

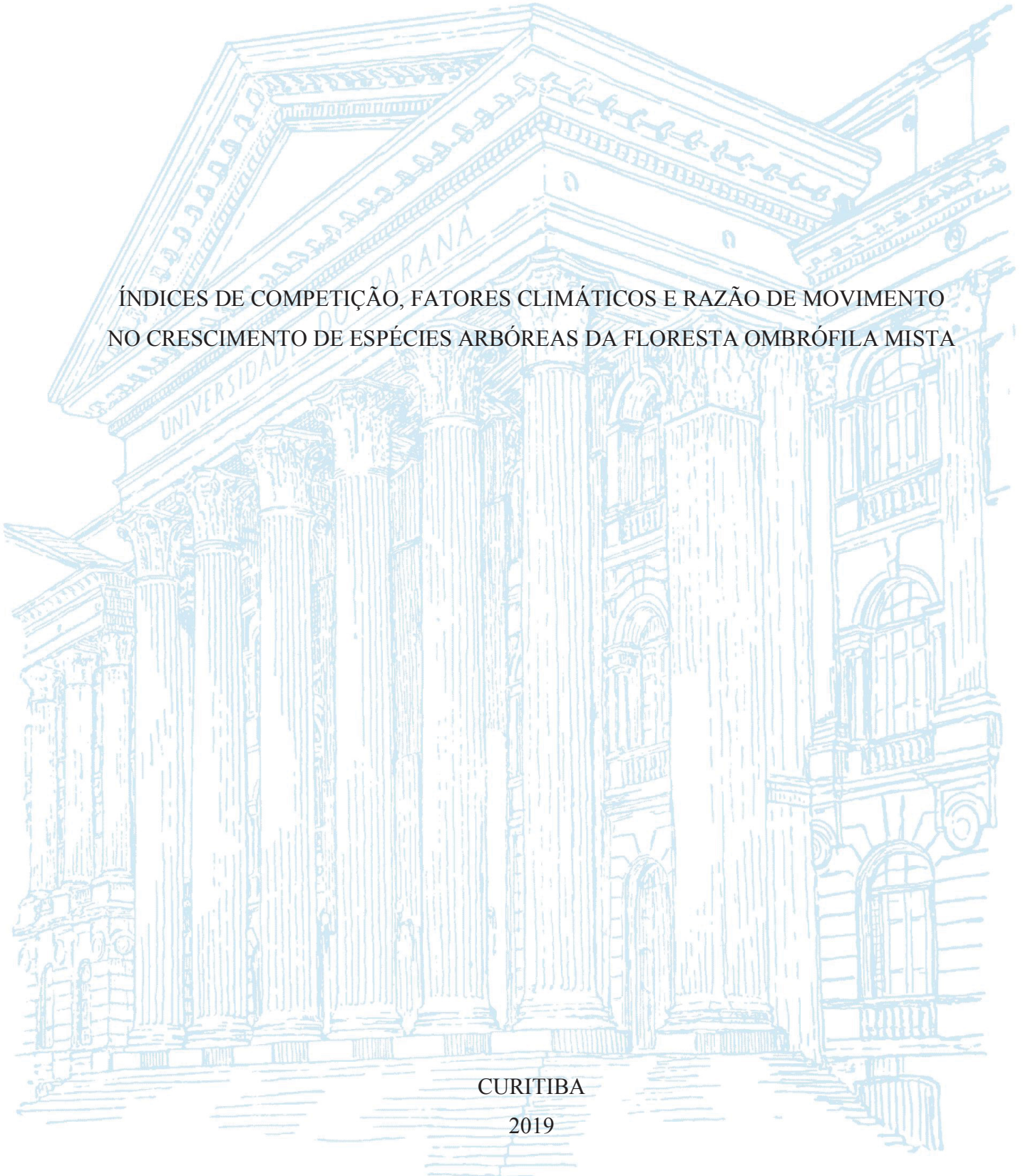
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CRISTINE TAGLIAPIETRA SCHONS

ÍNDICES DE COMPETIÇÃO, FATORES CLIMÁTICOS E RAZÃO DE MOVIMENTO
NO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

CURITIBA

2019



CRISTINE TAGLIAPIETRA SCHONS

ÍNDICES DE COMPETIÇÃO, FATORES CLIMÁTICOS E RAZÃO DE MOVIMENTO
NO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

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

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientadores: Prof. Dr. Rodrigo Geroni
Mendes Nascimento
Prof. Dr. Tomaz Longhi
Santos

CURITIBA

2019

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

Schons, Cristine Tagliapietra

Índices de competição, fatores climáticos e razão de movimento no crescimento de espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista / Cristine Tagliapietra Schons. – Curitiba, 2019.

112 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Coorientadores: Prof. Dr. Rodrigo Geroni Mendes Nascimento

Prof. Dr. Tomaz Longhi Santos

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 25/02/2019.

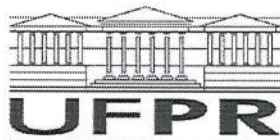
Área de concentração: Manejo Florestal.

1. Dendrocronologia - Paraná. 2. Árvores - Crescimento. 3. Mata Atlântica - Paraná. 4. Mudanças climáticas. 5. Manejo florestal. 6. Teses. I. Figueiredo Filho, Afonso. II. Nascimento, Rodrigo Geroni Mendes. III. Santos, Tomaz Longhi. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.561.24(816.2)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS
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 em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CRISTINE TAGLIAPIETRA SCHONS** intitulada: **Índices de competição, fatores climáticos e razão de movimento no crescimento de espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre 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, 25 de Fevereiro de 2019.


AFONSO FIGUEIREDO FILHO
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


LUIZ MARCELO BRUM ROSSI
Avaliador Externo (EF)


PAULO CÉSAR BOTOZZO
Avaliador Externo (EMBRAPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar e iluminar minha caminhada.

Aos meus pais, Alfredo e Conceição e ao meu irmão Lorenzo. Vocês são meu porto seguro de amor, diálogo, carinho e compreensão. Sou grata pela educação, pelo exemplo, pelos cuidados e por todo incentivo. Amo vocês incondicionalmente.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho, pelo total apoio, liberdade e confiança a mim depositada. Pelas valiosas contribuições, pela oportunidade de crescimento e pelo estímulo para continuar progredindo nessa área.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Tomaz Longhi Santos e Prof. Dr. Rodrigo Geroni Nascimento, pela disposição para me auxiliar, e ao valioso compartilhamento de seus conhecimentos ao longo deste período.

Ao professor Evandro Zanini Righi, *in memoriam*, pelo incentivo à pesquisa, pelos ensinamentos, profissionais e pessoais, que levarei ao longo de toda vida, e por toda motivação que me impulsionaram até este momento.

Às pessoas que conheci ao longo dessa jornada, com os quais muito aprendi. Aos colegas do Laboratório de Manejo Florestal pela convivência diária, pela amizade, pelo café e pela sempre pronta disposição em me auxiliar.

Àquelas pessoas que de alguma maneira causaram determinadas mudanças no meu modo de ver as coisas. Ao professor Franklin pelo diálogo e a toda turma do laboratório de Ecologia Florestal por me acolherem, especialmente durante o período de demarcação dos anéis de crescimento.

À UNICENTRO e à turma de Irati, que me recebeu e auxiliou as coletas dendrocronológicas serem possíveis na FLONA de Irati. À Carla, ao Emílio, ao Márcio, ao Everton, à Karina e todos aqueles que dispuseram tempo para me ajudar.

Aos professores da Pós-Graduação da UFPR pelos preciosos ensinamentos.

Aos professores e colegas da Universidade Federal de Santa Maria, que me proporcionaram a base da Engenharia Florestal e que seguem compartilhando muito comigo.

Aos amigos que fiz em Curitiba, em especial à Franciele e ao Franciel, por tudo que compartilhamos ao longo deste período. Às amigas da vida toda, Juliana e Nathalie, que sempre serão minhas referências, de perto ou de longe. Ao Stephan, pelo companheirismo, pelas ideias que compartilhamos, e por me instigar para o mundo.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), na pessoa do Edmirson Borrozzino, pela pronta disponibilização dos dados meteorológicos da região de Fernandes Pinheiro.

À Universidade Federal do Paraná e ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade deste mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A complexidade da dinâmica de florestas tropicais e subtropicais, devido à heterogeneidade que apresentam, requer investigações detalhadas pensando em um planejamento eficiente da utilização sustentável de seus recursos, que assegure a conservação destes ecossistemas. A influência de fatores do meio nesta dinâmica, no entanto, ainda é pouco conhecida. Esta pesquisa teve como objetivo investigar padrões de crescimento de longo prazo das espécies *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* e *Ocotea odorifera* em Floresta Ombrófila Mista e sua relação com fatores climáticos e com a competição, bem como apresentar possíveis estratégias para o manejo sustentável dessas espécies. O local de estudo está inserido em um fragmento da Floresta Ombrófila Mista, no domínio da Floresta Nacional de Irati, estado do Paraná, Brasil. Na área, parcelas permanentes foram instaladas no ano 2002 e têm sido remeidas a cada três anos. Adicionalmente, em 2017, coletas dendrocronológicas foram realizadas, amostrando-se o lenho de 30 árvores de cada espécie selecionada pelo método não destrutivo (rolos de incremento). Para representação das interações competitivas, e analisar sua relação com o crescimento, sete índices de competição independentes da distância foram avaliados. Para relações crescimento-clima, os dados provenientes da mensuração dos anéis de crescimento foram datados, padronizados e relacionados com variáveis climáticas mensais e por estação. Definições de possíveis critérios de manejo sustentável foram realizadas com base na análise da movimentação entre classes diamétricas e no ponto de maximização do incremento médio anual. Os índices de competição avaliados apresentaram boa correlação com o incremento periódico anual em área transversal, com destaque para o índice de Lorimer, e sugeriram espécies com crescimento mais e menos sensível às variações de competição. As cronologias de anéis de crescimento construídas atenderam aos princípios dendrocronológicos, com exceção da cronologia de *O. odorifera*, a qual não pode ser gerada. Em relação ao clima, temperatura máxima, umidade relativa e insolação estão entre os fatores mais limitantes para o crescimento de *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, respectivamente, variáveis estas importantes para a flexibilização de modelos de crescimento para as espécies, especialmente em um cenário de mudanças climáticas. *A. angustifolia* é a espécie que apresentou, em média, as maiores taxas de incremento, os indivíduos de idades mais avançadas e o menor tempo de passagem entre classes. O cruzamento das curvas de Incremento Corrente Anual (ICA) e Incremento Médio Anual (IMA) ocorreu mais cedo para *O. puberula*, seguido por *C. fissilis* e *A. angustifolia*, coerentemente com relação ao grupo ecológico a que pertencem. Ciclos de corte de curto-médio prazo foram identificados como possíveis de serem considerados, devendo-se necessariamente ponderar, no entanto, quanto ao recrutamento e distribuição diamétrica dos indivíduos de cada espécie ao longo do tempo.

