

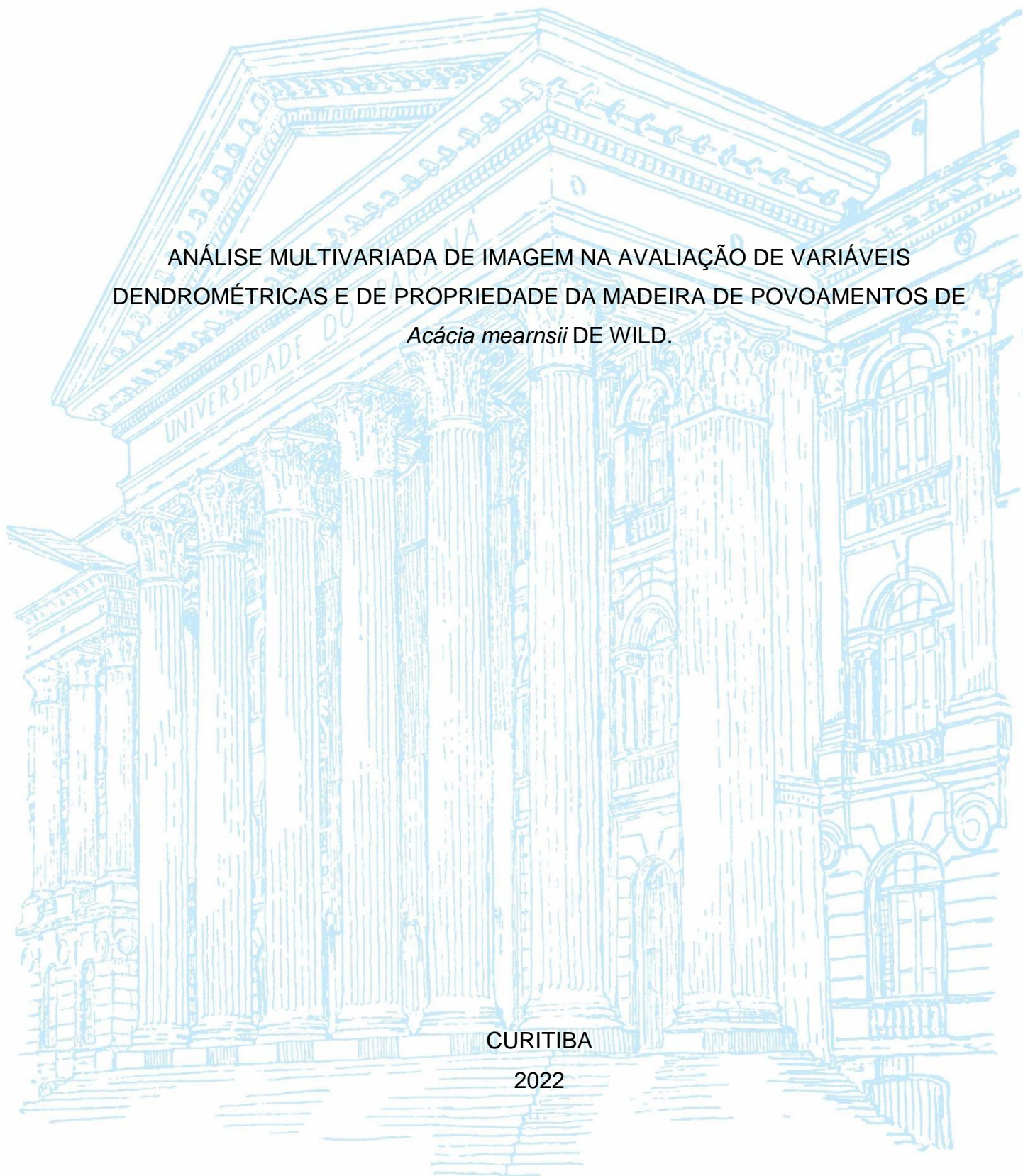
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉ LUIS PICKLER

ANÁLISE MULTIVARIADA DE IMAGEM NA AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS  
DENDROMÉTRICAS E DE PROPRIEDADE DA MADEIRA DE POVOAMENTOS DE  
*Acácia mearnsii* DE WILD.

CURITIBA

2022



ANDRÉ LUIS PICKLER

ANÁLISE MULTIVARIADA DE IMAGEM NA AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS  
DENDROMÉTRICAS E DE PROPRIEDADE DA MADEIRA DE POVOAMENTOS DE  
*Acácia mearnsii* DE WILD

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina AS1002 e requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Behling

CURITIBA

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL


## PARECER

Defesa nº 281

A Banca Examinadora, instituída pelo Colegiado do Curso de Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir **André Luis Pickler** em relação ao seu Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Análise multivariada de imagem na avaliação de variáveis dendrométricas e de propriedade da madeira em povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild.**, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** na Disciplina ENGF010 - Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Florestal, condicionada a entrega da versão final corrigida.

  
Prof. Dr. Henrique Soares Koehler  
1º. Avaliador

  
Me. Kauana Engel  
2ª. Avaliadora

  
Prof. Dr. Alexandre Behling  
Orientador - Presidente da Banca

Curitiba, 02 de maio de 2022.

  
Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari  
Vice-Coordenador do Curso de Engenharia Florestal em exercício

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Professor Dr. Alexandre Behling por ter aceitado ser meu orientador nesse trabalho, assim como pelas excelentes explicações práticas sobre os plantios comerciais de acácia - negra.

Agradeço a doutoranda Kauana Engel pela paciência e por me ajudar em todas as etapas da construção desse trabalho de conclusão de curso.

Estendo os meus agradecimentos à empresa TANAGRO S.A e TANAC S.A, por disponibilizar os dados utilizadas no desenvolvimento desse trabalho.

Por fim agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse iniciar, desenvolver e concluir esse trabalho.

## RESUMO

O manejo de um plantio comercial de Acácia negra, para suprir a demanda de produtos, envolve o acompanhamento, e a mensuração de variáveis, dentre elas as dendrométricas e as de propriedade da madeira. Nesse sentido, o objetivo geral desse trabalho é analisar o relacionamento das variáveis dendrométricas e de propriedade da madeira, utilizando a técnica de Análise multivariada de imagem, ao longo do ciclo de plantio e crescimento da acácia- negra. Os objetivos específicos: (i) Reduzir a dimensão das variáveis originais em fatores para entender como elas se relacionam por meio da análise multivariada de imagem ao longo do ciclo da cultura; (ii) Verificar qual das variáveis dendrométricas é a mais importante dentro dos fatores; (iii) Verificar qual das variáveis de propriedades da madeira é a mais importante dentro dos fatores. Esse trabalho tem o objetivo de responder as seguintes questões: 1 - “Como as variáveis dendrométricas se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos da Acácia negra por meio da análise multivariada de imagem? ” 2 - “Como as variáveis de propriedades da madeira se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos de Acácia negra por meio da análise multivariada de imagem? ”, e 3 - “Como as variáveis dendrométricas e de propriedades da madeira se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos de Acácia negra por meio da análise multivariada de imagem? ”. Assim, foi utilizada uma matriz de correlação do conjunto de dados composto por 14 variáveis (10 dendrométricas e 4 de propriedades da madeira), provenientes de plantios comerciais de acácia negra em 4 idades diferentes, totalizando 662 árvores. O processamento da análise multivariada de imagem foi realizado por meio da linguagem de programação *Júlia* e as matrizes de correlação foram calculadas no Excel. As variáveis dendrométricas e as variáveis de propriedades da madeira explicam porções de variância diferentes (diferentes aspectos do povoamento) ao longo de todas as idades do povoamento. As variáveis dendrométricas mais importantes são o dap, v, Bf e Bc ao longo de todas as idades do povoamento de Acácia negra. As variáveis de propriedade da madeira mais importantes variaram conforme a idade. Assim, recomenda-se a mensuração das seguintes variáveis em cada idade: jovem: densidade básica do fuste; média inicial: carbono do fuste; média avançada: carbono da copa e madura: carbono do fuste.

