1,75	0,27	0,27	0,715
1,83	0,26	0,26	0,670
2,33	0,22	0,22	0,838
2,75	0,19	0,19	0,858
3,08	0,21	0,21	0,732
5,00	0,18	0,18	0,860
5,25	0,20	0,19	0,790
5,75	0,18	0,17	0,825
9,83	0,19	0,19	0,811
10,08	0,16	0,16	0,840
10,75	0,17	0,17	0,774

TABELA 29 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO *IA*.

Índice morfométrico - Índice de Abrangência			
Idade	Modelagem por estimativa pontual	Estimador por razão	Correlação
1,00	0,31	0,31	0,434
1,75	0,25	0,25	0,417
1,83	0,23	0,22	0,298
2,33	0,18	0,18	0,516
2,75	0,14	0,14	0,686
3,08	0,16	0,16	0,536
5,00	0,13	0,13	0,710
5,25	0,15	0,14	0,577
5,75	0,12	0,12	0,639
9,83	0,15	0,16	0,635
10,08	0,12	0,12	0,711
10,75	0,13	0,13	0,608

TABELA 30 - RESULTADOS OBTIDOS NAS TRÊS MODELAGENS DO ÍNDICE *FC*.

Índice morfométrico - Formal de Copa			
Idade	Modelagem por estimativa pontual	Estimador por razão	Correlação
1,00	0,33	0,32	0,438
1,75	0,43	0,42	0,428
1,83	0,32	0,31	0,465
2,33	0,30	0,30	0,653
2,75	0,35	0,34	0,718
3,08	0,35	0,34	0,751
5,00	0,35	0,35	0,558
5,25	0,34	0,33	0,704
5,75	0,38	0,36	0,549
9,83	0,34	0,32	0,405
10,08	0,36	0,30	0,218
10,75	0,33	0,28	0,111

FIGURA 6 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADAS. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 1 ANO DE IDADE.

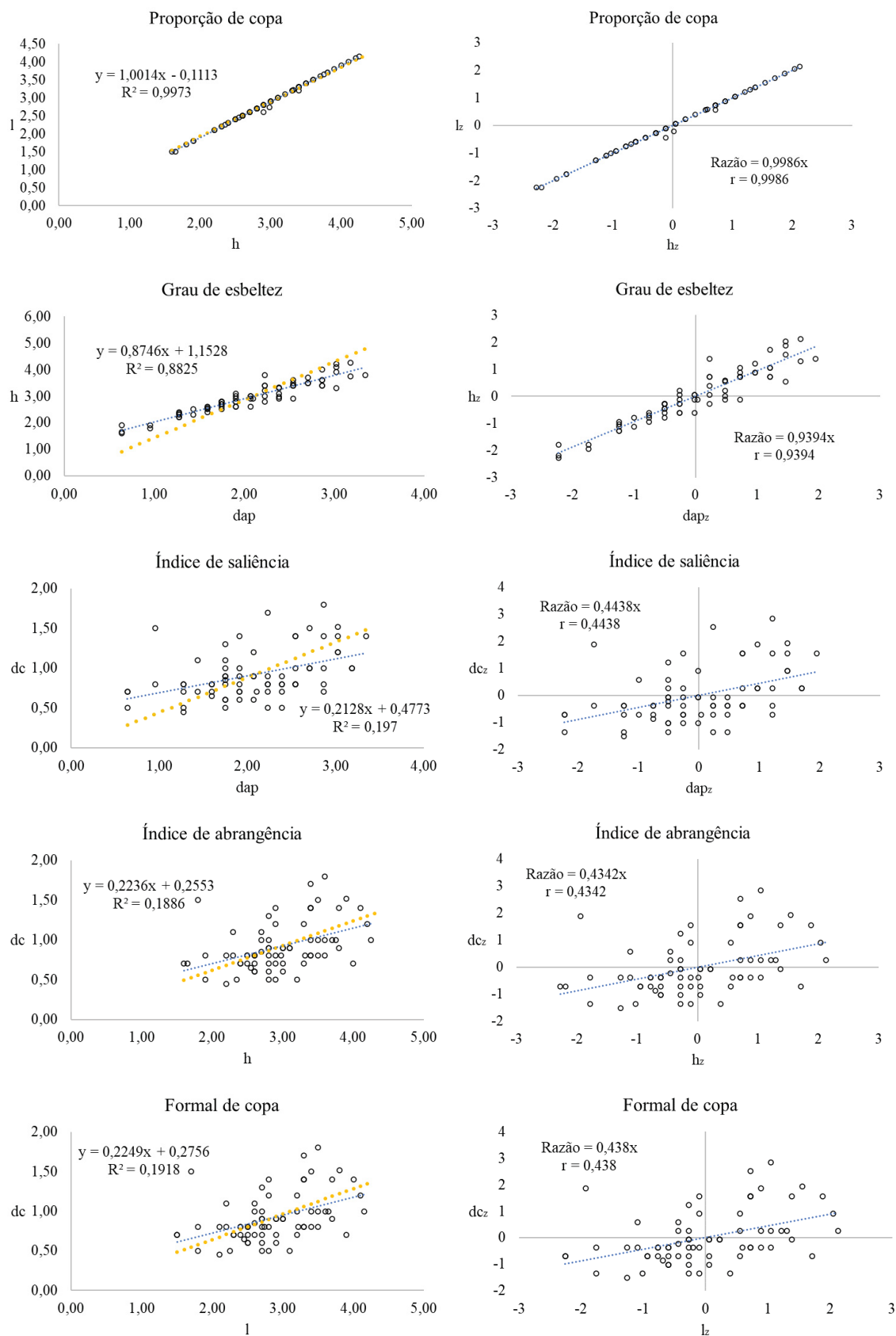


FIGURA 7 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 2,33 ANO DE IDADE.