Palavras-chave: Dendrocronologia. Dinâmica de crescimento. Floresta com Araucária.
Manejo florestal.

ABSTRACT

The complexity of tropical and subtropical forests dynamics, due to the heterogeneity they present, requires detailed investigations to ensure efficient planning of the sustainable use of their resources and the conservation of these ecosystems. The environmental influence on this dynamics, however, is not well known. In this study we aimed to investigate the long-term growth patterns of *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* and *Ocotea odorifera* species in a Mixed Ombrophilous Forest and its relationship with climatic and competition factors, as well as to present possible strategies for sustainable management. The study site is a Mixed Ombrophilous Forest fragment, in the Irati National Forest, Paraná state, Brazil. In the area, permanent plots were established in 2002 and have been remeasured every three years. In addition, in 2017, dendrochronological collections were performed, and 30 trees of each species were sampled by the non-destructive method (increment cores). In order to represent the competitive interactions and to analyze its relation to growth, seven distance-independent competition indices were evaluated. For growth-climate relations, the tree rings measurements data were dated, standardized and related to monthly and seasonal climatic variables. Possible sustainable management criteria definitions were carried out based on the movement through diametric classes and the mean annual increment maximization analysis. The competition indices evaluated showed a good correlation with the periodic annual increment in individual basal area, especially the Lorimer index, and suggested species more and less sensitive to competition variations. The tree rings chronologies have reached the dendrochronological principles, with the exception of *O. odorifera*'s chronology, which cannot be generated. Related to climate, maximum temperature, relative humidity and insolation are the most limiting factors for the *A. angustifolia*, *C. fissilis* and *O. puberula* growth, respectively, which are important variables for the growth models flexibilization for the species, especially in a climate change scenario. *A. angustifolia* is the species with, on average, the highest growth rates, the oldest trees, and the shortest passage time through the classes. The crossing of Current Annual Increment (CAI) and Mean Annual Increment (MAI) curves occurred earlier for *O. puberula*, followed by *C. fissilis* and *A. angustifolia*, coherently regarding to the ecological group they belong to. Short-medium-term cutting cycles were identified as possible to be considered, however, it is necessary to take into account the trees recruitment and diametrical distribution of each species over time.

Keywords: Dendrochronology. Growth dynamics. Araucaria forest. Forest management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2 METODOLOGIA GERAL	15
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	15
2.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES	18
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO I - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO EM NÍVEL DE ÁRVORE INDIVIDUAL PARA ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	24
RESUMO	24
ABSTRACT	25
1 INTRODUÇÃO	26
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 ESTRUTURA DIAMÉTRICA.....	28
2.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	28
2.3 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	29
2.4 ANÁLISE DA COMPETIÇÃO.....	30
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.1 ESTRUTURA DIAMÉTRICA E INCREMENTO PERIÓDICO	31
3.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO	32
3.3 ANÁLISE DA COMPETIÇÃO.....	38
4 CONCLUSÕES	41
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	46
RESUMO	46
ABSTRACT	47
1 INTRODUÇÃO	48
2 MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES	50
2.1.1 <i>Araucaria angustifolia</i>	50

2.1.2 <i>Cedrela fissilis</i>	50
2.1.3 <i>Ocotea puberula</i>	51
2.1.4 <i>Ocotea odorifera</i>	51
2.2 ÁRVORES-AMOSTRA E PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS	52
2.3 OBTENÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS	53
2.4 ANÁLISES DENDROCLIMÁTICAS	54
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
3.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS	56
3.2 CONSTRUÇÃO DAS CRONOLOGIAS	57
3.3 ANÁLISES DENDROCLIMÁTICAS	63
4 CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS.....	70
ANEXO A.....	74
ANEXO B.....	76
ANEXO C.....	78
CAPÍTULO III - PADRÕES DE CRESCIMENTO E RAZÃO DE MOVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	80
RESUMO	80
ABSTRACT	81
1 INTRODUÇÃO.....	82
2 MATERIAL E MÉTODOS	84
2.1 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO	84
2.2 RAZÃO DE MOVIMENTO (TEMPO DE PASSAGEM ENTRE CLASSES)	84
2.3 AJUSTE DO MODELO CHAPMAN-RICHARDS.....	85
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
3.1 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO	86
3.2 RAZÃO DE MOVIMENTO	88
3.3 AJUSTE CHAPMAN-RICHARDS.....	91
4 CONCLUSÕES	95
REFERÊNCIAS.....	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	99
REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta com Araucária, é uma importante unidade fitoecológica do Sul do Brasil, formada pela mistura de floras de origens tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), em marcada relevância fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), em conjunto com outras espécies de grande valor ecológico e potencial econômico (RODERJAN et al., 2002). O processo de antropização ocorrido no último século, no entanto, promoveu a degradação da maior parte desta tipologia, seja pelo corte raso ou supressão parcial, para dar espaço a outros usos do solo.

No início do século XX, a ocorrência dessa unidade era de 200.000 km². Desse total, pouco menos de 40% (74.000 km²) ocorriam no estado do Paraná; 25% (46.000) no estado do Rio Grande do Sul; 23% (43.000 km²) em Santa Catarina e com menor representatividade os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo (CARVALHO, 2003). Após intensa exploração no primeiro ciclo econômico ocorrido no Sul do Brasil, estima-se que as Florestas com Araucária tenham sido drasticamente reduzidas. Estimativas feitas em 2001 apontaram que o total de remanescentes da tipologia representava cerca de 25% de sua cobertura original, distribuídos entre formações em estágio inicial, médio e avançado de sucessão (SANQUETTA; MATTEI, 2006). Estimativas mais recentes apontam para um total de 32,62% de área remanescente de Floresta Ombrófila Mista em relação à sua cobertura original (ACCIOLY, 2013), representando os últimos remanescentes da biodiversidade desta unidade fitoecológica.

Dentre as razões atribuídas à redução das Florestas com Araucária e fim do ciclo madeireiro, cabe destacar que à época as explorações não eram definidas visando garantias de ciclos futuros, mas visavam atender apenas a demanda presente, o que comprometeu a sustentabilidade (RODRIGUES, 2016). Neste contexto, verifica-se uma grande lacuna no conhecimento a respeito do futuro dos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista. Conhecer o ritmo de crescimento de suas espécies e a dinâmica da floresta é uma necessidade permanente de investigação para que as Florestas com Araucária sejam conservadas.

A heterogeneidade desta floresta requer investigações detalhadas, devido às diferenças existentes quanto às propriedades de cada espécie. Além disso, em conjunto com as características das espécies, o crescimento das árvores é influenciado pela interação com o meio, e este caracterizado por um conjunto de fatores, dentre eles fatores climáticos (temperatura, precipitação e insolação), fatores pedológicos (características físicas e químicas,

umidade e microrganismos), características topográficas (inclinação, elevação e aspecto) e competição (influência de outras árvores, sub-bosque e animais) (PRODAN et al., 1997).

A competição é um fator de destaque neste contexto, desempenhando um papel significativo na dinâmica das florestas, já que a estrutura da comunidade vegetal é moldada pela interação competitiva entre os indivíduos (HUI et al., 2018). No sentido de manter a complexidade estrutural e composicional nas florestas, entender como as árvores vizinhas interagem em uma comunidade florestal é crucial tanto para o manejo florestal quanto para a conservação das florestas (PRETZSCH, 2009; BOYDEN et al., 2012; HUI et al., 2018).

Em um cenário de mudanças climáticas futuras, a análise da dinâmica das populações relacionada aos fatores do clima também toma importância. Registros meteorológicos de longo prazo vêm demonstrando um aumento da temperatura média do ar durante as últimas décadas e modelos climáticos recentes preveem um aumento adicional da temperatura média do ar na superfície da Terra nos próximos anos (IPCC, 2018). Apesar disso, os métodos atuais de descrição de crescimento não preveem mudanças na curva de crescimento em decorrência de variações do clima, as quais são importantes causas para maior ou menor desenvolvimento das espécies (CASTRO NETO, 2015).

Claramente, para este tipo de investigações, informações de longo prazo sobre o crescimento das espécies arbóreas são necessárias. Essas informações de crescimento, em geral, são oriundas a partir de inventário em parcelas permanentes e/ou de dados dendrocronológicos (análise de tronco). Uma das vantagens de obtenção de dados por meio de parcelas permanentes está em capturar informações relacionadas à estrutura da floresta (ROSSI et al., 2007). Apesar de sua importância na região Sul do Brasil, medidas efetivas para realizar estudos sobre a dinâmica na Floresta Ombrófila Mista ocorreram apenas no final da década de 1970 e mais incisivamente nas décadas de 1980 e 1990 (FIGUEIREDO FILHO et al. 2010).

Neste espaço, a dendrocronologia entra como uma ferramenta com potencial de resposta rápida (MATTOS et al., 2011), permitindo reconstruções de longo prazo das taxas de crescimento e da idade das árvores, a partir da análise dos anéis de crescimento. Nas últimas décadas, estudos em regiões tropicais e subtropicais investigando diferentes espécies quanto ao seu potencial dendrocronológico (por exemplo: presença de anéis de crescimento visíveis, anualidade de formação, respostas às variações do ambiente, etc.) têm ganhado evidência (DÜNISCH et al., 2003; SCHÖNGART et al., 2007; 2015; BRIENEN; ZUIDEMA, 2006a; MATTOS et al., 2007; ANDREACCI et al., 2014; LONGHI-SANTOS, 2017), corroborando

com a potencialidade do uso da dendrocronologia na investigação das relações crescimento-ambiente.