**Palavras-chave:** Análise multivariada, acácia negra, povoamentos, variância.

## ABSTRACT

The management of a commercial plantation of black wattle, to supply the demand for products, involves the monitoring, measurement and understanding of several variables, including dendrometric and wood properties. In this sense, the general objective of this work is to analyze the relationship of dendrometric and wood property variables, using the multivariate image analysis technique, throughout the planting and growth cycle of black wattle. And, with the following specific objectives: (i) Reduce the dimension of the original variables into factors to understand how they relate through multivariate image analysis along the crop cycle; (ii) Verify which of the dendrometric variables is the most important within the factors; (iii) Verify which of the wood property variables is the most important within the factors. Thus this work will answer the following study questions: 1 - "How are the dendrometric variables related along the crop cycle of black Acacia stands by employing multivariate image analysis?" 2 - "How do the wood properties variables relate along the cultivation cycle of black Acacia stands by employing multivariate image analysis?" and 3 - "How do the dendrometric and wood properties variables relate along the cultivation cycle of black Acacia stands by employing multivariate image analysis?". For this, we used the correlation matrix of the data set composed of 14 variables (10 dendrometric and 4 wood properties) from commercial black wattle plantations at 4 different ages, totalizing 662 trees. The multivariate image analysis was processed using the Julia programming language and the correlation matrices were calculated in Excel. The dendrometric and wood property variables explained different portions of variance (different aspects of the stand) across all stand ages. The most important dendrometric variables are dap, v, Bf and Bc throughout all ages of the black Acacia stand. The most important wood property variables varied with age. Thus, it is recommended that the following variables be measured at each age: young: basic density of the stem; early middle: stem carbon; advanced middle: crown carbon and mature: stem carbon.

**Keywords:** Multivariate analysis, black acacia, plantations, variance.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PLANTIOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.	13
FIGURA 2. ÁREA DE PLANTIOS COMERCIAIS EM HECTARES DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES COMERCIAIS CULTIVADAS NO BRASIL .....	14
Figura 3. ÁREA DE PANTIO DE ACÁCIA-NEGRA NO RIO GRANDE DO SUL.	16
FIGURA 4. POSIÇÃO DAS COLETAS DAS AMOSTRAS DA BIOMASSA DO FUSTE E DA COPA DE ACÁCIA NEGRA, NO RIO GRANDE DO SUL.....	19

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - IDADE DOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA EM CADA MUNICÍPIO E SUAS RESPECTIVAS CLASSES.....	17
TABELA 2 - NÚMERO DE ÁRVORES AMOSTRADA EM CADA CLASSE IDADE E LOCAL NOS PLANTIOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL.	17
TABELA 3 - DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS UTILIZADAS NESSE ESTUDO PROVENIENTES DOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL.....	18
TABELA 4 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS DADOS GERAIS PARA OS POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	21
TABELA 5 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM IDADE JOVEM DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL .....	22
TABELA 6 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM MÉDIA INICIAL DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL .....	22
TABELA 7 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM MÉDIA AVANÇADA DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL .....	23
TABELA 8. MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM MADURA DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	24
TABELA 9 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) GERAL PARA O POVOAMENTO DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL .....	25
TABELA 10 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA IDADE JOVEM DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL....	26
TABELA 11 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA MÉDIA INICIAL DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL ...	27
TABELA 12 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA MÉDIA AVANÇADA DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.	29
TABELA 13 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA MADURA DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL .....	30
TABELA 14 - FATORES ONDE AS VARIÁVEIS DE PROPRIEDADES DA MADEIRA FORAM CARREGADAS .....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
2.1 Objetivo Geral .....	12
2.2 Objetivo específico .....	12
<b>3 REFERENCIAL TEORICO .....</b>	<b>13</b>
3.1 A acácia negra .....	13
3.2 Análise multivariada de imagem.....	15
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
4.1 Área de estudo.....	16
4.2 Coleta de dados .....	17
4.3 Correlação entre as variáveis.....	22
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>23</b>
5.1 Matriz de correlação.....	23
5.1.2 Dados gerais .....	23
5.1.3 Idade jovem.....	24
5.1.4 Média inicial.....	24
5.1.5 Média avançada .....	25
5.1.6 Madura .....	23
5.2 Matriz de carregamento ( loading).....	24
5.2.1 Dados gerais .....	24
5.2.2 Idade jovem.....	25
5.2.3 Média inicial.....	30
5.2.4 Média avançada .....	31
5.2.5 Madura .....	29
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>36</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A acácia-negra está entre as principais espécies plantadas no Brasil, superada em área de plantio apenas pelas espécies do gênero *Eucalyptos* e *Pinus* (IBÁ 2018; IBÁ 2020). A área de florestas plantadas no estado do Rio Grande do Sul é de 1,03 milhões de hectares e 7,3% desse valor corresponde aos plantios de Acácia negra, que representam quase a totalidades do cultivo da espécie no país (REMADE 2015; AGEFLOR 2020).

Os principais produtos extraídos dos plantios comerciais de Acácia são: a madeira, usada na forma de cavaco na indústria de celulose, produção de carvão e geração de energia e; a casca que é destinada para extração de tanino usada no curtimento de couros e outros usos químicos (MOURA 2005; CALDEIRA et al. 2011; AGEFLOR 2020). Além do foco comercial, para suprir a demanda da indústria e abastecer a cadeia produtiva de produtos florestais, também tem grande importância econômica e social para as pequenas propriedades. Cerca de 60% dos plantios de acácia pertencem a pequenas propriedades situadas na região dos plantios e, comumente é a renda principal da propriedade (REMADE, 2015).

Devido à importância dos plantios de Acácia negra tanto para a indústria como para as pequenas propriedades, os estudos são desenvolvidos com diferentes focos (RIBEIRO et al. 2018; CASAGRANDE et al. 2014; NETO 2011). Para isso a condução de experimentos científicos com a espécie por parte de universidades e das empresas envolve a mensuração de diferentes variáveis (dendrométricas, de biomassas, relacionadas às propriedades da madeira, energéticas, dentre outras) e provenientes de diferentes partes da árvore (fuste e copa). Essas variáveis também são mensuradas em diferentes idades, considerando a rotação da espécie e os diferentes produtos gerados. Isso totaliza um número alto de variáveis, que, a princípio expressam informações diferentes além de apresentarem uma relação entre si, visto que são extraídas de diferentes partes da mesma árvore, e são mensuradas mais de uma vez na mesma árvore, em diferentes períodos de tempo.

Compreender como essas variáveis se relacionam é importante para a condução de experimentos e manejo da cultura. Estas informações auxiliam na redução de tempo e custos ao definir as atividades de campo, por exemplo. Isso se deve principalmente porque as diferentes variáveis que podem ser mensuradas nos plantios de acácia, apresentam formas de coleta distintas, envolvendo mais ou menos custos e tempo em campo.

Uma forma de trabalhar com mais de uma variável ao mesmo tempo, e ainda se aproveitar da relação existente entre elas é por meio do emprego da estatística multivariada de dados. Análise multivariada se refere às técnicas estatísticas que simultaneamente analisam medidas sobre indivíduos ou objetos (FIELD, 2005; HAIR, 2009). Entre as diversas técnicas multivariadas disponíveis (Manova, agrupamento, componentes principais, fatores), as quais são empregadas conforme o objetivo desejado, existe também a análise de imagem.

A análise de imagem tem como objetivo apresentar uma redução da dimensão total do conjunto de variáveis, por meio do agrupamento delas em dimensões menores. Essa análise é considerada um aprimoramento da análise de fatores (PLEWIS, 2001), pois corrige as porções únicas de variância. Conforme Veldman (1967) toda a variação contida na matriz de correlação é digna de ser considerada na derivação das dimensões dos fatores das variáveis originais. Portanto, a análise de imagem considera o fato de que existe uma diferença na variância de cada variável, ocasionada pelo fato de serem de natureza distintas e representadas por unidades diferentes.

Considerando a importância em entender como as variáveis dendrométricas e de propriedades da madeira dos plantios de Acácia negra se relacionam, de modo que a diferença entre elas sejam consideradas, o presente trabalho tem como objetivo analisar o relacionamento das variáveis dendrométricas e de propriedade da madeira, utilizando a técnica multivariada de análise de imagem, ao longo do ciclo de plantio e crescimento da acácia negra. Este trabalho responde as seguintes questões de estudo:

- (i) “Como as variáveis dendrométricas se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos da Acácia negra quando processadas por meio da técnica multivariada de imagem?”