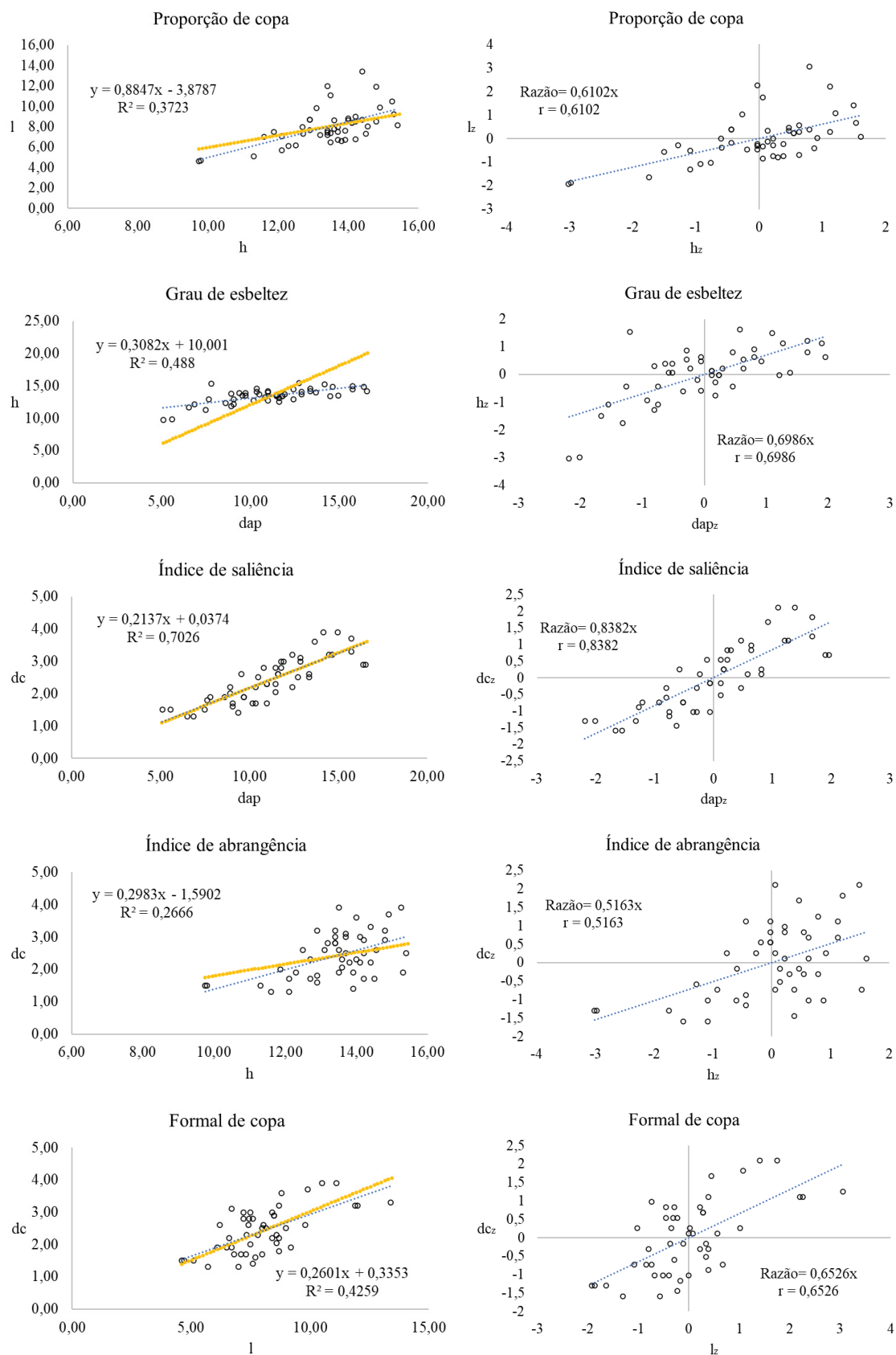


FIGURA 8 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 5,25 ANOS DE IDADE.