Ademais, investigações a respeito de padrões de crescimento de longo prazo, da idade e da movimentação das árvores através das classes de diâmetro têm o intuito de reunir informações sobre a dinâmica florestal (LONGHI-SANTOS, 2017), contribuindo para a conservação das espécies. A definição do tempo médio de passagem entre classe pode ser associada à definição de possíveis ciclos de intervenção na floresta (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006a; SCHONGART et al., 2015; MIRANDA et al., 2017), subsidiando definições de manejo sustentável.

Diante do exposto, o foco principal desta pesquisa foi investigar relações do crescimento com variáveis que representam a competição e variáveis climáticas, bem como obter informações a respeito da movimentação entre classes diamétricas de espécies da Floresta Ombrófila Mista, e está subdividida em 3 capítulos:

O primeiro capítulo intitulado “Índices de competição em nível de árvore individual para espécies da Floresta Ombrófila Mista”, aborda as interações competitivas em uma floresta natural e sua relação com o crescimento das espécies, visando representar a competição por meio de um índice.

O segundo capítulo “Influência de variáveis climáticas no crescimento de espécies da Floresta Ombrófila Mista” traz a datação e padronização dos anéis de crescimento e a correlação com variáveis climáticas, buscando a seleção de variáveis do clima que contribuam com modelos de crescimento.

O terceiro capítulo “Padrões de crescimento e razão de movimento de espécies arbóreas em Floresta Ombrófila Mista” apresenta questões referentes aos padrões de crescimento de longo prazo das espécies estudadas e a definição de possíveis critérios de manejo específicos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Investigar padrões de crescimento de longo prazo de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* e *Ocotea odorifera* e sua relação com fatores de clima e competição em uma Floresta Ombrófila Mista.

1.1.2 Objetivos específicos

- Investigar interações competitivas que influenciam o crescimento de árvores individuais em uma Floresta Ombrófila Mista.
- Caracterizar fatores climáticos que afetam o crescimento das espécies, visando a inclusão de variáveis climáticas em modelos de crescimento.
- Definir possíveis critérios de manejo sustentável que assegurem a conservação das espécies.

2 METODOLOGIA GERAL

A seguir é apresentada a metodologia geral comum entre os capítulos. O detalhamento dos materiais e métodos específicos é apresentado posteriormente, dentro das seções de cada capítulo.

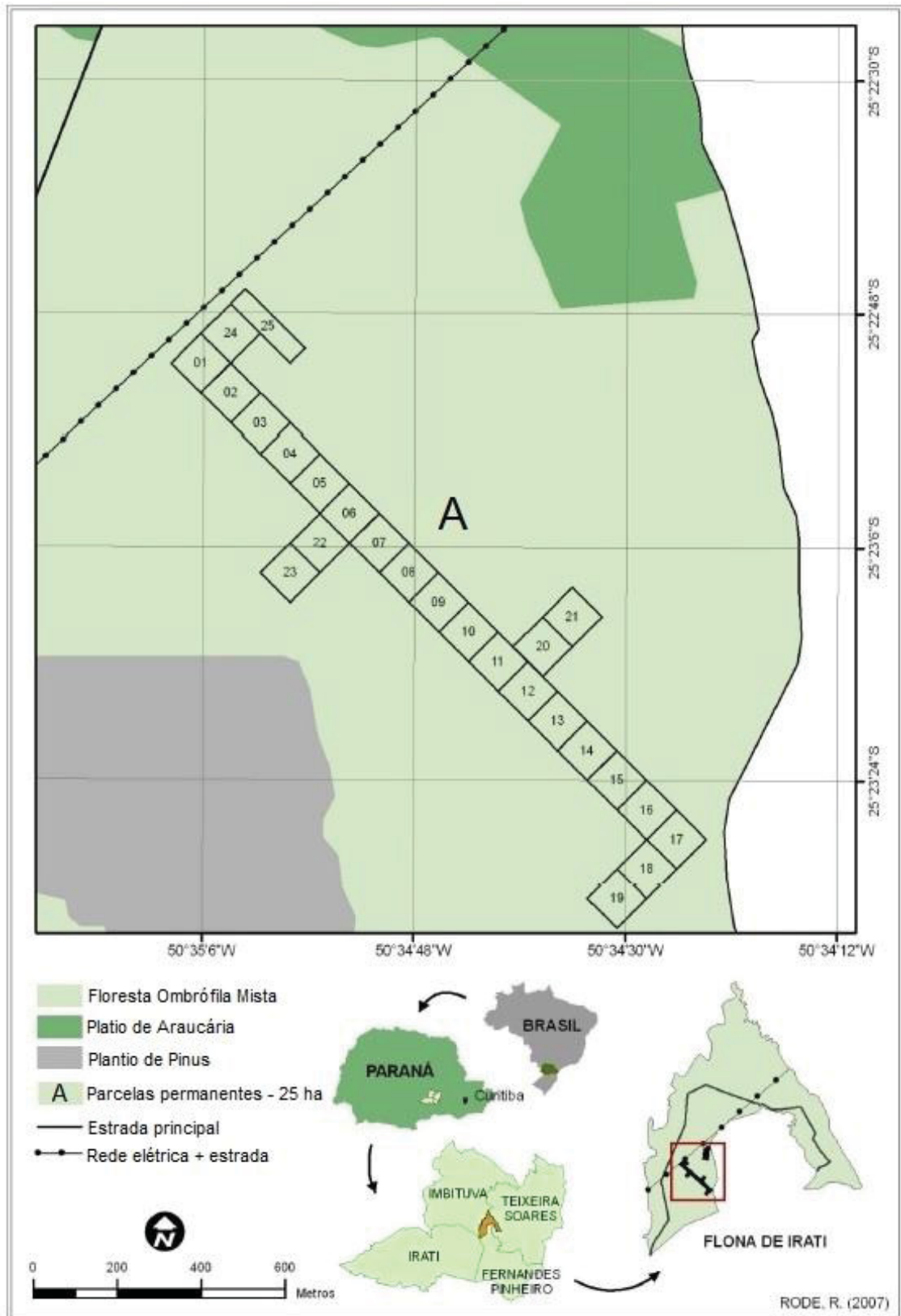
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo foi a Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), em um fragmento da Floresta Ombrófila Mista com 1.273 ha, livre de intervenções há mais de 70 anos. A FLONA de Irati foi criada em 1942, e se constitui em uma Unidade de Conservação administrada pelo IBAMA. Está situada no segundo planalto paranaense, no âmbito dos municípios de Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares (25°27'56" S, 50°37'51" O) (FIGURA 1), a uma altitude média de 885 m s.n.m. A FLONA de Irati também compreende plantios estabelecidos entre as décadas de 1940 a 1960 com *Pinus elliottii*, *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda*, dentre outras (RODE, 2008).

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima do tipo Cfb - Subtropical Úmido Mesotérmico (ALVAREZ et al., 2013), caracterizado por verões frescos, geadas severas e frequentes e sem estação seca, com precipitação média anual de 1.442 mm. O limiar médio das temperaturas de Irati varia aproximadamente entre 13 e 23,5° C.

Na área de Floresta Ombrófila Mista, 25 blocos de 1 ha, subdivididos em parcelas permanentes de 50 x 50 m, foram instalados no ano de 2002 (FIGURA 1 – área A). Todas as árvores com DAP (diâmetro à altura do peito) igual ou superior a 10 cm têm sido remedidas a cada 3 anos (2002, 2005, 2008, 2011, 2014 e 2017), totalizando uma amostra de mais de 14.000 árvores, contemplando 141 espécies identificadas (FIGUEIREDO FILHO et al., 2010).

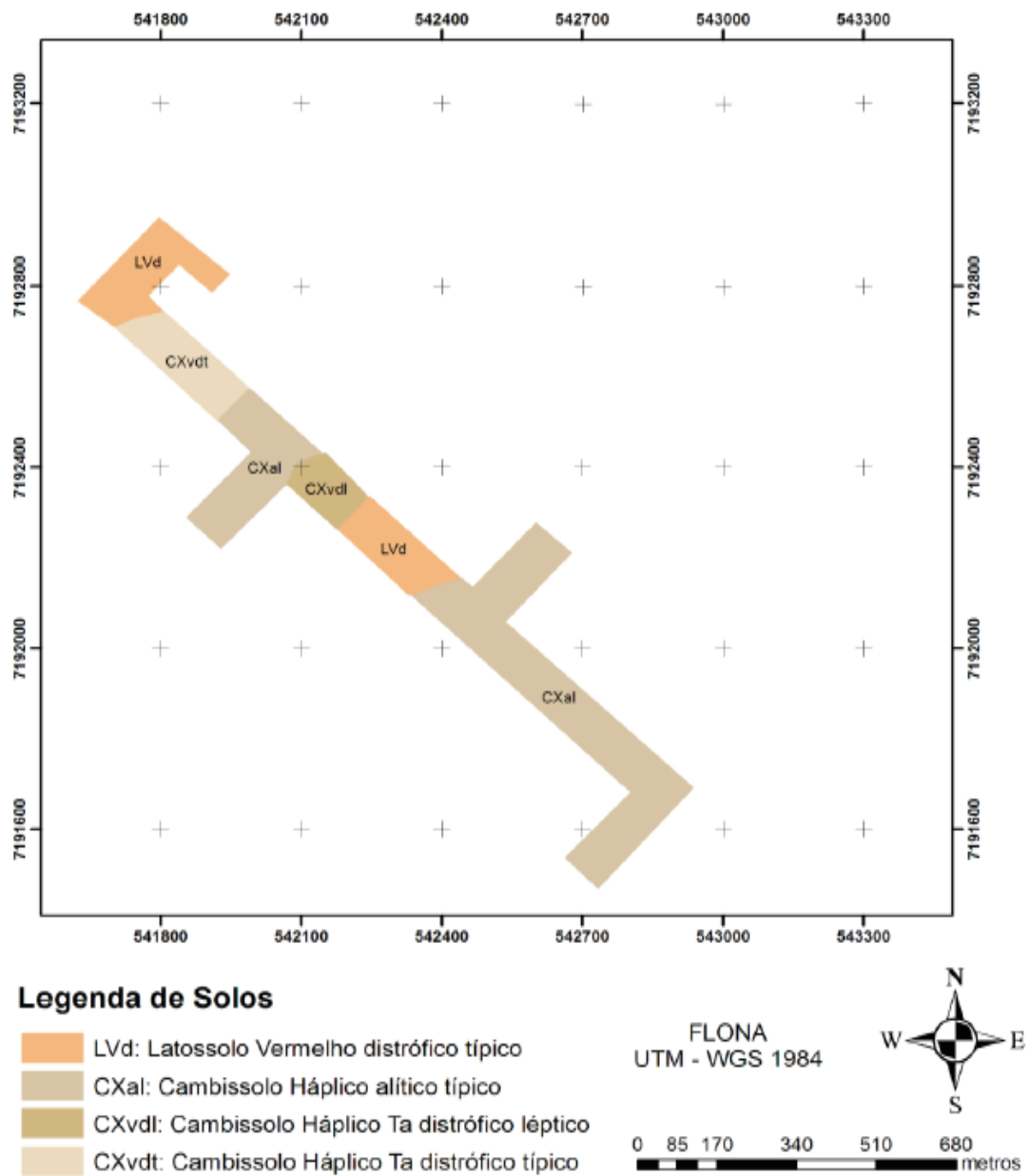
FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: Adaptado de Rode (2008).