- (ii) “Como as variáveis de propriedades da madeira se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos de Acácia negra quando processadas por meio da técnica multivariada de imagem?”
- (iii) “Como as variáveis dendrométricas e de propriedades da madeira se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos de Acácia negra quando processadas por meio da técnica multivariada de imagem? ”

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar o relacionamento das variáveis dendrométricas e de propriedade da madeira, utilizando a técnica de Análise multivariada de imagem, ao longo do ciclo de plantio e crescimento da acácia- negra.

### **2.2 Objetivos específicos**

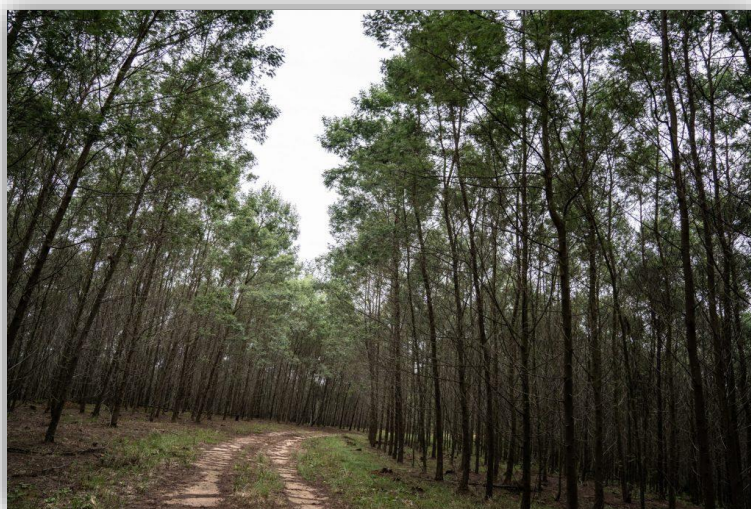
- (i) Reduzir a dimensão das variáveis originais em fatores para entender como elas se relacionam por meio da análise de imagem ao longo do ciclo da cultura.
- (ii) Verificar quais das variáveis dendrométricas são as mais importantes dentro dos fatores.
- (iii) Verificar quais das variáveis de propriedade da madeira são as mais importantes dentro dos fatores.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A espécie Acácia negra

A acácia-negra (*Acácia mearnsii* De Wild) é uma espécie arbórea originada do sudeste da Austrália (LORENZI, H. 2003). É uma árvore alta, com até 18 metros, folhas perenes, verde-escuras e pilosas, com sua floração ocorrendo de outubro a novembro (LORENZI, H. 2003; REMADE 2015) (FIGURA 1).

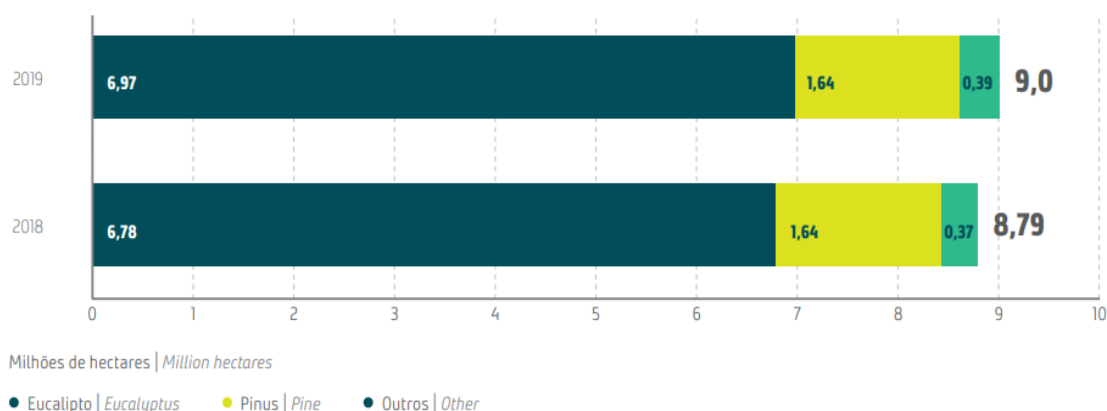
FIGURA 1 - PLANTIOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.



FONTE: Tanac (2021).

Em 2019, a área total de árvores plantadas somou 9,0 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação a 2018 (8,79 milhões de hectares) (IBÁ, 2020). Desse total, a maioria (77%) é representada pelo cultivo de eucalipto (6,97 milhões de hectares), 18% de pinus (1,64 milhão de hectares), e a Acácia está no grupo de espécies composto por seringueira, teca e paricá representando 0.39 milhões de hectares (FIGURA 2).

FIGURA 2 - ÁREA DE PLANTIOS COMERCIAIS EM HECTARES DAS PRINCIPAIS ESPÉCIES COMERCIAIS CULTIVADAS NO BRASIL.



FONTE: IBÁ (2020)

A acácia-negra se destaca no estado do Rio Grande do Sul, tendo quase a totalidade dos seus plantios do Brasil (IBÁ 2020). Nesse estado a espécie encontrou boas condições de adaptação desde a introdução das primeiras mudas em 1918 (AGEFLOR 2020). No estado do Rio Grande do Sul estão localizadas as duas principais empresas produtoras de *tanino*: a Seta S.A (Sociedade Extrativa de Tanino de Acácia) fundada em 1941, em Estância Velha, e a Tanac S.A., fundada em 1948, em Montenegro. Essas empresas suprem toda demanda do produto no mercado brasileiro e exportam o excedente (AGEFLOR, 2020).

O manejo florestal dos plantios de Acácia-negra apresenta uma rotação entre 6 e 7 anos, sem desbastes e podas, com um plantio de 2 mil a 2,5 mil árvores por hectare (COSTA, 2018; AGEFLOR 2020; IBÁ 2020). A condução dos plantios com foco na produção de produtos para suprir o mercado florestal envolve o acompanhamento de diferentes variáveis mensuradas diretamente na árvore em campo, além das variáveis obtidas a partir dessas.

As principais variáveis dendrométricas mensuradas nas árvores são o diâmetro a 1,30m do solo (dap), a altura total (h) e o comprimento da copa (c). O dap e a h são mensurados em todas as árvores pois, a partir deles é possível calcular o volume total de madeira do fuste, bem como extrapolá-lo para a área total de plantio

$$(v = \text{dap}^2 * \pi * 40000 \text{ h} * \text{ff}).$$

Estas variáveis são utilizadas para calcular o volume de madeira para diferentes porções do fuste que representam os diferentes produtos de madeira gerados (CAMPOR e LEITE 2016). Essas variáveis também são necessárias para quantificar a quantidade de biomassa produzida pelos diferentes componentes das

árvores (fuste e copa), pois são variáveis independentes das equações de biomassa. A biomassa das árvores é quantificada por serem recursos energéticos gerados pelos plantios (ELOY, E. 2015).

### **3.2 Análise multivariada de imagem**

A análise de imagem é adequada para problemas de análise de itens, onde o investigador tem certeza de que cada um dos fatores é representado por mais de um item (VELDMAN, 1967). A técnica de imagem utilizada é o método do eixo principal, que é baseado na suposição de que toda a variação contida na matriz de correlação pode ser considerada a partir da derivação das dimensões dos fatores das variáveis originais (VELDMAN, 1967). E seu principal objetivo é corrigir as porções únicas das variáveis.

A teoria da análise imagem define uma matriz chamada G somente em termos da matriz R. Essa matriz G contém covariâncias de imagem que representam a relação apenas entre as partes comuns da variação original, onde "comum" significa "compartilhada por duas ou mais variáveis" (VELDMAN, 1967). A quantidade total de variação comum para uma variável original é o quadrado da correlação múltipla obtida pela previsão de todas as outras variáveis no conjunto (VELDMAN, 1967).