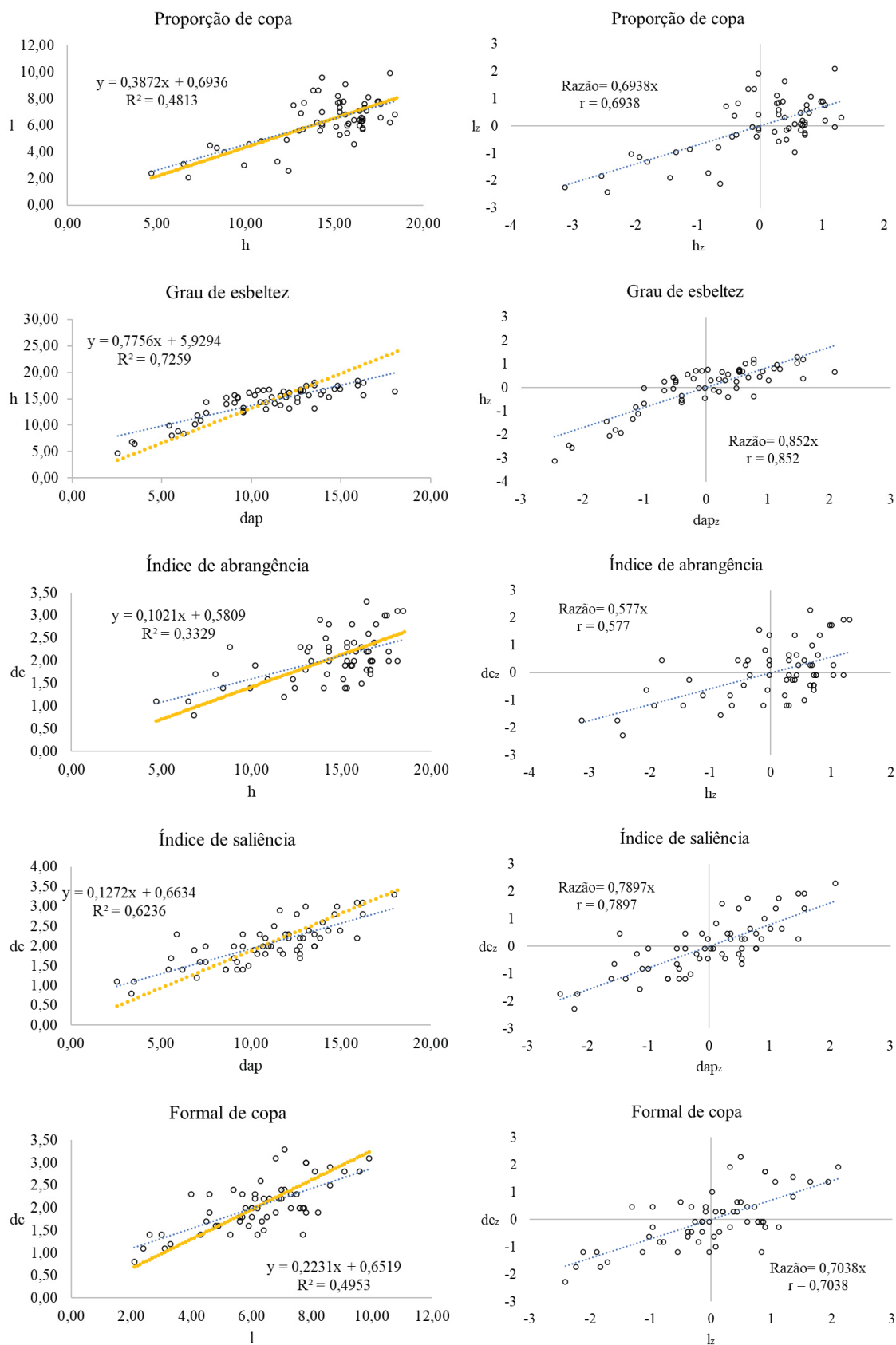


FIGURA 9 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE PIRATINI, POVOAMENTO COM 9,83 ANOS DE IDADE.

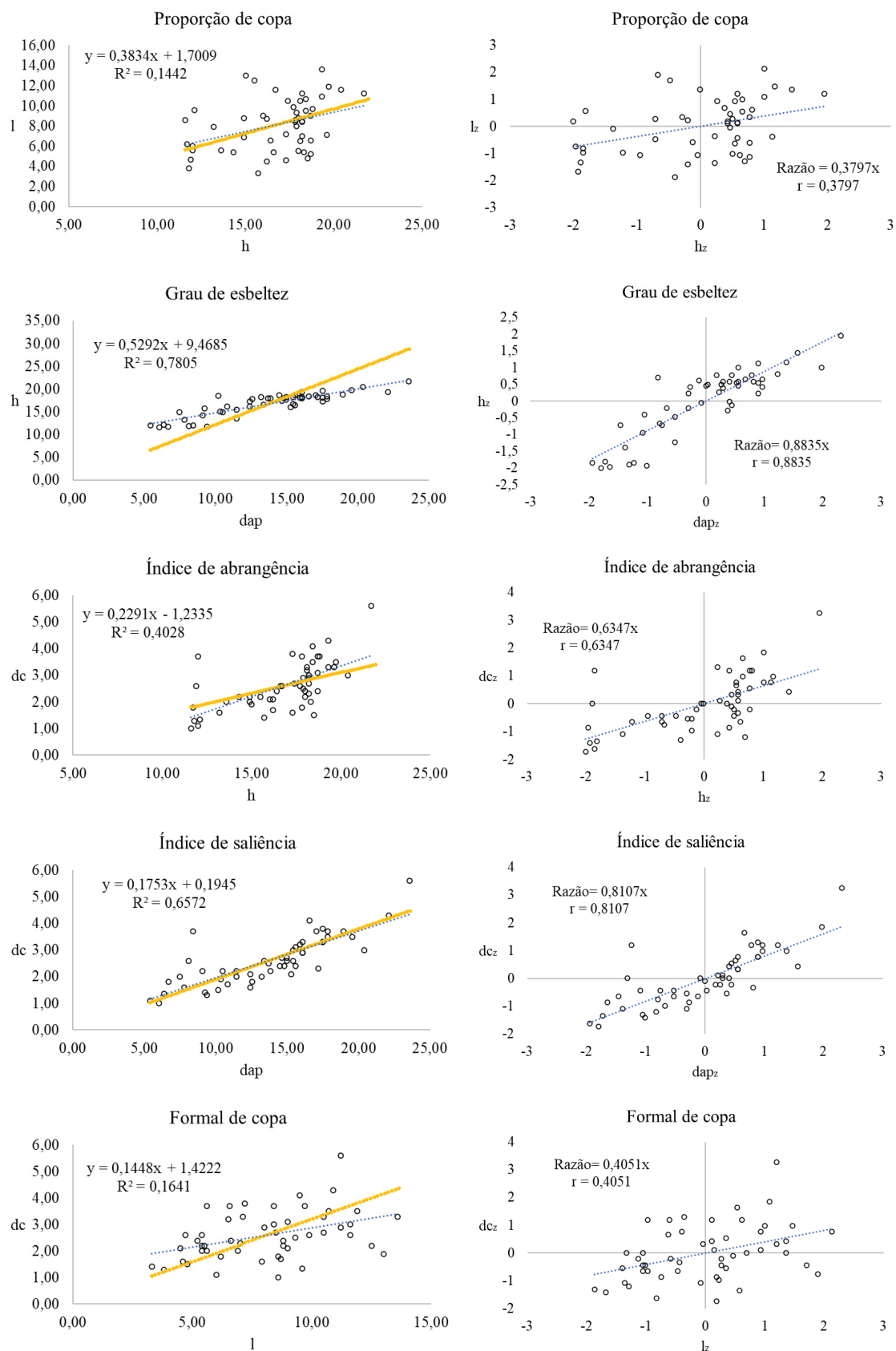


FIGURA 10 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 1,75 ANOS DE IDADE.