Cinco classes de solo distintas foram identificadas na área abrangida pela parcelas permanentes, sendo elas: Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), Latossolo Amarelo distrófico típico (LAd), Cambissolo Háplico Ta distrófico típico (CXvdt), Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico (CXvdl) e Cambissolo Háplico alítico típico (CXal) (FIGURA 2) (FIGUEIREDO FILHO, 2011).

FIGURA 2 - MAPA DE OCORRÊNCIA DE CLASSES DE SOLO NAS PARCELAS PERMANENTES DA FLONA DE IRATI, PARANÁ.



FONTE: Figueiredo Filho (2011).

2.2 CRITÉRIOS DE SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES

As espécies *Araucaria angustifolia* (Araucária), *Cedrela fissilis* (Cedro), *Ocotea puberula* (Canela-guaicá) e *Ocotea odorifera* (Sassafrás) foram selecionadas para este estudo, atendendo a alguns critérios: maior frequência de indivíduos; distribuição em toda área das parcelas permanentes; potencial econômico da espécie, vislumbrando desenvolvimento de planos de manejo específicos no futuro; e presença de anéis de crescimento anuais distintos. Este último critério foi estabelecido pois tem influência nos capítulos II e III, que tratam deste tipo de análise para cada uma das espécies.

Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze é a espécie florestal nativa mais representativa das regiões serranas frias e úmidas do sul e do sudeste do Brasil, e apresenta grande valor econômico, social e ambiental, pois é uma das espécies nativas com maior incremento e potencial de ganho genético, apresenta excelente qualidade de madeira e ainda produz sementes que podem ser usadas na alimentação humana e animal (WREGGE et al., 2017). É uma espécie perenifólia, heliófita e típica de regiões de altitude (CARVALHO, 2003). Reitz e Klein (1966) atribuem para *A. angustifolia* características de espécies pioneiras, no entanto, outros autores têm observado que a espécie regenera-se em diferentes níveis de luminosidade no interior da floresta (VALENTE et al., 2010; PALUDO et al., 2009). Sua distribuição espacial está associada a um clima subtropical, caracterizado como mesotérmico moderado com chuvas abundantes e distribuídas uniformemente (BACKES, 1999). É uma conífera considerada alvo para estudos dendrocronológicos nos neotrópicos (ROIG, 2000).

Cedrela fissilis Vell. (Meliaceae) apresenta ampla distribuição na América Latina e Central, desde o norte da Argentina e Paraguai, chegando ao Panamá e Costa Rica (PENNINGTON, 1981), sendo uma espécie de grande plasticidade. No Brasil ocorre em diversas formações florestais, em especial do Rio Grande do Sul até Minas Gerais, nas Florestas Estacionais Semidecíduas, Ombrófila Mista e, em menor expressão, na Ombrófila Densa da costa atlântica (CUSATIS et al., 2013). É uma espécie de hábito decíduo e tem preferência por solos úmidos, como os encontrados nos vales e planícies aluviais (REITZ, 1984). Desenvolve-se no interior de florestas primárias, podendo também ser igualmente encontrada como espécie pioneira na vegetação secundária (LORENZI, 1998). Devido às propriedades de sua madeira, como, por exemplo, alta durabilidade quando exposta ao tempo, estabilidade dimensional, facilidade em se trabalhar e sua coloração, variando do bege rosado ao castanho avermelhado, possui grande importância econômica (ANGELO et al., 2001), além de ser uma árvore largamente empregada no paisagismo de parques e recomendada na

composição de reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas de preservação permanente (ANDREACCI et al., 2014).

Ocotea puberula (Rich.) Nees, representante da família Lauraceae, apresenta ampla distribuição na América do Sul, desde as Guianas, Venezuela, Colômbia, Brasil, Uruguai, Paraguai até a Argentina. Pode ser encontrada na Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana, Floresta Estacional Decidual e Semidecidual. De acordo com Carvalho (1994), é uma das espécies secundárias iniciais mais comuns no planalto do sul do Brasil, se estabelecendo em estágios iniciais de sucessão, em clareiras de florestas, onde certas formações secundárias dominam. Por essa característica pode também ser classificada como espécie pioneira (CALDATO et al., 2003). Destaca-se pela importância ecológica, apresentando abundante frutificação, sendo consumida por pássaros, e utilizada para recuperação de áreas degradadas (BACKES; IRGANG, 2002). Sua madeira pode ser usada na construção civil leve, construções internas, para forros, carrocerias, marcenaria, móveis simples e caixotaria (INOUE et al., 1984; LORENZI, 1998).

A canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer), outra representante da família Lauraceae, é endêmica do Brasil. Carvalho (2005) classifica *O. odorifera* como uma espécie secundária tardia ou clímax. No passado, no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina, a espécie chegou a constituir por vezes 1/3 da madeira das matas, ocorrendo com elevada frequência e quantidade (REITZ et al., 1978). Sua exploração econômica se deveu, sobretudo, pela extração de óleo essencial, cujo principal componente químico é o saffrol, utilizado na fabricação de inseticidas biodegradáveis, cosméticos e produtos farmacêuticos (AZAMBUJA, 2017; DALMASO et al., 2013; POTTKER et al., 2016). Além disso, a madeira da canela-sassafrás possui excelentes propriedades técnicas e por isso pode ser utilizada na marcenaria de luxo, dormentes, construção civil e também na construção naval (VATTIMO, 1979; DALMASO et al., 2013). A não sustentabilidade de sua exploração (extrativismo), sem levar em conta taxas de crescimento, ou padrões de regeneração (DALMASO et al., 2013), conduziu a espécie a uma condição crítica de sobrevivência, sendo atualmente sua exploração restrita por Lei.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado.** 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de Florestas Ombrófilas do sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 44, n. 2, p. 323-332, 2014.
- ANGELO, H.; BRASIL, A. A.; SANTOS, J. Madeiras tropicais: análise econômica das principais espécies florestais exportadas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 31, n. 2, p. 237 - 248, 2001.
- AZAMBUJA, W. **Óleos essenciais: O início de sua história no Brasil.** Disponível em: <http://oleos essenciais.org/tag/safrol/> Acesso em: 13 out. 2017.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Brasil – II. **Pesquisas botânicas**, 49, p. 31-51, 1999.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul.** Porto Alegre, Instituto Souza Cruz, Clube da Árvore. 2002. 318p.
- BOYDEN, S., MONTGOMERY, R., REICH, P.B., PALIK, B. Seeing the forest for the heterogeneous trees: stand-scale resource distributions emerge from tree-scale structure. **Ecological Applications**, v. 22, p. 1578–1588, 2012.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 481–493, 2006a.
- CALDATO, S. L.; VERA, N.; DONAGH, P. M. Estructura poblacional de *Ocotea puberula* en un bosque secundario y primario de la selva mixta misionera. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 25-32, 2003.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1037p.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Brasília, EMBRAPA Produção de Informações, 1994. 640p.
- CASTRO-NETO, F. **Uso de variáveis climáticas para classificação de sítios em povoamentos de Eucalipto.** 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2015.

- CUSATIS, A. C.; TRAZZI, P. A.; DOBNER JR, M.; HIGA, A. R. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista, **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 287-297, 2013.
- DALMASO, C. A.; INOUE, M. T.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MARCELINO, V. R. Padrões espaciais na regeneração de *Ocotea odorifera* na floresta nacional de Irati, PR. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 2, p. 301-312, 2013.
- DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V. R.; BAUCH, J.. Dendroecological investigation on *Swietenia macrophylla* King. and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**, v.17, p. 244-250, 2003.
- FIGUEIREDO FILHO, A. Relatório técnico: **Comparação da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista e uma vegetação arbórea estabelecida sob um plantio de *Araucaria angustifolia* no Centro Sul do estado do Paraná**. 2011. 36 p. Não publicado.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A.N.; STEPKA, T.F.; SAWCZUK, A.R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em floresta ombrófila mista. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.
- HUI, G.; WANG, Y.; ZHANG, G; ZHAO, Z.; BAI, C., LIU, W. A novel approach for assessing the neighborhood competition in two different aged forests. **Forest Ecology and Management**, v. 422, p. 49-58, 2018.
- INOUE, M. T; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1984.
- IPCC, 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. **In: Global Warming of 1.5°C**. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/11/SR15_Chapter3_High_Res.pdf> Acesso em: 19 dez. 2018.
- LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Mull. Arg. em duas condições geomorfológicas no Sul do Brasil**. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ª edição. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998.
- MATTOS, P. P.; BRAZ., E. M.; HESS., A. F.; SALIS, S. M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo: Embrapa Florestas; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 37p.
- MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M.; ROSOT, M. A. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista do Município de Candói, PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 54, p. 153-156, 2007.

MIRANDA, Z. P.; GUEDES, M. C.; ROSA, S. A.; SCHÖNGART, J. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. **Trees**, DOI 10.1007/s00468-017-1630-7, 2017.

PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na reserva genética florestal de Caçador, estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1109-1121, 2009.

PENNINGTON, T. D. **A monograph of neotropical Meliaceae**. New York: New York Botanical Gardens; 1981. 470p.

POTTKER, G. S.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; FIGUEIREDO FILHO, A. DALMASSO, C. A. Padrão espacial de espécies florestais: estudo de caso com *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1097-1106, 2016.