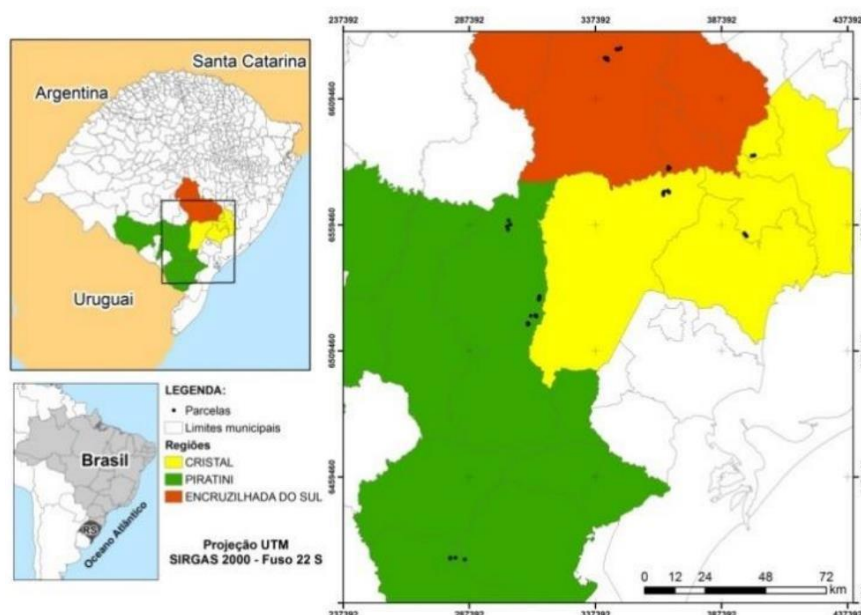
Esta proporção encontra-se no elemento diagonal de G para aquela variável. Todos os elementos fora da diagonal em G também são ajustados para refletir apenas a covariação comum. Ao contrário de outras tentativas de ajustar a matriz R, a matriz G retém as propriedades matemáticas que permitem que elas sejam completamente fatoradas em M raízes e vetores pelo mesmo procedimento de eixo principal.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

Os dados utilizados nesse estudo são provenientes de plantio de Acácia negra localizados nos municípios de Cristal, Encruzilhada do Sul e Piratini, situados no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 3)

Figura 3 - ÁREA DE PANTIO DE ACÁCIA-NEGRA NO RIO GRANDE DO SUL.



FONTE: BEHLING (2016).

Em cada um dos municípios foram estudados povoamentos de Acácia negra em quatro idades de crescimento. As idades foram organizadas em 4 classes, conforme Costa (2018) (Tabela 1).

TABELA 1 - IDADE DOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA EM CADA MUNICÍPIO E SUAS RESPECTIVAS CLASSES.

Local	Idades	Classe de idade
<b>Cristal</b>	1,75	Jovem
	2,75	Média inicial
	5	Média avançada
	10,08	Madura
<b>Encruzilhada do Sul</b>	1,83	Jovem
	3,08	Média inicial
	5,75	Média avançada
	10,75	Madura
<b>Piratini</b>	1	Jovem
	2,33	Média inicial
	5,25	Média avançada
	9,83	Madura

FONTE: Adaptado de Costa (2018).

#### 4.2 Coleta de dados

A coleta dos dados foi realizada através **de um** inventário florestal com a amostragem aleatória simples, em que foram instaladas 48 parcelas circulares de 400 de m<sup>2</sup>. Em cada povoamento, de cada classe de idade, foram instaladas 4 parcelas.

Na tabela 2 é apresentado o número de árvores avaliadas em cada classe de idade **para cada** município.

TABELA 2 - **NÚMERO** DE ÁRVORES AMOSTRADA EM CADA CLASSE IDADE E **LOCAL** NOS PLANTIOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL.

Classe de idade	Local			Total
	Cristal	Encruzilhada do Sul	Piratini	
Jovem	59	56	70	185
Média Inicial	46	67	48	161
Média avançada	43	48	59	150
Madura	57	59	50	166
<b>Total</b>	205	230	227	662

Em todas as árvores da parcela foram mensuradas 14 variáveis, classificadas em dois tipos: dendrométricas e de propriedades da madeira (Tabela 3). Todas as **variáveis coletadas foram utilizadas**.

TABELA 3 - DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS **PROVENIENTES** DOS POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL.

Variáveis	Descrição	Tipo da variável
dap (cm)	Diâmetro a 1,3 do solo	
h (m)	Altura total da árvore (do solo até o fim da copa)	
c (m)	Distância do primeiro galho vivo até o ápice da copa	
v (m <sup>3</sup> )	Volume do fuste	
<i>Bf</i> (kg)	Massa total matéria orgânica (madeira e casca)	Dendrometricas
<i>Bc</i> (kg)	Massa total matéria orgânica (copa )	
<i>Dc25</i> (cm)	diâmetro medido a 25% da altura total da copa	
<i>Dc50</i> (cm)	diâmetro medido a 50% da altura total da copa	
<i>Dc75</i> (cm)	diâmetro medido a 75% da altura total da copa	
<i>Dc95</i> (cm)	diâmetro medido a 95% da altura total da copa	
<i>DBf</i> cm <sup>3</sup>	densidade básica de todo o fuste da árvore	
<i>DBc</i> cm <sup>3</sup>	densidade básica dos galhos da copa da árvore	Propriedade da
<i>CC</i> %	percentual de carbono presente na copa da árvore	madeira
<i>CF</i> %	percentual de carbono presente no fuste da árvore	

Para a obtenção dos valores da variável *dap*, foi utilizado uma fita **dendrométrica**. Os valores de *h* e *c* foram obtidos com uma trena após a derrubada das árvores. Com o uso de uma balança digital de precisão, foram obtidos os valores da biomassa úmida do componente fuste e copa de todas as árvores da parcela.

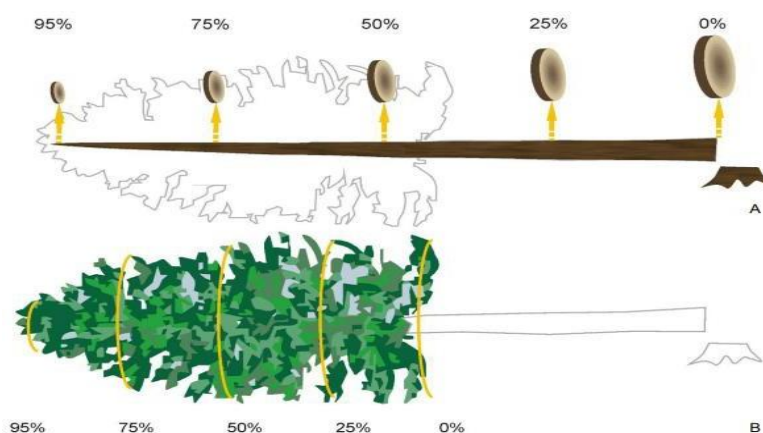
Para a aferição da biomassa seca, foram coletadas amostras na copa e no fuste das árvores. Essas amostras foram secas em estufa a 103 °C e, a biomassa foi calculada conforme a seguinte equação:

$$B_{ij} = \frac{MFT_{ij}}{MF_{ij}}$$

Em que:  $B_{ij}$  = biomassa seca do i-ésimo componente, para a j-ésima árvore (kg);  $MFT_{ij}$  = massa fresca total do i-ésimo componente para a j-ésima árvore(kg);  $MS_{ij}$  = massa seca da amostra do i-ésimo componente, para a j-ésima árvore (kg);  $MF_{ij}$  = massa fresca da amostra do i-ésimo componente, para a j-ésima árvore (kg).

Os diâmetros ao longo da copa ( $D_{c25}$ ,  $D_{c50}$ ,  $D_{c75}$  e  $D_{c95}$ ) foram medidos com trena, em duas posições opostas, também após a derrubada das árvores. Para o volume foi utilizado o método de Huber, aonde as medidas foram realizadas ao longo do fuste conforme a altura total em 5%, 15%, 25%,35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% (Figura 4).

FIGURA 4 - POSIÇÃO DAS COLETAS DAS AMOSTRAS DA BIOMASSA DO FUSTE E DA COPA DE ACÁCIA NEGRA, NO RIO GRANDE DO SUL.



Fonte: Costa (2018).