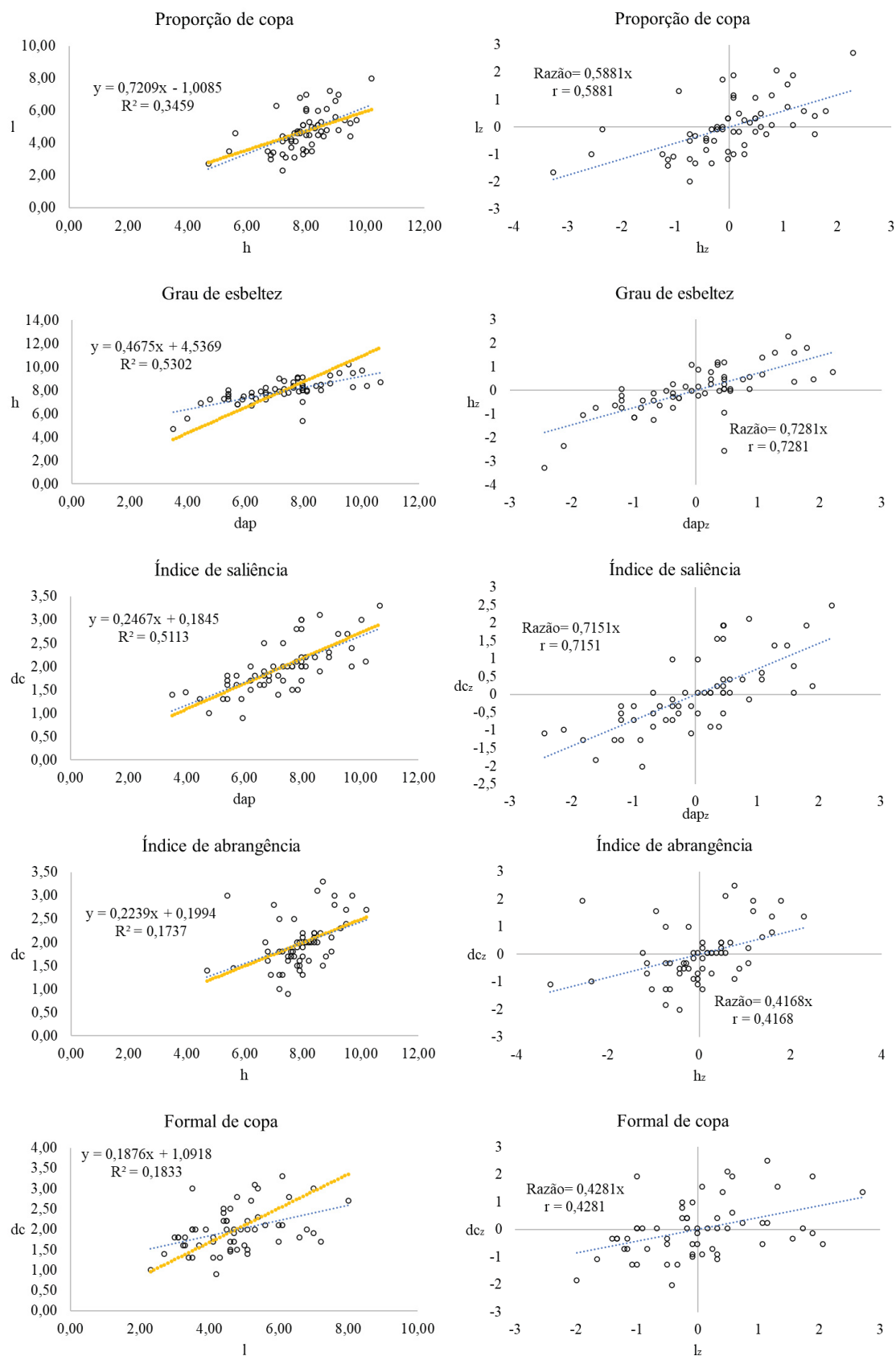


FIGURA 11 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 2,75 ANOS DE IDADE.