PRETZSCH, H. **Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model**. Springer, Berlin. 2009. 671p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose, Costa Rica: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1997. 586p.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, v. 28, p. 11-320, 1978.

REITZ, R. Meliaceae. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, 1984.

REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. **Flora ilustrada catarinense**, Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63p.

RODE, R. **Avaliação florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Mista e de uma vegetação arbórea estabelecida sob um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 60 anos**. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 24, p. 75- 92, 2002.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista**. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2016.

ROIG, F. A. Dendrocronología em los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. **In: Dendrocronología em América Latina** (ed. F. A. Roig). Ediunc, Mendoza, p. 307-355, 2000.

ROSSI, L. M. B.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. Modelagem da mortalidade em florestas naturais. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 275-291, 2007.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multigraph, 2006. 264p.

SCHÖNGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA-JUNIOR, S. F.; HAUGAASEN, T. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 47, p. 550–558, 2015.

SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M. T. F.; KRAMBECK, H.; JUNK, W. J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **Annals of Forest Science**, v. 64, p. 657–664, 2007.

VALENTE, T. P.; NEGRELLE, R. R. B.; SANQUETTA, C. R. Regeneração de *Araucaria angustifolia* em três fitofisionomias de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Iheringia -Série botânica**, Porto Alegre, v. 65, n. 1, p. 17-24, 2010.

VATTIMO, I de. Contribuição ao conhecimento da distribuição geográfica das Lauraceae III. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.31, n.48, p.7-57, 1979.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 91, p. 331-346, 2017.

CAPÍTULO I - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO EM NÍVEL DE ÁRVORE INDIVIDUAL PARA ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

RESUMO

Entender relações competitivas no nível de árvores individuais é essencial para melhorar nossa compreensão sobre a dinâmica de crescimento em florestas estruturalmente heterogêneas e biodiversas. O objetivo neste capítulo foi investigar interações competitivas que influenciam o crescimento em área transversal para árvores individuais de quatro espécies em uma Floresta Ombrófila Mista (FOM) Montana no sul do Brasil, buscando identificar um índice que melhor represente a competição para essas espécies. Os dados deste estudo provieram de parcelas permanentes instaladas e monitoradas desde o ano de 2002 na Floresta Nacional de Irati (FLONA de Irati), estado do Paraná, Brasil. Foram avaliados 7 índices de competição independentes da distância, com base em análise gráfica e no coeficiente de correlação linear entre cada índice e o incremento periódico anual em área transversal. O índice de competição de melhor desempenho foi selecionado para prever taxas de crescimento em função do índice de competição das espécies *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* e *Ocotea odorifera* e analisar a dinâmica da competição. De maneira geral, todos os índices avaliados neste estudo apresentaram boa correlação com o crescimento de árvores individuais, com destaque para os índices Lorimer, Glover e Holl e Stage. A relação competição-crescimento apresentou diferenças entre as espécies, sugerindo que há espécies com crescimento mais e menos sensíveis à variação da competição, provavelmente relacionado às suas características ecológicas. Os índices de competição independentes da distância testados são recomendados para representar a competição das espécies estudadas em Floresta Ombrófila Mista e contribuem com subsídios no contexto de submodelos de incremento na modelagem em nível de árvore individual.

Palavras-chave: Índices independentes da distância. Incremento periódico. Floresta com Araucária.

ABSTRACT

Understanding competitive relationships at the individual tree level is essential to improve our knowledge of the growth dynamics in structurally heterogeneous and biodiverse forests. This chapter aimed to investigate competitive interactions which influence the growth in basal area for individual trees of four species in a Montana Mixed Ombrophilous Forest (FOM) in southern Brazil, seeking to identify an index that best represents the competition for these species. The data from this study came from permanent plots installed and monitored since 2002 in the Irati National Forest (FLONA de Irati), Paraná state, Brazil. Seven distance-independent competition indices were evaluated, based on graphical analysis and the linear correlation coefficient between each index and the periodic annual increment in individual basal area. The best performance competition index was selected to predict growth rates as a function of competition indices of the *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* and *Ocotea odorifera* species and analyze the dynamics of competition. In general, all indices evaluated in this study showed a good correlation with the growth of individual trees, especially the Lorimer, Glover and Holl and Stage indices. The competition-growth relationship showed differences between species, suggesting that there are species with more and less sensitive growth to the competition variation, probably related to their ecological characteristics. *O. odorifera* was the species on the highest competitive stress. The distance-independent competition indices tested in this study are recommended to represent competition in Mixed Ombrophilous Forest and contribute with subsidies in the context of increment submodels in individual tree level modeling.

Keywords: Distance-independent indices. Periodic increment. Araucaria forest.

1 INTRODUÇÃO

A competição, em ambientes florestais, pode ser definida como uma interação entre árvores causada pela concorrência por recursos em quantidade limitada, o que acarreta redução da sobrevivência, crescimento e/ou a reprodução do indivíduo em questão (BEGON et al., 2007). Tomé e Burkhardt (1989) identificaram três componentes primários da competição: (1) o ambiente geral da árvore; (2) influências microambientais e genéticas; e (3) a influência dos vizinhos locais. Melhorar nossa compreensão a respeito do comportamento da competição em um ambiente natural e de como ela condiciona o crescimento individual das árvores é necessária, visando projetar o desenvolvimento de florestas.

Existem diferentes tipos ou formas de competição. Uma das distinções mais importantes é o modo de competição, que pode ser unilateral (*one-sided competition*) e bilateral (*two-sided competition*) (ZHAO et al., 2004). Unilateral refere-se à competição entre árvores por luz, em que as árvores maiores não são afetadas por árvores vizinhas menores, enquanto que a competição bilateral representa a concorrência por água e nutrientes, considerando que os recursos são concorridos (igualmente, ou proporcionais ao tamanho) por todas as árvores (BURKHART; TOMÉ, 2012). Também é possível se referir à competição como intraespecífica, entre indivíduos da mesma espécie, e como interespecífica, quando ocorre entre indivíduos de espécies diferentes (WEISKITTEL et al., 2011). A compreensão e a previsão das influências da competição interespecífica estão se tornando cada vez mais importantes devido à ênfase no manejo de florestas heterogêneas.

Uma forma de representar a competição é por meio do uso de índices de competição. Além de expressarem o estresse competitivo de cada indivíduo da floresta, os índices de competição constituem o centro de todo modelo de crescimento de árvore individual, onde são utilizados para estimar o crescimento e/ou mortalidade durante uma simulação (TÉO et al., 2015). Munro (1974) classificou os índices de competição como independentes de distância (não exigindo localização de árvores individuais) e dependentes de distância (exigindo coordenadas de localização das árvores para computação). Posteriormente, uma nova classe de medidas de competição foi apresentada, denominando índices “semi-independentes de distância” (BURKHART; TOMÉ, 2012).

Apesar dos avanços obtidos em florestas naturais, ainda são escassos os trabalhos que avaliam índices de competição e a sua relação com o crescimento das árvores. Além disso, não há um consenso sobre a superioridade de algum índice de competição, uma vez que a habilidade preditiva varia conforme as condições da floresta em estudo (CURTO, 2015) e as

espécies (TONINI, 2007). As evidências também são contraditórias quanto à melhoria de predições de crescimento com a inclusão de efeitos espaciais na descrição do ambiente competitivo das árvores (PELTONIEMI; MÄKIPÄÄ, 2011). Ambos os índices, dependentes e independentes da distância, têm sido aplicados em florestas mistas, no entanto, o mapeamento das árvores é bastante dispendioso e oneroso (WEISKITTEL et al., 2011) e alguns estudos comparativos concluíram que os índices independentes da distância são tão eficazes quanto os dependentes da distância (LORIMER, 1983; ORELLANA, 2014).

O objetivo deste estudo foi investigar interações competitivas que influenciam o crescimento de árvores individuais de quatro espécies em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista (FOM), buscando identificar um índice que melhor represente a competição para essas espécies. Para isso, buscou-se responder as seguintes questões: (i) Interações competitivas em uma Floresta Ombrófila Mista podem ser representadas por meio de um índice de competição independente da distância?; (ii) As respostas de crescimento à competição são equivalentes entre as espécies?

2 MATERIAL E MÉTODOS

O local de estudo e a obtenção dos dados por meio do inventário em parcelas permanentes foram apresentados na Metodologia Geral.

2.1 ESTRUTURA DIAMÉTRICA

Inicialmente, uma análise da distribuição diamétrica foi realizada, considerando valores de frequência de árvores obtidos a partir dos dados das parcelas permanentes. Considerou-se a frequência de indivíduos em classes de amplitude de 10 cm de diâmetro (FIGUEIREDO-FILHO et al., 2010), para o ano de 2002 e 2017.

2.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

Visando representar a competição, o nível de competição experimentado por cada árvore individual abrangida pelas parcelas permanentes foi quantificado testando diferentes índices de competição independentes da distância listados na Tabela 1. Todas as árvores foram incluídas na análise, ora funcionando como árvore objetivo, ora como árvores competidoras. As competidoras à árvore-objetivo foram consideradas como sendo as demais árvores integrantes da parcela. Árvore-objetivo é aquela para a qual se está calculando o índice de competição. Parcelas de tamanho 50 x 50 m (2500 m²) foram tomadas para os cálculos, pois conforme identificado por Chassot et al. (2011) e Orellana (2014) esse foi o tamanho que apresentou maiores correlações com o crescimento e significância ($p < 0,05$) no ajuste.

Os sete índices independentes de distância selecionados têm sido amplamente utilizados e suas interpretações estão inteiramente relacionadas à maneira como são calculados. IC1, IC2 e IC7, por assumirem como competidoras árvores com diâmetro maior que a árvore objetivo, são índices que representam a competição unilateral (luz), enquanto os demais índices representam a competição bilateral.

Os índices BAL (*Basal Area for Larger trees*) (IC1 e IC2) atingem o valor mínimo de competição quando não há nenhuma árvore competidora maior que a árvore objetivo i na parcela. À medida que o número de árvores que possuem diâmetro maior que a árvore objetivo i aumenta, maior é a competição. A relação verificada para o índice de Lorimer (IC6)

é similar, considerando que quanto menor o valor do índice, menor a competição, sendo este afetado pelo número de árvores competidoras.