**O volume** foi calculado com a seguinte expressão:

$$V = AS \frac{1}{2} x L$$

Em que:  $V$  = volume com ou sem casca da seção, em  $m^3$ ;  $AS_{1/2}$  = área seccional com ou sem casca, obtida na metade do comprimento da seção, em  $m^2$ ; e  $L$  = comprimento da seção, em m.

Para a obtenção dos valores das densidades básica da copa ( $DBc$ ) e fuste ( $DBf$ ) foi seguida a norma técnica Techstreet ASTM D2395 (2014). Os corpos de prova foram retirados das **posições relativas** do fuste para a determinação da biomassa. **A seguir**, foram submersos em água até atingirem massa constante para a mensuração do volume saturado. Posteriormente, com uso de estufa a  $103^{\circ}\text{C}$ , os corpos de prova permaneceram na estufa **até apresentarem** massa constante para assim se determinar a massa seca. Para o cálculo da densidade básica foi utilizada a **seguinte formula**:

$$pb_{ij} = \frac{m_{oij}}{v_{\max ij}}$$

Onde:  $pb_{ij}$  = densidade básica do  $i$ -ésimo componente, para a  $j$ -ésima árvore ( $\text{g cm}^{-3}$ );  $m_{oij}$  = massa da amostra do  $i$ -ésimo componente, para a  $j$ -ésima árvore (g);  $v_{\max ij}$  = volume da amostra saturada em água, do  $i$ -ésimo componente para a  $j$ -ésima árvores ( $\text{cm}^3$ ).

A determinação dos valores das variáveis teor de carbono na copa (CC) e fuste (CF) foram **obtidas** no equipamento C-144 LECO. As amostras foram incineradas a  $1.000^{\circ}\text{C}$  e os teores de carbono foram quantificados pelo próprio equipamento.

### **Análise multivariada de Imagem**

Os cálculos foram realizados conforme a metodologia descrita por Veldman (1967). **A técnica de** imagem utilizada é o método do eixo principal, que é baseado na suposição de que toda a variação contida na matriz de correlação pode ser considerada a partir da derivação das dimensões dos fatores das variáveis originais. O processamento dos cálculos foi realizado com a linguagem de programação *Julia* e com o auxílio do Excel.

### **4.3 Correlação entre as variáveis**

Foram calculadas as matrizes de correlação das 14 variáveis para os dados totais e para cada classe de idade (Jovem, média inicial, média avançada e madura). Essa etapa foi realizada por que as estatísticas multivariadas exigem que os dados apresentem algum grau de correlação (FIELD, 2005; FERREIRA, 2018).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Matriz de correlação

#### 5.1.2 Dados gerais

As variáveis dendrométricas apresentaram alta correlação entre si, com exceção do comprimento da copa que teve baixa correlação com o dap e a altura (0.66 e 0.62, respectivamente) e com o v, Bf e Bc (0.55, 0.54 e 0.55, respectivamente) em relação as demais correlações observadas. As variáveis de propriedades da madeira (DBf, DBc, CC e CF) apresentaram baixa correlação entre si. As correlações entre as variáveis de propriedade da madeira e dendrométricas também foram baixas (Tabela 4).

TABELA 4 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DOS DADOS GERAIS PARA OS POVOAMENTOS DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

	dap	h	c	v	Bf	Bc	DBf	DBc	Dc25	Dc50	Dc75	Dc95	CC	CF
dap	1													
h	0.91	1												
c	0.66	0.62	1											
v	0.92	0.82	0.55	1										
Bf	0.90	0.80	0.54	0.98	1									
Bc	0.83	0.67	0.55	0.90	0.90	1								
DBf	0.59	0.67	0.40	0.56	0.60	0.46	1							
DBc	0.36	0.35	0.30	0.40	0.43	0.37	0.46	1						
Dc25	0.70	0.53	0.50	0.60	0.58	0.66	0.29	0.19	1					
Dc50	0.77	0.59	0.54	0.70	0.69	0.76	0.36	0.23	0.84	1				
Dc75	0.75	0.60	0.56	0.69	0.70	0.71	0.41	0.28	0.70	0.83	1			
Dc95	0.71	0.58	0.55	0.68	0.68	0.66	0.42	0.25	0.57	0.76	0.77	1		
CC	-0.37	-0.43	-0.39	-0.32	-0.32	-0.29	-0.30	-0.14	-0.30	-0.30	-0.29	-0.25	1	
CF	0.08	0.04	0.07	0.07	0.09	0.10	0.05	0.04	0.09	0.10	0.10	0.08	0.03	1

#### 5.1.3 Idade jovem

As variáveis dendrométricas apresentaram alta correlação entre si, com um aumento da correlação do comprimento da copa com as demais. **Entre as** variáveis de propriedades da madeira a correlação foi **baixa, entre** os dois grupos de variáveis, propriedades da madeira (DBf, DBc, CC e CF) e dendrométricas (dap, h, c, v, Bf, Bc, Dc25, Dc50, Dc75, Dc95) a correlação também foi baixa (TABELA 5).

TABELA 5 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM IDADE JOVEM DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

	<i>dap</i>	<i>h</i>	<i>c</i>	<i>v</i>	<i>Bf</i>	<i>Bc</i>	<i>DBf</i>	<i>DBc</i>	<i>Dc25</i>	<i>Dc50</i>	<i>Dc75</i>	<i>Dc95</i>	<i>CC</i>	<i>CF</i>
<i>dap</i>	1													
<i>h</i>	0.95	1												
<i>c</i>	0.83	0.85	1											
<i>v</i>	0.95	0.89	0.8	1										
<i>Bf</i>	0.95	0.9	0.81	0.98	1									
<i>Bc</i>	0.89	0.8	0.79	0.9	0.91	1								
<i>DBf</i>	0.02	-0.01	-0.03	0.01	0.03	0.09	1							
<i>DBc</i>	-0.15	-0.16	0.02	-0.13	-0.13	-0.07	0.05	1						
<i>Dc25</i>	0.83	0.75	0.69	0.79	0.8	0.82	0.11	-0.1	1					
<i>Dc50</i>	0.87	0.79	0.67	0.84	0.83	0.82	0.1	-0.15	0.88	1				
<i>Dc75</i>	0.85	0.79	0.65	0.81	0.81	0.79	0.1	-0.18	0.81	0.91	1			
<i>Dc95</i>	0.70	0.63	0.46	0.65	0.65	0.62	0.08	-0.24	0.69	0.77	0.87	1		
<i>CC</i>	0.12	0.12	0.15	0.14	0.12	0.07	-0.07	0.02	0.05	0.06	0.05	0.06	1	
<i>CF</i>	0.17	0.18	0.09	0.14	0.17	0.13	0.02	-0.07	0.18	0.19	0.22	0.21	0.14	1

#### 5.1.4 Média inicial

As variáveis dendrométricas apresentaram alta correlação entre si, diferentemente das variáveis de propriedades da madeira que apresentaram baixa correlação entre si (TABELA 6). **Entre** os dois grupos de variáveis a correlação também foi baixa.