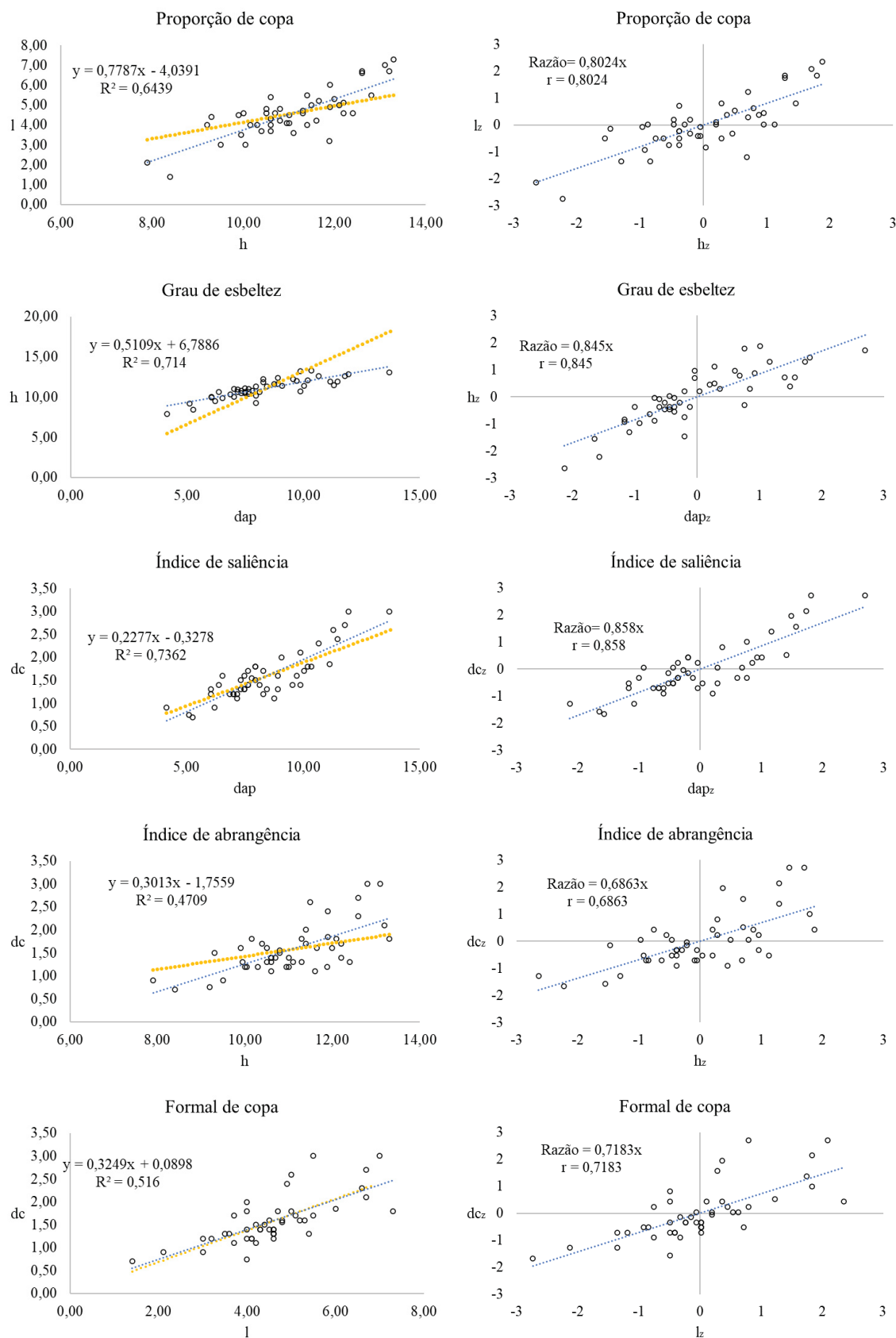


FIGURA 12 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 5 ANOS DE IDADE.