De maneira contrária, os índices Glover e Holl (IC3 e IC4), Stage (IC5) e Tomé e Burkhart (IC7) sugerem que quando seu valor está próximo de zero a competição é máxima, ou seja, quanto mais o diâmetro da árvore i se distância, para menos, do diâmetro médio, do diâmetro quadrático ou do diâmetro máximo da parcela, respectivamente, menor é o valor do índice e maior é a competição sobre a árvore i . No caso de IC7, o índice assume valor máximo de 1 na ocasião de a árvore-objeto i ser aquela de diâmetro máximo da parcela.

TABELA 1 - ÍNDICES DE COMPETIÇÃO INDEPENDENTES DA DISTÂNCIA TESTADOS PARA UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, FLONA DE IRATI, PR.

Índice	Fórmula	Fonte	Interpretação
BAL (<i>Basal Area for Larger trees</i>)	$IC_1 = \sum_{j=1}^{nj} G_j$	Stage (1973)	Quanto menor o índice, menor é a competição sobre a árvore i .
	$IC_2 = \sum_{j=1}^{nj} G_j / d_i$	Lhotkaa e Loewensteinb (2011)	
Glover e Holl	$IC_3 = d_i^2 / \bar{d}_j^2$	Glover e Holl (1979)	Quanto menor o índice, maior é a competição sobre a árvore i .
	$IC_4 = d_i^2 / (\sum_{j=1}^n d_j^2) / n$	Daniels et al. (1986)	
Stage	$IC_5 = d_i / dg$	Stage (1973)	Quanto menor o índice, maior é a competição sobre a árvore i .
Lorimer	$IC_6 = \sum_{j=1}^n d_j / d_i$	Lorimer (1983)	Quanto menor o índice, menor é a competição sobre a árvore i .
Tomé e Burkhart	$IC_7 = d_i / d_{m\acute{a}x}$	Tomé e Burkhart (1989)	Quanto menor o índice, maior é a competição sobre a árvore i .

n: número de árvores competidoras; G_j : área transversal das árvores competidoras (m^2/ha) com DAP maior que o DAP da árvore central; d_i : DAP da árvore objetivo (cm); d_j : DAP das árvores competidoras (cm); \bar{d}_j : DAP médio das árvores competidoras (cm); dg : diâmetro médio quadrático (cm); $); d_{m\acute{a}x}$: DAP da árvore mais grossa; i : número de ordem da árvore central considerada (árvore objetivo); j : número de ordem da árvore competidora.

FONTE: A autora (2019).

2.3 AVALIAÇÃO DOS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

Avaliações do desempenho de índices de competição examinam frequentemente a correlação entre os valores dos índices e alguma característica de crescimento da árvore de

interesse (árvore-objeto), por exemplo, incremento em diâmetro, área transversal ou altura (DANIELS et al., 1986; CHASSOT et al., 2011; CASTRO et al., 2014; TENZIN et al., 2017). Também é comum acessar a utilidade dos índices de competição por meio da habilidade destes em servir como preditores em modelos de crescimento (WIMBERLY; BARE, 1996; RADTKE et al., 2003; COSTA et al., 2018). Ademais, o crescimento em diâmetro de árvores individuais pode ser expresso como incremento em diâmetro ou em área transversal. Segundo Vanclay (1994), não há uma preferência definida quanto a modelar o incremento em área transversal ou modelar o incremento em diâmetro, mas observa-se em vários estudos por outros autores uma maior tendência em preferir o incremento em área transversal por este ser mais correlacionado com o crescimento em volume atingido por uma árvore.

Neste trabalho a avaliação dos índices de competição foi feita por meio da análise gráfica da relação entre os índices e o incremento periódico anual em área transversal (IPAg) entre as medições de 2002 e 2017 e do cálculo do coeficiente de correlação de Pearson. Foram calculadas correlações considerando todas as espécies em conjunto (geral) e para cada uma das espécies selecionadas.

$$IPAg = \frac{g_{2017} - g_{2002}}{n}$$

Em que: IPAg = incremento periódico anual em área transversal ($m^2 \cdot ano^{-1}$); g_{2017} = área transversal da árvore em 2017 (m^2); g_{2002} = área transversal da árvore em 2002 (m^2); n = intervalo entre as medições (anos).

Para a correlação o valor logarítmico dos índices de competição e do incremento foi utilizado, buscando aproximar a relação na forma linear.

2.4 ANÁLISE DA COMPETIÇÃO

Depois de selecionar o melhor índice de competição na área de estudo, para analisar as respostas de crescimento à competição para cada uma das espécies, o seguinte modelo dendrométrico não linear foi ajustado, com base em análises prévias (CASTAGNERI et al., 2008), predizendo-se taxas de crescimento em função do índice de competição:

$$IPAg = \beta_0 \cdot \beta_1^{IC} + \epsilon_i$$

Em que: IPAg = Incremento periódico em área transversal ($m^2 \cdot ano^{-1}$); IC = Índice de competição; β_0 e β_1 = parâmetros do modelo; ϵ_i = erro aleatório.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

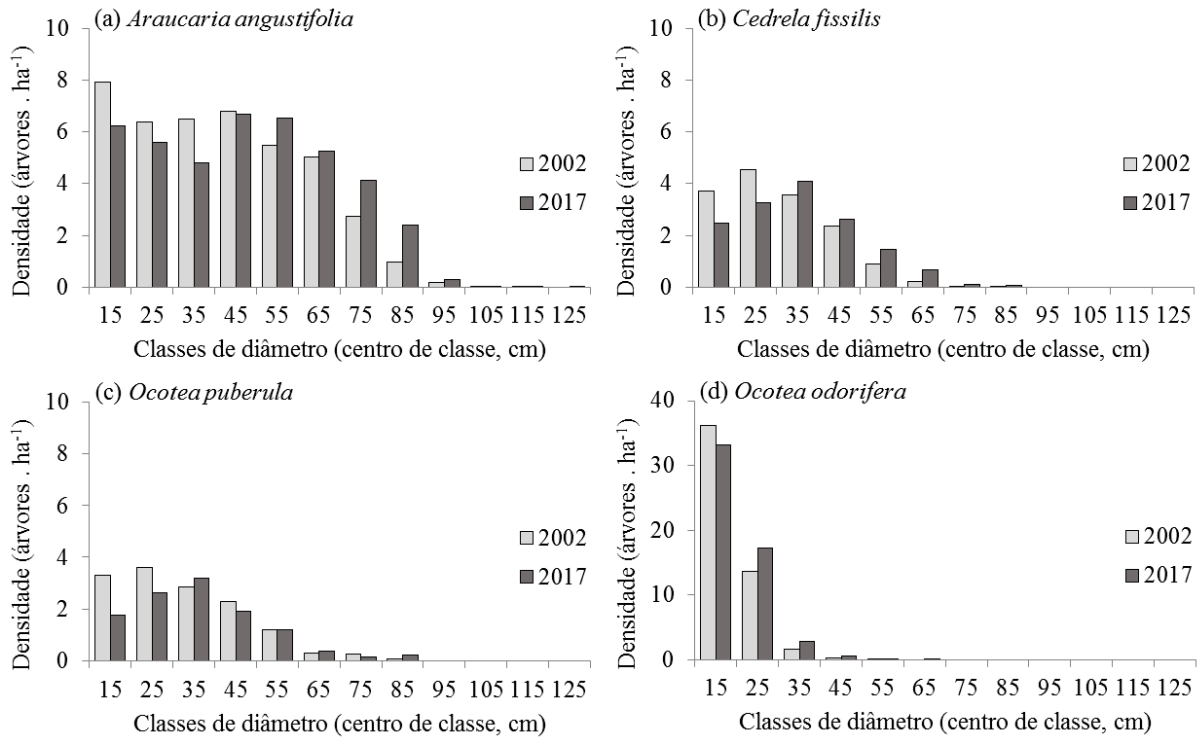
3.1 ESTRUTURA DIAMÉTRICA E INCREMENTO PERIÓDICO

As distribuições diamétricas para as espécies amostradas estão apresentadas na Figura 1. *O. odorifera* é a espécie que conta com o maior número de árvores de menores diâmetros, em uma distribuição caracteristicamente decrescente, com poucas árvores alcançando diâmetros maiores que 40 cm. As espécies *C. fissilis* e *O. puberula* apresentam distribuições unimodais assimétricas e muito semelhantes entre si. A espécie *A. angustifolia* está representada pela distribuição bimodal, com indivíduos melhor distribuídos entre as classes e alcançando maiores dimensões. Segundo Figueiredo Filho et al. (2010), a ocorrência de mais de uma moda para *A. angustifolia* pode indicar a possibilidade de ter ocorrido, no passado, cortes seletivos da espécie em algumas classes de diâmetro. Além disso, essa observação também pode estar relacionada à teoria de *coortes* (RYDER, 1965), a qual possui relação à origem das distribuições multimodais, indicando que distúrbios ocorrentes na floresta podem influenciar o recrutamento de um grupo de árvores em um mesmo intervalo de tempo (EBLING; PÉLLICO NETTO, 2015).

De modo geral, são pequenas as variações da distribuição dos indivíduos de *A. angustifolia* e *O. odorifera* entre 2002 e 2017. No entanto, é possível perceber que para *C. fissilis* e *O. puberula* há um avanço dos diâmetros, com a diminuição da frequência de indivíduos de menor porte. *C. fissilis* e *O. puberula* são espécies caracterizadas dentro do grupo ecológico das pioneiras/secundárias iniciais, sendo que esse avanço pode ser um indício de regeneração deficiente. O número total de árvores abrangidas nas parcelas permanentes aumentou de 2002 para 2017, passando de 14519 para 14716.

No período de 15 anos (2002-2017) o maior IPAg médio identificado entre as espécies selecionadas foi o de *A. angustifolia* ($0,0030 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$), e o menor foi encontrado para a espécie *O. odorifera* ($0,0004 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$). *C. fissilis* e *O. puberula* apresentaram valores médios de $0,0020$ e $0,0016 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$. O IPAg médio geral contabilizando todas as espécies abrangidas pelas parcelas permanentes foi de $0,0010 \text{ m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$, com coeficiente de variação (CV) de 127,66%, refletindo a grande variabilidade.

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE ÁRVORES EM CLASSES DIAMÉTRICAS PARA AS ESPÉCIES *A. angustifolia*, *C. fissilis*, *O. puberula* e *O. odorifera* PARA OS ANOS DE 2002 E 2017.