TABELA 6 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM MÉDIA INICIAL DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

	<i>dap</i>	<i>h</i>	<i>c</i>	<i>v</i>	<i>Bf</i>	<i>Bc</i>	<i>DBf</i>	<i>DBc</i>	<i>Dc25</i>	<i>Dc50</i>	<i>Dc75</i>	<i>Dc95</i>	<i>CC</i>	<i>CF</i>
<i>dap</i>	1													
<i>h</i>	0.83	1												
<i>c</i>	0.78	0.71	1											
<i>v</i>	0.97	0.81	0.79	1										
<i>Bf</i>	0.96	0.78	0.78	0.98	1									
<i>Bc</i>	0.92	0.70	0.81	0.93	0.94	1								
<i>DBf</i>	0.20	0.15	0.17	0.17	0.23	0.24	1							
<i>DBc</i>	0.29	0.21	0.25	0.27	0.29	0.33	0.42	1						
<i>Dc25</i>	0.83	0.66	0.77	0.82	0.82	0.82	0.20	0.26	1					
<i>Dc50</i>	0.82	0.63	0.78	0.81	0.82	0.86	0.20	0.23	0.87	1				
<i>Dc75</i>	0.60	0.46	0.55	0.59	0.60	0.63	0.18	0.21	0.62	0.67	1			
<i>Dc95</i>	0.66	0.54	0.63	0.65	0.64	0.67	0.17	0.20	0.59	0.76	0.58	1		
<i>CC</i>	-0.31	-0.34	-0.44	-0.35	-0.35	-0.32	-0.10	0.06	-0.34	-0.34	-0.25	-0.34	1	
<i>CF</i>	0.06	-0.02	0.10	0.06	0.08	0.08	0.03	0.03	0.07	0.02	0.01	-0.08	0.03	1

### 5.1.5 Média avançada

Entre as variáveis dendrométricas a correlação **é alta**, exceção dos valores observados para a variável comprimento da copa (TABELA 7). Entre as variáveis de propriedades da madeira, a correlação **também é baixa, bem como a correlação entre os dois grupos de variáveis.**

TABELA 7 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM MÉDIA AVANÇADA DE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

	<i>dap</i>	<i>h</i>	<i>c</i>	<i>v</i>	<i>Bf</i>	<i>Bc</i>	<i>DBf</i>	<i>DBc</i>	<i>Dc25</i>	<i>Dc50</i>	<i>Dc75</i>	<i>Dc95</i>	<i>CC</i>	<i>CF</i>
<i>dap</i>	1													
<i>h</i>	0.86	1												
<i>c</i>	0.64	0.51	1											
<i>v</i>	0.96	0.83	0.56	1										
<i>Bf</i>	0.95	0.80	0.54	0.97	1									
<i>Bc</i>	0.89	0.73	0.56	0.91	0.91	1								
<i>DBf</i>	0.33	0.29	0.22	0.26	0.38	0.28	1							
<i>DBc</i>	0.34	0.33	0.22	0.33	0.34	0.39	0.32	1						
<i>Dc25</i>	0.75	0.53	0.56	0.68	0.71	0.68	0.28	0.31	1					
<i>Dc50</i>	0.77	0.53	0.55	0.73	0.76	0.75	0.26	0.30	0.83	1				
<i>Dc75</i>	0.75	0.52	0.61	0.69	0.72	0.74	0.29	0.32	0.69	0.87	1			
<i>Dc95</i>	0.56	0.35	0.53	0.53	0.56	0.54	0.22	0.16	0.40	0.60	0.73	1		
<i>CC</i>	0.02	0.12	-0.18	0.05	0.10	0.03	0.32	-0.01	-0.09	-0.05	-0.08	-0.05	1	
<i>CF</i>	0.09	0.02	0.10	0.04	0.07	-0.02	0.25	-0.08	0.03	0.12	0.17	0.16	0.11	1

### 5.1.6 Madura

A correlação entre as variáveis dendrométricas foi alta, com exceção da correlação com o comprimento da copa (TABELA 8). A redução da correlação do comprimento da copa com as demais variáveis dendrométricas observada na idade média inicial continuou na idade madura. Entre as variáveis de propriedades da madeira, a correlação também foi baixa, sendo o mesmo comportamento observado em todas as idades. E entre os dois grupos de variáveis a correlação também foi baixa, como observado em todas as idades.

TABELA 8. MATRIZ DE CORRELAÇÃO PARA OS POVOAMENTOS EM MADURADE ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

	<i>dap</i>	<i>h</i>	<i>c</i>	<i>v</i>	<i>Bf</i>	<i>Bc</i>	<i>DBf</i>	<i>DBc</i>	<i>Dc25</i>	<i>Dc50</i>	<i>Dc75</i>	<i>Dc95</i>	<i>CC</i>	<i>CF</i>
<i>dap</i>	1													
<i>h</i>	0.84	1												
<i>c</i>	0.26	0.3	1											
<i>v</i>	0.96	0.81	0.23	1										
<i>Bf</i>	0.96	0.79	0.24	0.98	1									
<i>Bc</i>	0.84	0.64	0.29	0.89	0.9	1								
<i>DBf</i>	0.3	0.39	0.11	0.24	0.3	0.24	1							
<i>DBc</i>	0.36	0.36	0.17	0.27	0.3	0.28	0.41	1						
<i>Dc25</i>	0.65	0.47	0.14	0.64	0.66	0.69	0.12	0.24	1					
<i>Dc50</i>	0.73	0.52	0.19	0.72	0.74	0.76	0.16	0.25	0.79	1				
<i>Dc75</i>	0.74	0.53	0.29	0.72	0.77	0.72	0.20	0.29	0.67	0.83	1			
<i>Dc95</i>	0.68	0.54	0.33	0.67	0.7	0.65	0.24	0.23	0.54	0.77	0.77	1		
<i>CC</i>	-0.06	-0.08	-0.19	-0.03	-0.05	-0.12	0.07	-0.03	-0.3	-0.19	-0.12	-0.02	1	
<i>CF</i>	0.13	0.12	0.08	0.12	0.16	0.19	0.03	0.16	0.11	0.15	0.12	0.07	-0.07	1

O comportamento das correlações entre as variáveis dendrométricas foi o mesmo nas idades jovens e média inicial. Na idade média avançada e madura, verificou-se que o comprimento da copa apresentou uma redução das suas correlações com as demais variáveis dendrométricas. Essa mudança no comportamento da correlação ocorreu devido a mudança do perfil da copa das árvores de acácia ao longo do ciclo da cultura.

Nas idades iniciais as árvores de acácia apresentam uma proporção de copa considerável em relação ao fuste. Mas com o passar dos anos o fator espaçamento proporciona um sombreamento de parte dessas copas ocasionando uma desrama dos galhos situados na porção da base da copa. Assim, ao longo do ciclo da cultura da acácia, a copa dessas árvores apresenta uma alteração de formato, o que justifica a mudança da correlação do comprimento da copa observada nesse estudo.

## 5.2 Matriz de carregamentos (loadings)

### 5.2.1 Dados gerais

A análise de imagem **extraiu** três fatores que explicam 89% da variância total que existe no conjunto total dos dados (14 variáveis) (TABELA 9). O fator 1, explicou 72% da variância total, e nele ficaram alocadas todas as variáveis dendrométricas, a densidade do fuste, densidade da copa, e o teor de carbono da

copa. O teor de carbono do fuste ficou alocado no fator 3, explicando 7% da variância total, pois foi a única carregada nesse fator.

As variáveis que apresentaram os maiores **carregamentos (loadings)** foram o dap, v, Bc, Bf, Dc75 e Dc95, todas variáveis dendrométricas, **que são alocadas** no fator 1.

TABELA 9 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) GERAL PARA O POVOAMENTO DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Variáveis	Fatores			Variância acumulada Explicada
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	
dap	0.97	0.12	-0.12	0.72
v	0.94	0.13	0.10	0.82
Bc	0.94	-0.07	0.08	0.89
Bf	0.93	0.16	0.08	
Dc75	0.93	-0.31	-0.09	
Dc95	0.92	-0.24	0.00	
h	0.90	0.31	-0.11	
c	0.90	0.04	-0.29	
Dc50	0.89	-0.37	-0.18	
Dc25	0.84	-0.44	-0.22	
DBf	0.80	0.44	0.17	
DBc	0.78	0.33	0.45	
CC	-0.79	-0.28	0.19	
CF	0.51	-0.51	0.62	

Nota-se que para os dados gerais a distribuição das **variáveis** nos fatores se altera ao **se proceder** a análise de fatores. Conforme os resultados apresentados por Martins (2012) em seu trabalho de conclusão de curso, com os mesmos dados, a análise de fatores resultou em 3 fatores que explicaram 73,98% da variância.

### 5.2.2 Idade jovem

Para as árvores da idade jovem, a análise de imagem resultou em três fatores que explicaram 91% da variância total que existe nas 14 variáveis (TABELA 10). O fator 1, explicou 69% da variância total, e nele **são** alocadas todas as variáveis dendrométricas, e o teor de carbono do fuste.