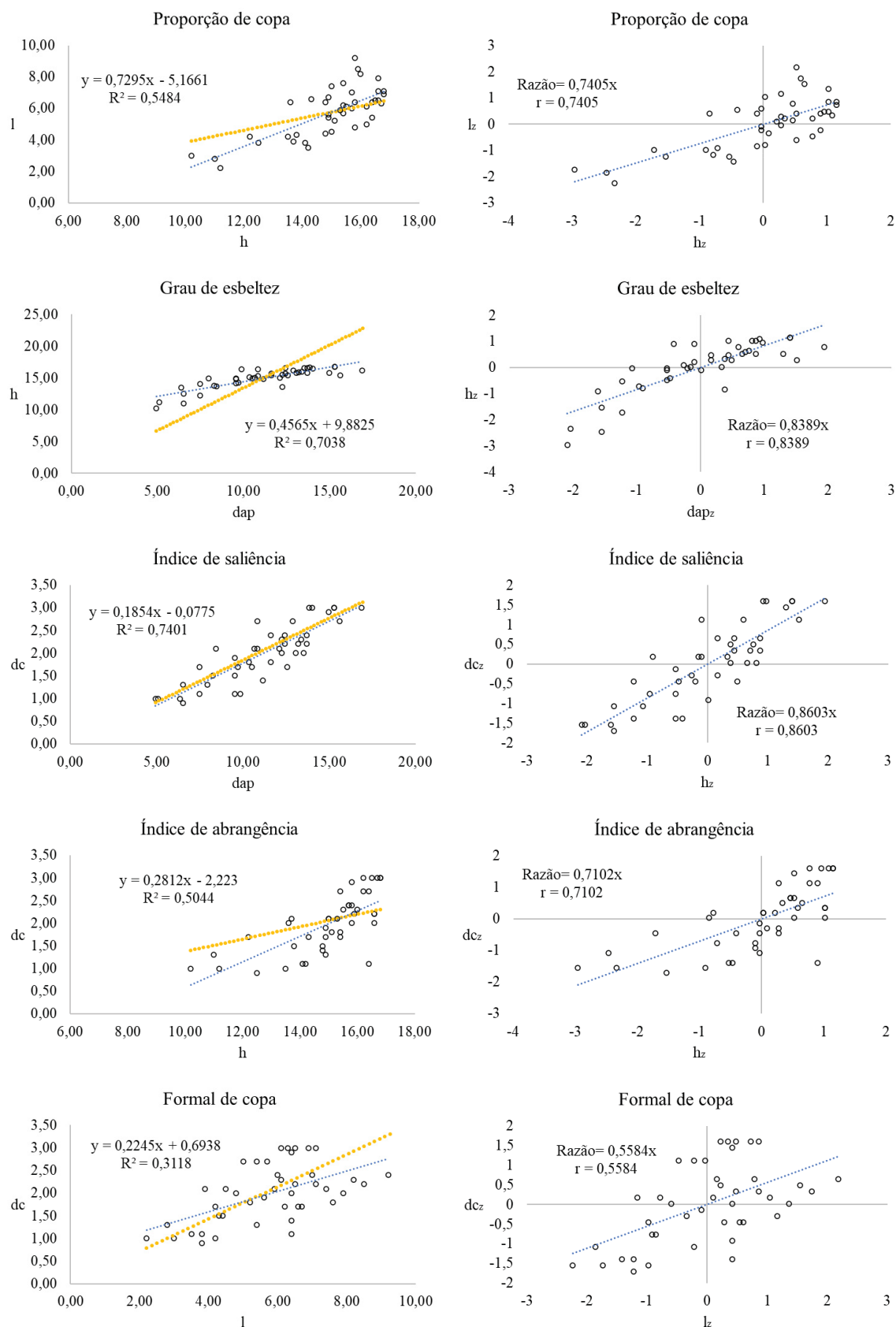


FIGURA 13 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE CRISTAL, POVOAMENTO COM 10,08 ANOS DE IDADE.

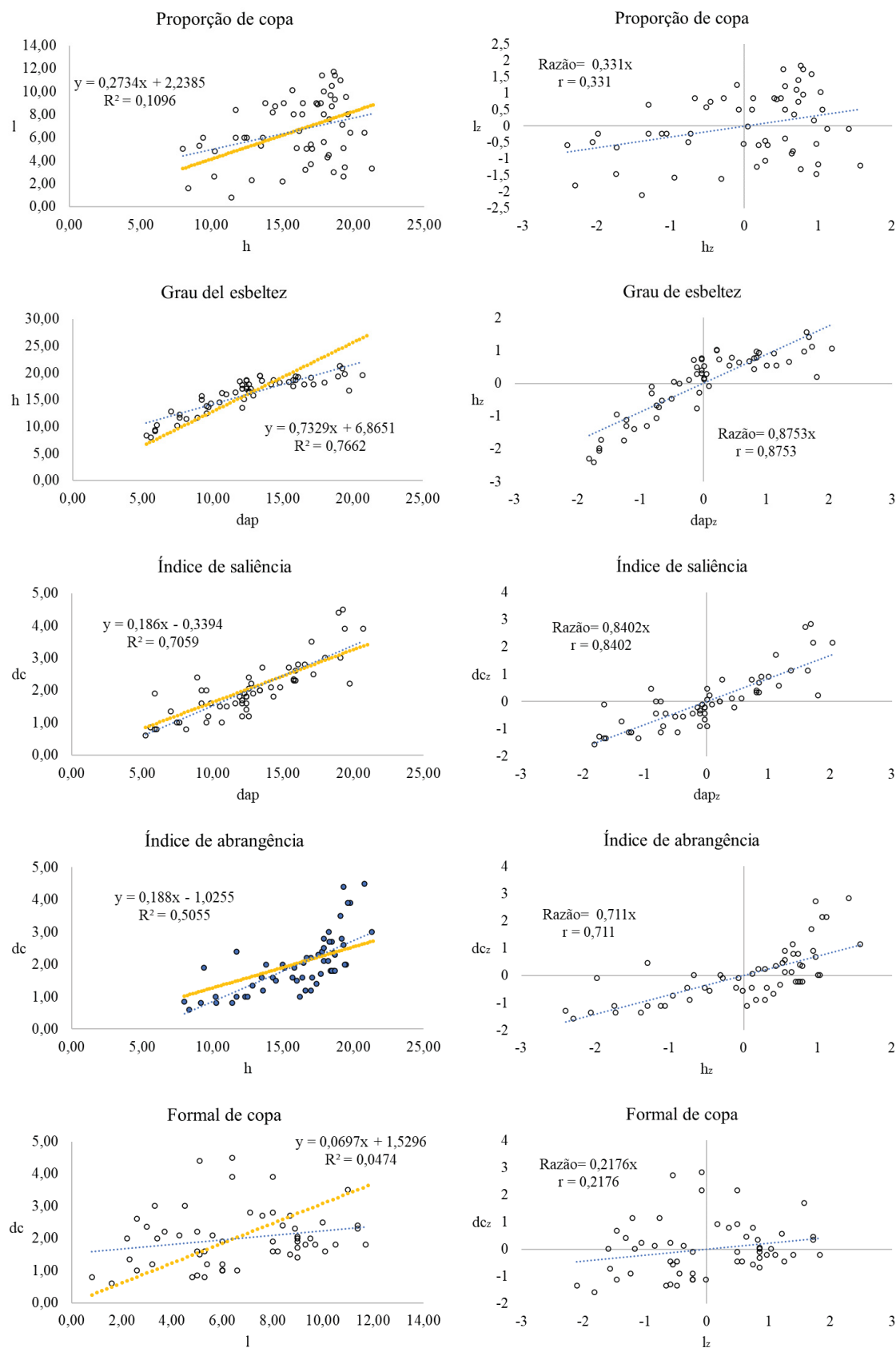


FIGURA 14 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 1,83 ANOS DE IDADE.