* Atenção para diferença de escala no eixo y de *Ocotea odorifera*.

FONTE: A autora (2019).

3.2 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

Cada um dos índices de competição calculados para todas as espécies (GERAL) e para *A. angustifolia*, *C. fissilis*, *O. puberula* e *O. odorifera* separadamente, para os anos de 2002 e 2017, estão caracterizados na Tabela 2.

TABELA 2 – RESUMO DESCRITIVO DOS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO (IC1, IC2, IC3, IC4, IC5, IC6 E IC7), CALCULADOS PARA TODAS AS ESPÉCIES ABRANGIDAS PELAS PARCELAS PERMANENTES (GERAL) E PARA CADA UMA DAS ESPÉCIES SELECIONADAS PARA ESTE ESTUDO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, ENTRE OS ANOS DE 2002 E 2017.

IC	Ano	Geral				<i>A. angustifolia</i>				<i>C. fissilis</i>				<i>O. puberula</i>				<i>O. odorifera</i>								
		Mín	Méd	Máx	CV (%)	Mín	Méd	Máx	CV (%)	Mín	Méd	Máx	CV (%)	Mín	Méd	Máx	CV (%)	Mín	Méd	Máx	CV (%)					
IC1	2002	0	22,7	23,8	39,1	34,9	0	14,0	12,6	38,8	71,2	0	17,4	17,1	35,6	44,1	0	17,4	17,3	38,3	48,5	4,8	23,7	23,9	38,3	23,9
	2017	0	25,5	26,6	46,2	33,9	0	15,3	13,0	45,4	73,1	0	18,4	17,7	45,7	46,8	0	19,1	18,7	43,5	47,1	4,8	26,5	26,8	45,4	23,8
IC2	2002	0	1,4	1,4	3,9	60,3	0	0,6	0,3	3,8	119,7	0	0,8	0,6	3,4	84,5	0	0,8	0,6	3,8	91,3	0,1	1,5	1,4	3,8	46,4
	2017	0	1,6	1,5	4,9	59,8	0	0,6	0,3	4,1	129,0	0	0,8	0,5	3,9	94,7	0	0,8	0,6	3,5	89,3	0,1	1,6	1,5	3,9	48,3
IC3	2002	0,1	1,3	0,7	47,7	148,2	0,2	4,5	3,3	24,4	90,1	0,2	2,3	1,8	15,8	88,0	0,2	2,7	2,0	18,5	93,7	0,2	0,8	0,6	6,7	79,3
	2017	0,1	1,4	0,7	44,9	155,7	0,2	5,2	4,2	28,2	85,2	0,2	2,8	2,3	14,6	83,0	0,2	2,9	2,2	18,1	89,0	0,2	0,8	0,7	9,5	81,4
IC4	2002	0,1	1,0	0,5	30,6	146,2	0,1	3,4	2,5	19,2	90,1	0,1	1,8	1,4	11,7	87,9	0,1	2,0	1,5	14,5	94,0	0,1	0,6	0,5	5,0	78,8
	2017	0,1	1,0	0,5	29,4	154,7	0,1	3,8	3,1	20,8	85,5	0,1	2,1	1,7	11,4	82,9	0,1	2,2	1,7	14,1	89,6	0,1	0,6	0,5	7,0	81,2
IC5	2002	0,3	0,9	0,7	5,0	56,2	0,4	1,6	1,6	4,2	49,0	0,3	1,2	1,2	3,3	43,2	0,4	1,3	1,2	3,7	45,3	0,4	0,8	0,7	2,2	34,1
	2017	0,3	0,9	0,7	5,0	59,4	0,4	1,7	1,7	4,3	47,3	0,4	1,3	1,3	3,3	41,6	0,4	1,3	1,3	3,6	41,9	0,4	0,8	0,7	2,6	35,4
IC6	2002	17,0	188,1	181,5	463,5	44,8	19,9	109,3	83,0	414,3	67,5	22,1	131,5	114,9	426,9	50,6	20,0	128,6	109,7	423,4	56,2	52,2	205,2	197,8	435,8	32,4
	2017	18,6	189,7	184,2	490,6	44,2	23,2	103,7	73,8	453,1	72,4	28,0	118,1	98,9	374,3	54,5	25,4	117,2	99,2	326,6	51,8	50,2	198,3	190,6	424,0	34,1
IC7	2002	0,1	0,3	0,2	1	58,1	0,1	0,5	0,5	1	50,3	0,1	0,4	0,4	1	45,9	0,1	0,4	0,4	1	47,0	0,1	0,3	0,2	0,7	37,0
	2017	0,1	0,3	0,2	1	61,0	0,1	0,6	0,6	1	48,3	0,1	0,4	0,4	1	44,5	0,1	0,4	0,4	1	43,8	0,1	0,2	0,2	0,7	37,3

*Mín = mínimo; Méd = média; Md = mediana; Máx = máximo e CV(%) = coeficiente de variação.

FONTE: A autora (2019).

Analisando-se os valores encontrados para cada índice de competição, confirmam-se suas definições. Observa-se para os índices BAL (IC1 e IC2), que todas as espécies selecionadas, exceto *O. odorifera*, atingiram seu valor mínimo no zero, que neste caso estaria representando a ausência de competição unilateral. Isso indica que para as espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, em pelo menos uma parcela, alguma árvore da espécie é a de maior diâmetro encontrada na comunidade florestal, o que não acontece em nenhum momento para *O. odorifera*. Para o índice IC7, a ausência de competição unilateral é representada pelo valor máximo de 1. Este valor ocorre, de forma análoga aos índices IC1 e IC2, quando a árvore de diâmetro máximo da parcela é a própria árvore objetivo. Coerentemente, o valor 1 também só foi alcançado pelas espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*.

Os índices IC3, IC4 e IC5 têm como característica alcançar valores muito próximo de 0 para representar alta competição, e podem alcançar diferentes valores, mais elevados, conforme a competição diminui. Na construção destes índices, o componente diâmetro da árvore objetivo no numerador e o diâmetro das competidoras no denominador é que traz essa característica. O índice IC6 apresentou variações em torno de valores mais elevados, uma vez que representa o somatório do diâmetro de cada competidora sobre o diâmetro da árvore *i*.

De modo geral, a competição que as árvores individuais da espécie Araucária estão submetidas foi menor, como esperado, que as demais angiospermas (ORELLANA; VANCLAY, 2018). Além disso, dentro do grupo das angiospermas também é possível verificar diferenciações, sendo que valores que representam maior competição foram encontrados para a espécie *O. odorifera*, espécie que é caracterizada segundo sua ecologia como não-pioneira (secundária tardia ou clímax) (CARVALHO, 2005). Já *C. fissilis* e *O. puberula*, apresentaram valores intermediários e próximos entre si.

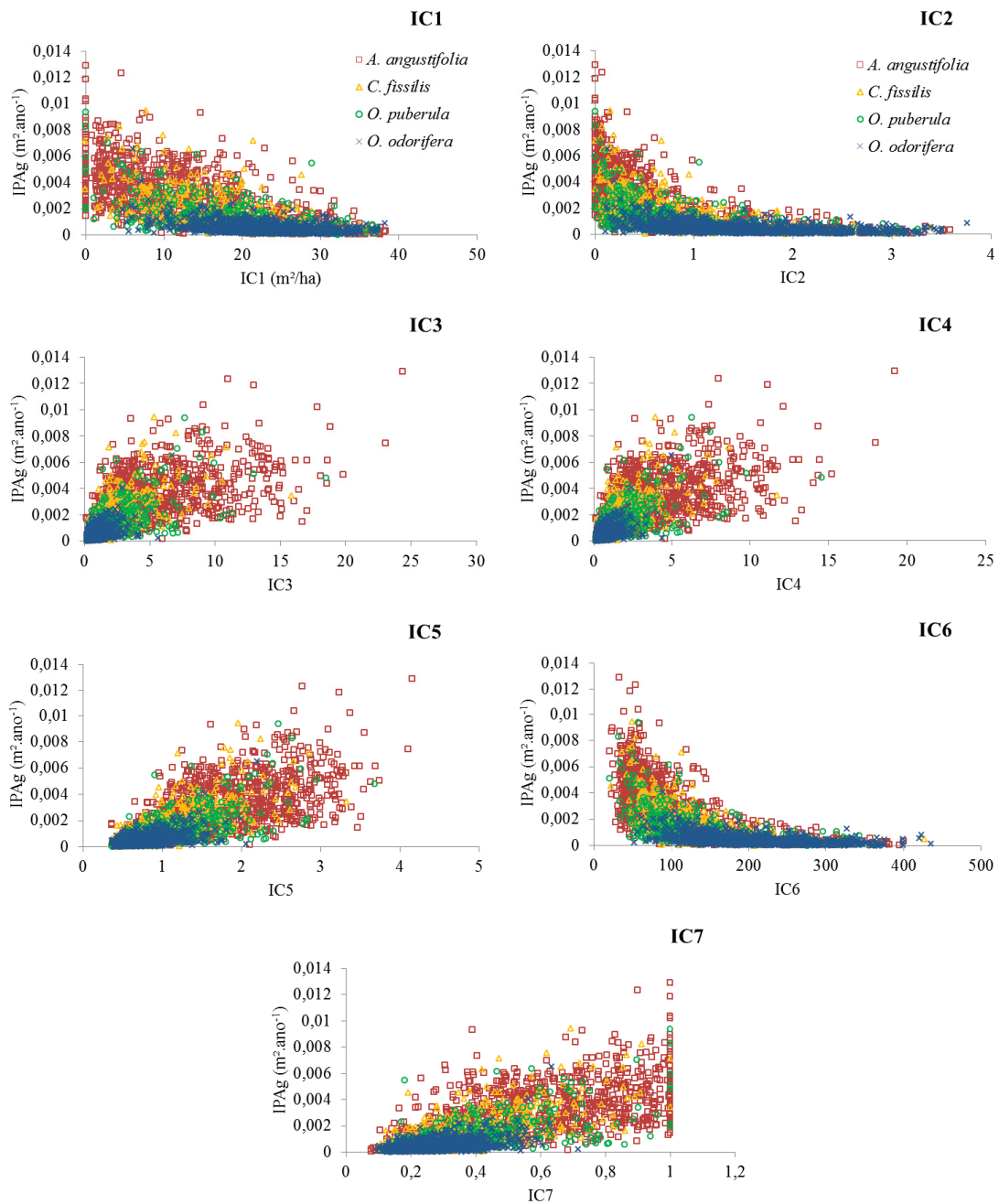
Árvores maiores, em geral, por alcançarem estratos superiores das florestas, têm menor competição (CUNHA, 2009). Consequentemente, árvores de porte pequeno, localizadas no sub-bosque, estarão sob maiores influências competitivas. Isso foi observado quando se compara a distribuição diamétrica de cada espécie (FIGURA 1) e os respectivos valores dos índices de competição. As espécies com árvores de menores diâmetros apresentaram-se sob maior estresse competitivo, como é o caso de *O. odorifera*.