No fator 2 **são** alocadas as variáveis densidade básica do fuste (DBc) e o teor de carbono da copa (CC), as quais explicaram 15% da variância total. No agrupamento geral, **a DBf é alocada no fator 1 e o CC no fator 3.**

E no fator 3 ficou alocada apenas a densidade básica da copa (DBc), a qual explicou 7% da variância total. No agrupamento geral, essa variável estava alocada também no fator 1, junto com a densidade do fuste.

**Na idade jovem**, as variáveis que apresentaram os maiores carregamentos (loadings) foram o dap, Dc50, v, Bf, Bc, Dc75, Dc25, sendo todas variáveis dendrométricas e alocadas no fator1.

TABELA 10 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA IDADE JOVEM DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Variáveis	Fatores			Variância acumulada Explicada
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	
dap	0.98	0.12	0.02	0.69
Dc50	0.97	-0.15	0.08	0.84
v	0.97	0.15	0.06	0.91
Bf	0.96	0.21	0.07	
Bc	0.95	0.13	0.22	
Dc75	0.95	-0.14	-0.05	
Dc25	0.95	-0.08	0.19	
h	0.94	0.25	-0.02	
c	0.90	0.21	0.17	
Dc95	0.87	-0.33	-0.12	
CF	0.61	-0.48	-0.37	
DBf	0.22	-0.85	0.38	
CC	0.34	0.79	-0.27	
DBc	-0.46	0.34	0.75	

Conforme os resultados apresentados por Martins (2012), para a idade jovem, a análise de fatores proporcionou 4 fatores que explicaram 83,1% da variância total. **Assim, a** análise de imagem proporcionou um acréscimo de 7,9% de variância explicada com 1 fator a menos para isso.

Para Martins (2012) o carbono do fuste (CF) ficou carregado nos fatores2 e 3, com carregamentos (loadings) de -0,58 e 0.61, respectivamente. No presente trabalho essa variável ficou com o maior carregamento (loading) apenas no fator 3 (0.75).

### 5.2.3 Média inicial

Na idade média inicial, a análise de imagem resultou em três fatores que explicaram 89% da variância total que existe nas 14 variáveis (TABELA 11). O fator

1, explicou 72% da variância total, e nele ficaram alocadas todas as variáveis dendrométricas e o teor de carbono da copa.

No fator 2 **são** alocadas as variáveis densidade básica do fuste (DBf) e a densidade básica da copa (DBc), as quais explicaram 10% da variância total. Na idade jovem, essas duas variáveis **carregam** em fatores diferentes, sendo **no fator 2 e no fator 3**, respectivamente.

No fator 3 **é carregado** apenas o teor de **carbono de fuste**, o qual explicou 7% da variância total. Na idade jovem, essa variável estava alocada no fator 1, junto **às variáveis** dendrométricas.

As variáveis que apresentaram os maiores **carregamentos** (loadings) foram o Bc, dap, Bf, v, c, Dc25, Dc50 e Dc75, sendo todas variáveis dendrométricas e alocadas no fator 1.

TABELA 11 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA MÉDIA INICIAL DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Variáveis	Fatores			Variância acumulada explicada
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	
Bc	0.98	-0.05	0.07	0.72
dap	0.97	0.03	0.06	0.82
Bf	0.97	-0.01	0.10	0.89
v	0.97	0.00	0.10	
c	0.96	0.10	-0.07	
Dc25	0.96	0.04	0.05	
Dc50	0.95	0.07	-0.08	
Dc75	0.95	0.06	-0.19	
h	0.90	0.11	0.16	
Dc95	0.89	0.23	-0.15	
DBc	0.58	-0.62	-0.15	
DBf	0.47	-0.59	-0.55	
CF	0.22	-0.64	0.70	
CC	-0.70	-0.33	-0.21	

Nessa idade, conforme Martins (2021) a análise de fatores gerou 3 fatores que explicaram 74,9% da variância total. **A análise de imagem** proporcionou um aumento de 14,1% de variância explicada com o mesmo número de fatores na idade média inicial.

O comportamento das variáveis foi semelhante com as duas abordagens, no entanto, **o teor de carbono** da copa (CC) é alocada no primeiro fator, junto com as dendrométricas. **Martins 2021** (análise de fatores) diz que essa variável não apresentou o maior carregamento entre os fatores responsáveis por explicaram

74,9% da variância total.

#### 5.2.4 Média avançada

Para a idade média avançada, a análise de imagem resultou em três fatores que explicaram 87% da variância total que existe nas 14 variáveis (TABELA 12). O fator 1, explicou 66% da variância total, e nele ficaram alocadas todas as variáveis dendrométricas e a densidade básica da copa (DBc).

No fator 2 **são** alocadas as variáveis densidade básica do fuste (DBf) e o teor de carbono da copa (CC), as quais explicaram 12% da variância total. Na idade média inicial o DBf foi alocado nesse mesmo fator. E o CC na idade média inicial foi alocado no fator 1, junto com as dendrométricas, **na idade** jovem esteve alocado no fator junto com a DBF. na idade média avançada ~~se~~ repete o comportamento da idade jovem.

No fator 3 ficou alocada apenas a variável teor de carbono do fuste, que explicou 9% da variância total. Essa variável esteve alocada no mesmo fator na idade média **inicial, na idade** jovem esteve no fator 1 junto com as dendrométricas.

Nesse caso, as variáveis que apresentaram os maiores **carregamentos** (loadings) foram o dap, Bc, Bf, v, sendo todas variáveis dendrométricas e alocadas no fator 1. Nessa idade, observa-se o CC com um carregamento alto no fator 2, **o que não foi verificado anteriormente.**

TABELA 12 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA MÉDIA AVANÇADA DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Variáveis	Fatores			Variância acumulada explicada
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	
dap	-0.97	0.00	-0.18	0.66
Bc	-0.96	-0.04	-0.17	0.78
Bf	-0.96	0.07	-0.20	0.87
v	-0.94	0.01	-0.25	
Dc50	-0.92	-0.18	0.15	
Dc75	-0.91	-0.16	0.25	
Dc25	-0.90	-0.15	0.09	
c	-0.88	-0.23	0.12	
h	-0.87	0.09	-0.27	
Dc95	-0.82	-0.11	0.43	
DBc	-0.74	0.17	-0.25	
DBf	-0.53	0.60	0.16	
CC	-0.04	0.93	-0.23	
CF	-0.27	0.44	0.78	

Conforme os resultados apresentados por Martins (2012), para a idade média avançada, a análise de fatores gerou 3 fatores que explicaram 72.6% da variância total. **A análise de** imagem proporcionou um acréscimo de 14.4% de variância explicada para um mesmo número de fatores. A distribuição das variáveis entre os fatores foi semelhante ao observado com a análise de imagem.

No entanto, nessa idade a análise de imagem apresentou um carregamento definido para a densidade básica da copa (BDc) no fator 1. **Segundo** Martins (2021), na análise de fatores essa variável não carregou entre os fatores responsáveis pela explicação majoritária da variância total.

### 5.2.5 Idade Madura

Para a idade madura, a análise de imagem resultou em três fatores que explicaram 85% da variância total que existe nas 14 variáveis (TABELA 13). O fator 1, explicou 65% da variância total, e nele ficaram alocadas todas as variáveis dendrométricas e a densidade básica da copa (DBc), **o mesmo ocorre na idade média avançada.**

No fator 2 **são** alocadas as variáveis **teor de carbono do fuste (CF) e teor de carbono da copa (CC)**, as quais explicaram 10% da variância total. **Sendo a** primeira vez que as duas variáveis ficaram juntas em um mesmo fator. **No fator 3 é**

**alocada** apenas a densidade básica do fuste, **que explica** 10% da variância total.

**Na idade madura**, as variáveis que apresentaram os maiores **carregamentos** (loadings) foram o dap, Bf, v, Bc, sendo todas variáveis dendrométricas e alocadas no fator 1.