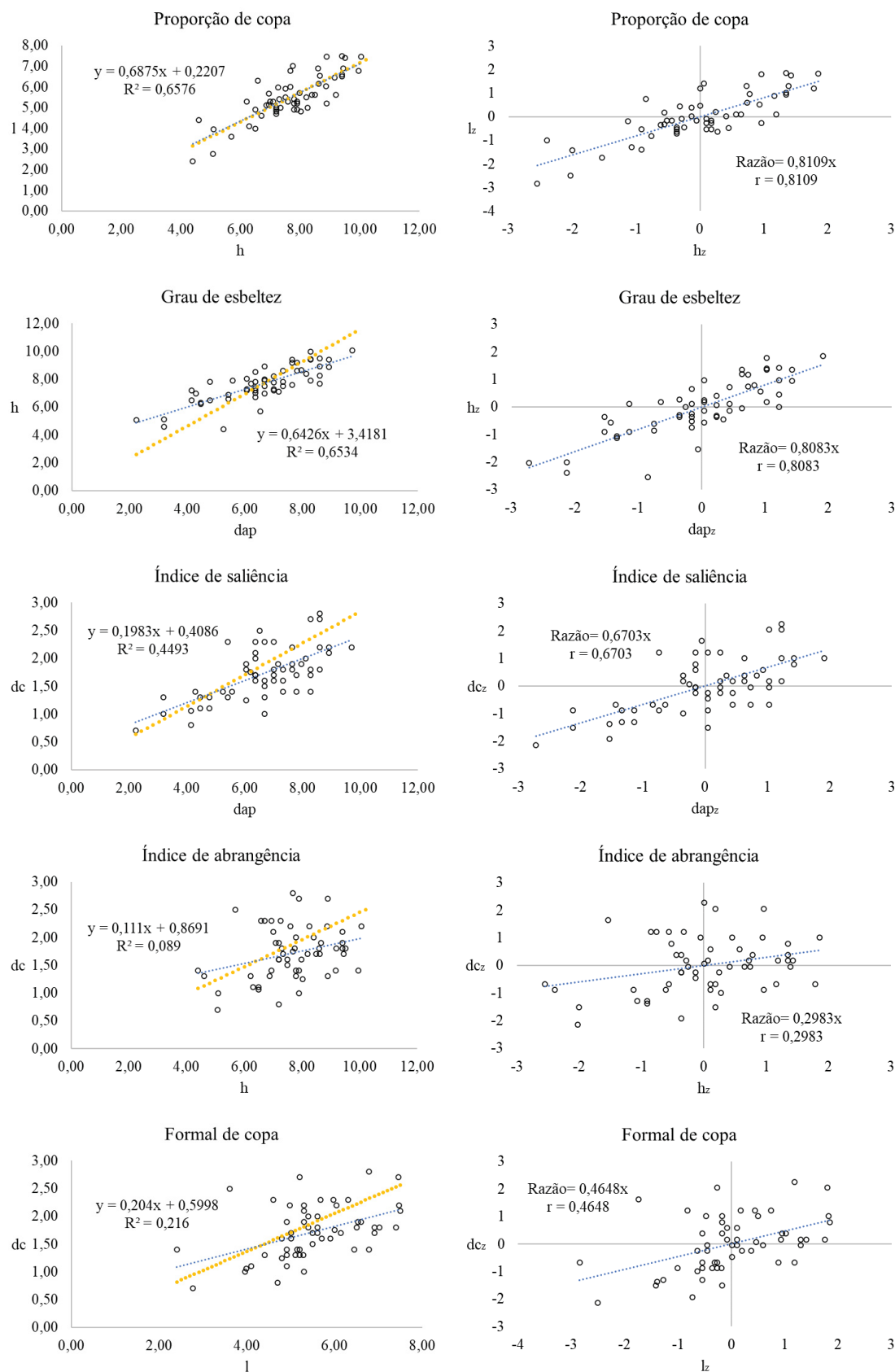


FIGURA 15 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 3,08 ANOS DE IDADE.