TABELA 13 - MATRIZ DE CARREGAMENTO (LOADINGS) DOS POVOAMENTOS NA MADURA DA ACÁCIA NEGRA, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Variáveis	Fatores			Variância acumulada explicada
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	
dap	0.95	-0.20	-0.10	0.65
Bf	0.95	-0.25	-0.07	0.75
v	0.94	-0.21	-0.06	0.85
Bc	0.94	-0.18	0.12	
Dc75	0.93	-0.04	0.20	
Dc95	0.91	-0.08	0.14	
Dc50	0.90	-0.06	0.28	
Dc25	0.88	0.01	0.38	
h	0.86	-0.23	-0.30	
DBc	0.67	0.31	-0.42	
c	0.57	0.29	-0.21	
DBf	0.55	0.48	-0.60	
CF	0.51	0.65	0.06	
CC	-0.28	-0.64	-0.59	

Para Martins (MARTINS, 2021) nessa idade, a análise de fatores gerou 3 fatores que explicaram 69.6% da variância total. **A análise** de imagem proporcionou um aumento de 15,7% de variância explicada com o mesmo número de fatores na **idade madura**.

O padrão de distribuição das variáveis foi diferente do observado para a análise de fatores. Com a análise de fatores, no fator 2 **se** agruparam as variáveis Dc95, DBc enquanto com a análise de imagem **são**, CF e o CC. **No fator 3 é alocada** a variável CC enquanto com a análise de imagem **a variável DBf**. **Na análise** de fatores as variáveis DBf e CF não foram carregadas nos 3 fatores selecionados (MARTINS, 2021).

**No que diz respeito às perguntas formuladas, são apresentadas as respostas obtidas nas análises efetuadas.**

**1-** Como as variáveis dendrométricas se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos da Acácia negra **quando analisadas por meio da análise** multivariada de imagem?

Observou-se que ao longo de todas as **idades avaliadas que** as variáveis

dendrométricas permaneceram carregadas sempre no mesmo fator (1), e que todas as idades, as variáveis que apresentaram os maiores carregamentos (loadings) foram o dap, v, Bc e Bf. **Conclui-se que**, para se realizar inferências acerca do porte das árvores, entre as 10 variáveis dendrométricas, o dap, v, Bc e Bf são as mais relevantes.

**2** - Como as variáveis de propriedades da madeira se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos de Acácia negra quando analisadas por meio da técnica multivariada de imagem?

Ao longo das idades, as variáveis referentes às propriedades da madeira (CF, CC, DBf e DBc) carregaram em diferentes fatores (Tabela 14).

TABELA 14 - FATORES ONDE AS VARIÁVEIS DE PROPRIEDADES DA MADEIRA FORAM CARREGADAS COM A ANÁLISE MULTIVARIADA DE IMAGEM.

Povoamento	Fator 1 (Dendrométricas)	Fator 2	Fator 3
Jovem	CF <sub>(0.61)</sub>	CC <sub>(0.79)</sub> e DBf <sub>(-0.85)</sub>	DBc <sub>(0.75)</sub>
Média Inicial	CC <sub>(-0.70)</sub>	DBc <sub>(-0.62)</sub> e DBf <sub>(-0.59)</sub>	CF <sub>(0.70)</sub>
Média avançada	DBc <sub>(-0.74)</sub>	DBf <sub>(0.60)</sub> e CC <sub>(0.93)</sub>	CF <sub>(0.70)</sub>
Madura	DBc <sub>(0.67)</sub>	CF <sub>(0.65)</sub> e CC <sub>(-0.64)</sub>	DBf <sub>(0.60)</sub>

As variáveis mais importantes variaram conforme a idade do povoamento, sendo que na idade jovem a densidade básica do fuste e o carbono da copa tiveram os maiores carregamentos (loadings), sendo as mais importantes, explicando 15% da variância total. Na idade média inicial a variável com o maior carregamento (loadings) foi o carbono do fuste, responsável por explicar 7% da variância total. Na idade média avançada, o carbono da copa apresentou o maior carregamento. Na idade madura, os carregamentos (loadings) foram semelhantes para todas as variáveis de propriedade da madeira, e a porção de variância explicada pelas variáveis carregadas foi a mesma (10%).

Observou-se uma variação da variável com maior carregamento entre as idades. Essa variação ocorreu **devido ao fato das variáveis de propriedades da madeira se distinguirem ao longo do ciclo de crescimento. Nas idades** da vida das acácias, determinadas variáveis estão mais ou menos associadas entre si. Essa mudança no grau de associação entre as variáveis faz com que carreguem em fatores diferentes ao longo do ciclo da rotação.

**3** - Como as variáveis dendrométricas e de propriedades da madeira se relacionam ao longo do ciclo de cultivo dos povoamentos de Acácia negra **quando analisadas por meio da técnica** multivariada de imagem?

Ao longo das **idades** as variáveis dendrométricas **carregaram em fatores diferentes das variáveis** de propriedades da madeira, indicando que não existe uma associação muito clara entre os dois grupos de variáveis. Isso sugere que ambos os grupos de variáveis explicam porções diferentes da variância total existente.

**Observou-se** que as variáveis dendrométricas **tiveram** uma relação mais estável entre si ao longo do ciclo do cultivo da espécie. **Isto não ocorre** para as variáveis de propriedades da madeira, as quais alteram seu grau de associação ao longo do cultivo.

## 6 CONCLUSÃO

As variáveis dendrométricas e as variáveis de propriedades da madeira explicam porções de variância diferentes (diferentes aspectos do povoamento) ao longo de todas as idades do povoamento.

As variáveis dendrométricas mais importantes são o dap,  $v$ , Bf e Bc ao longo de todas as idades do povoamento de Acácia negra.

As variáveis de propriedade da madeira mais importantes variaram conforme a idade. Assim, recomenda-se a mensuração das seguintes variáveis em cada idade: jovem: densidade básica do fuste; média inicial: carbono do fuste; média avançada: carbono da copa e madura: carbono do fuste.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro, Interciência, 2010.
- ELOY, E. **Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. 157f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- CAMPOS, J. C. C. & Leite, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2002. 407 p.
- SOARES, C. P. B. et al. **Dendrometria e inventário florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2012. 272 p.
- HAIR JR. JOSEPH F. **Análise multivariada de dados**. 6º. ed. Bookman, 2009.
- LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003.368 p.
- SBS. **Fatos e Números do Brasil Florestal**. Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2006.
- IBÁ. RELATÓRIO ANUAL Annual Report. , 2020. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba 2020.pdf>>. Acesso em: 25/02/2022.
- FIELD, A. **Discovering Statistics Using SPSS**. London: Sage Publications, 2005; 780p.
- FERREIRA, D.F. **Estatística Multivariada**. Lavras: UFLA, 2018, 624p.
- CALDEIRA, M.V.W. et al. **Conteúdo e exportação de micronutrientes em acácia-negra (Acacia mearnsii De Wild.)**. Procedência Batemans Bay (Austrália), Revista Árvore, v.27, n.1, p.9-14, 2006.

BENTLER, P.M. 1980. **Multivariate Analysis with latent variables: Causal Modeling**. *Annual review of psychology* 31: 419-56.

PLEWIS, I, 2001. **Explanatory Models for Relating Growth Processes**. *Multivariate Behavioral Research*.

Revista Conhecimento Online, Novo Hamburgo, a. 7, v. 1, p. 2-7, abr. 2015  
periodicos.feevale.br

Relatório 2019, **IBA RELATORIO ANUAL 2019**. Disponível em:  
<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>

**Revista da madeira – edição nº89, 2005**. Disponível em:  
[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=729&subject=Esp%C3%](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=729&subject=Esp%C3%)

**O Setor De Base Florestal No Rio Grande Do Sul, 2020**. Disponível em:  
<http://www.ageflor.com.br/noticias/wp-content/uploads/2020/12/O-Setor-de-Base-Florestal-no-Rio-Grande-do-Sul-2020-ano-base-2019.pdf>

Relatório 2020, **IBA RELATORIO ANUAL 2020**. Disponível em:  
<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>

**Desenvolvimento e nutrição de mudas de acácia-negra (Acácia mearnsii de Wild. De Wild.) em substratos a base de cama de aviário, 2018**. Disponível em:  
<https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9018>

MARTINS, J. F. CORTE, A. P. **Carbono nos Componentes da Biomassa de Acácia Mearnsii de Wild, 2020**. Disponível em:  
<https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/67131>

CASTILHOS, Z. M. BARRO, R. S. **Produção Arbórea e Animal em Sistema Silvopastoril com Acácia-negra** Disponível em:  
<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/44/49>