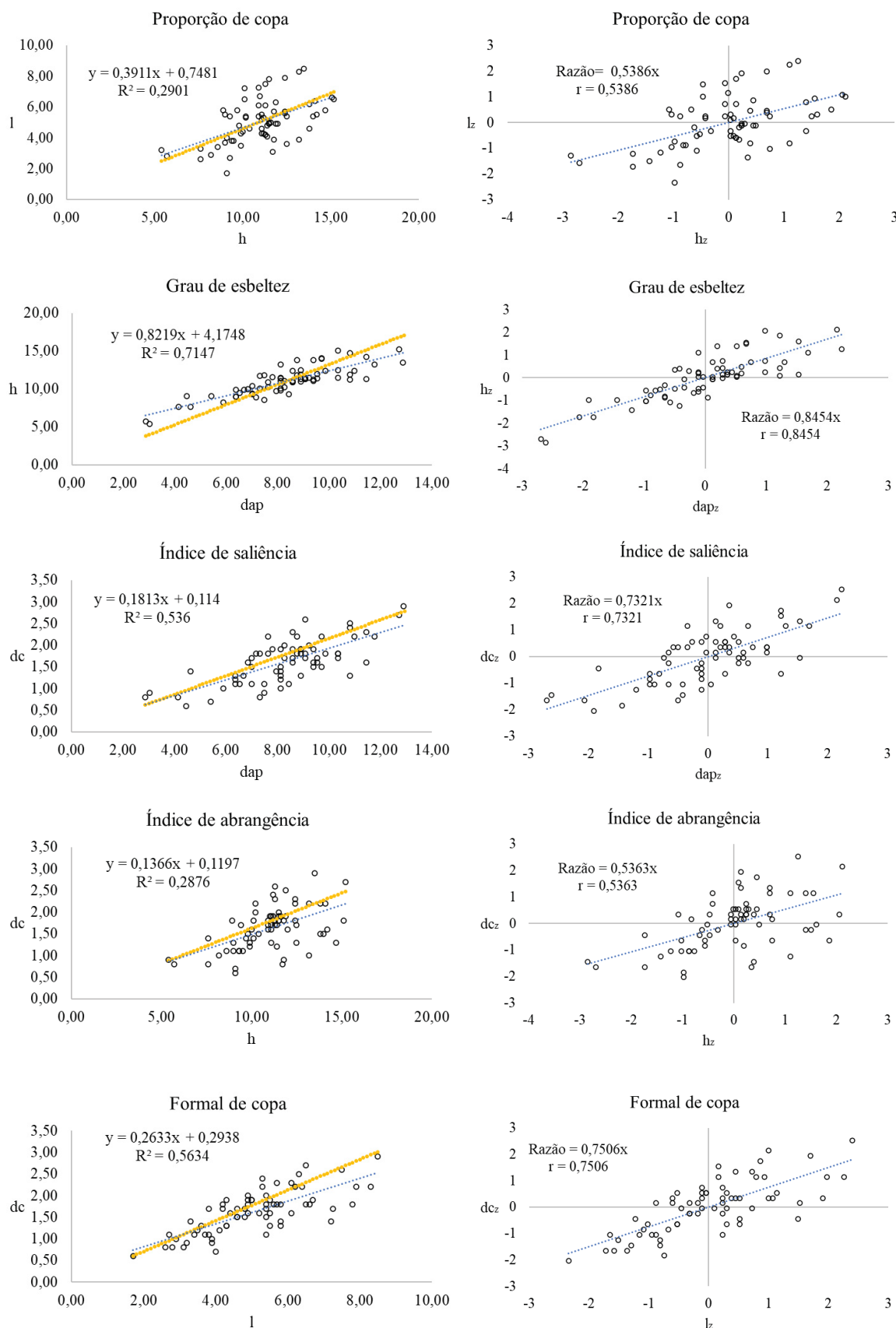


FIGURA 16 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 5,75 ANOS DE IDADE.

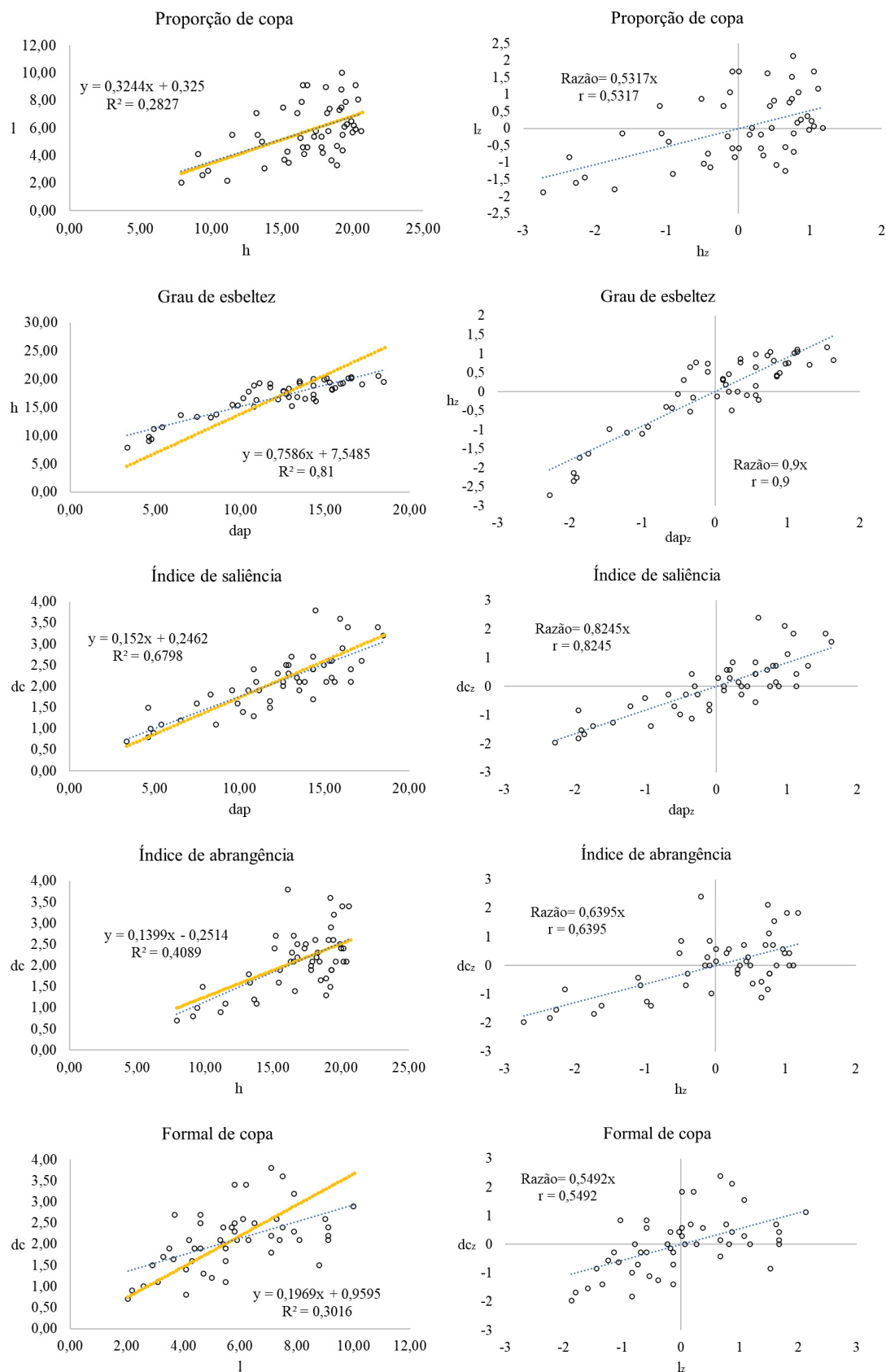


FIGURA 17 - À ESQUERDA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS COM MODELAGEM POR ESTIMATIVA PONTUAL. À DIREITA DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS PADRONIZADA. MUNICÍPIO DE ENCRUZILHADA DO SUL, POVOAMENTO COM 10,75 ANOS DE IDADE.