Em uma comparação entre períodos, foi verificado que, para o geral da comunidade, os índices expressaram um aumento da competição de 2002 para 2017. Especificamente para cada espécie avaliada, no entanto, observaram-se alternâncias entre os valores dos índices que representam a competição em 2002 e em 2017, vezes indicando aumento da competição e

vezes a sua diminuição. Esta observação pode estar associada aos diferentes ritmos de crescimento das espécies, que as confere uma maior ou menor vantagem competitiva ao longo do tempo, e também ao tipo de competição representada pelo índice (unilateral/bilateral).

A relação de cada índice de competição testado com o incremento periódico em área transversal (IPAg) de cada espécie pode ser visualizada na Figura 2.

FIGURA 2 – DISPERSÃO DO INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA TRANSVERSAL (IPAg) vs ÍNDICES DE COMPETIÇÃO (IC1, IC2, IC3, IC4, IC5, IC6 e IC7) PARA *A. angustifolia*, *C. fissilis*, *O. puberula* e *O. odorifera* EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.



FONTE: A autora (2019).

As variações observadas para a relação dos índices de competição e o IPAg estão conexas aos distintos comportamentos que os índices expressam ao representar a competição natural. Para os índices IC1, IC2 e IC6, quanto menor o valor do índice, menor é a competição representada e maior será o crescimento. Alternadamente, para IC3, IC4, IC5 e IC8, menores valores do índice representam maior competição e, portanto, menor será o crescimento. Desta maneira, apesar das variações ligadas aos índices, a relação entre o crescimento (IPAg) e a competição foi caracterizada como inversa em todos os casos, ou seja, quanto mais elevada a competição, menor o crescimento e vice-versa. Este efeito negativo da competição sobre o crescimento foi confirmado por diversos autores (HOLMES; REED, 1991; CONTRERAS et al., 2011; FRAVER et al., 2013; TENZIN et al., 2017).

Ademais, a maioria dos índices expressou esta relação com o crescimento de forma diferente da linear, aproximando-se mais de uma exponencial, em casos como o IC2 e IC6. Este comportamento também se aproxima, de certa maneira, da competição natural observada em uma floresta, ao entender-se que, sob diferentes níveis de competição, respostas na variação do crescimento em maior e menor proporção serão encontradas.

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes de correlação dos diferentes índices de competição e o incremento periódico anual em área transversal do período de 2002 a 2017. O logaritmo dos valores dos índices e do IPAg foi aplicado na tentativa de aproximar as relações da forma linear. Todos os índices testados foram significativamente correlacionados ($p < 0,01$).

TABELA 3 - CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE O INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA TRANSVERSAL (IPAg) E OS ÍNDICES DE COMPETIÇÃO, AVALIADOS PARA TODAS AS ESPÉCIES (GERAL) E PARA CADA ESPÉCIE SELECIONADA NESTE ESTUDO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.

Índice de competição	Coeficiente de correlação				
	GERAL	<i>A. angustifolia</i>	<i>C. fissilis</i>	<i>O. puberula</i>	<i>O. odorifera</i>
IC1	-0,60	-0,67	-0,63	-0,56	-0,51
IC2	-0,71	-0,77	-0,76	-0,67	-0,65
IC3	0,74	0,84	0,83	0,73	0,67
IC4	0,73	0,84	0,83	0,72	0,66
IC5	0,74	0,84	0,83	0,72	0,67
IC6	-0,75	-0,84	-0,81	-0,72	-0,68
IC7	0,70	0,80	0,77	0,69	0,60

*Todos os valores foram significativos, $p < 0,01$.

FONTE: A autora (2019).

De forma análoga ao verificado na Figura 2, os valores negativos de correlação com o IPAg foram verificados para os índices IC1, IC2 e IC6, que representam a competição de maneira direta (menores valor, menor competição) e, portanto, o crescimento de maneira inversa.

De maneira geral, o comportamento de cada índice de competição foi semelhante entre o cômputo geral (comunidade florestal) e cada espécie, sendo que os índices IC3, IC4, IC5 e IC6 apresentaram valores muito próximos de correlação, destacando-se em relação aos demais. Além desses, o índice IC7 também aparece com bons resultados, cabendo ênfase devido a sua simplicidade de construção, uma vez que necessita apenas da medição da árvore de diâmetro máximo da parcela, além da árvore objetivo.

Apesar do menor desempenho no presente estudo, os índices IC1 e IC2 (*Basal Area Larger*) têm sido amplamente utilizados em modelos de árvores individuais (MONSERUD; STERBA, 1996; DELLA-FLORA, 2001; YANG et al., 2009; LHOTKA; LOEWENSTEIN, 2011; ORELLANA, 2014). Ressalta-se, portanto, a importância de avaliação de diferentes índices de competição para o contexto das modelagens, visto que, por não haver uma superioridade definida de um índice sobre outro, essa avaliação prévia pode auxiliar na obtenção de estimativas mais precisas e acuradas nas prognoses/projeções.

A espécie que teve seu crescimento melhor correlacionado com os índices de competição foi a Araucária, alcançando uma correlação de até 0,84 com o incremento em área transversal, para os índices IC3, IC4, IC5 e IC6. Chassot et al. (2011) avaliaram os índices IC1 e IC3, similares ao presente trabalho, por meio de sua correlação com o incremento diamétrico. Para eles, o valor mais acentuado de coeficiente de correlação foi encontrado para o índice IC1, observando valores não significativos para o índice IC3.

Mattos (2007) também empregou matriz de correlação para analisar a relação entre variáveis dendrométricas e do povoamento com os índices de IC1 e IC5, além de outros índices dependentes da distância, trabalhando com as espécies *C. fissilis*, *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. Correlações entre os índices e o IPAg foram significativas e superiores para o índice IC5, similar ao presente trabalho, alcançando valores de 0,77 para *C. fissilis*. Esse valor de correlação foi superior inclusive aos dos índices que incluíram espacialidade em sua construção (dependentes da distância).

Além desses, vários outros autores utilizaram coeficiente de correlação de Pearson para selecionar índices de competição, como Silveira et al. (2015), estudando o crescimento de *Trichilia clausenii* C. DC em um fragmento de Floresta Semidecidual, RS e Castro et al.

(2014), também uma Floresta Estacional Semidecidual, estudando a competição de uma grande quantidade de espécies.

Trabalhando com a espécie *O. puberula*, além de *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez, Della-Flora (2001) formulou modelos de crescimento para as espécies em uma Floresta Estacional Decidual no Rio Grande do Sul, alcançando boas estimativas com a inclusão do índice IC1 como variável de competição.

3.3 ANÁLISE DA COMPETIÇÃO

O índice IC6, por ter apresentado no geral maior coeficiente de correlação e pela boa relação gráfica com o IPAg, foi selecionado para modelar o crescimento (IPAg) em função da competição para cada uma das espécies. Os coeficientes estimados, o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa Syx(%) são apresentados na Tabela 4.

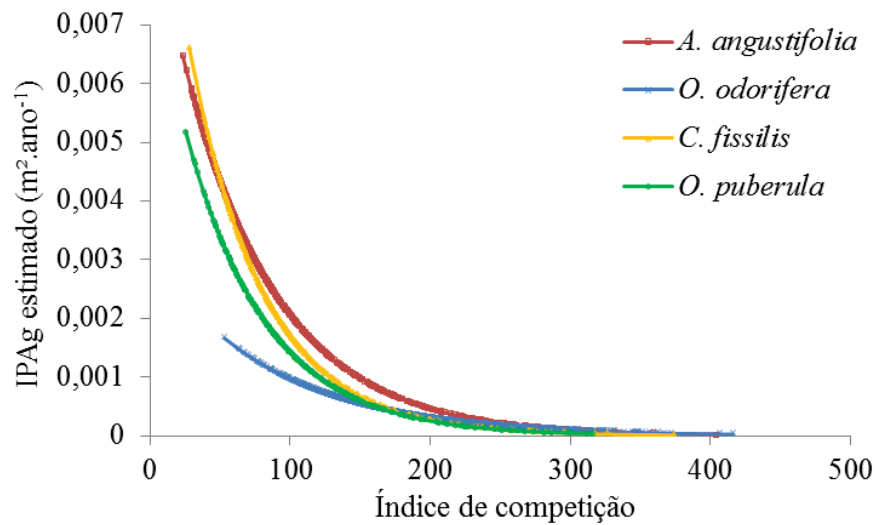
TABELA 4 - ESTIMATIVA DE COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO DO MODELO DE INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA TRANSVERSAL (IPAg) EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE COMPETIÇÃO DE LORIMER (IC6) PARA CADA UMA DAS ESPÉCIES DESTE ESTUDO.

Espécies	Coeficientes	R^2	Syx(%)	
<i>A. angustifolia</i>	b_0	0,009157	0,5458	49,30
	b_1	0,985204		
<i>C. fissilis</i>	b_0	0,011185	0,6226	49,19
	b_1	0,981325		
<i>O. puberula</i>	b_0	0,008039	0,4774	64,41
	b_1	0,982869		
<i>O. odorifera</i>	b_0	0,003096	0,4837	63,63
	b_1	0,988346		

FONTE: A autora (2019).

Utilizando um índice de competição de simples construção e independente da distância, quando ajustado por meio de técnicas de regressão, foi possível explicar até 55%, 62%, 48% e 48% da variação no crescimento periódico em área transversal nos últimos 15 anos das espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis*, *O. puberula* e *O. odorifera*, respectivamente. Na Figura 3 são apresentados os valores de IPAg estimados para cada espécie em função do índice de competição IC6.

FIGURA 3 – INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL EM ÁREA TRANSVERSAL (IPAg) ESTIMADO ($\text{m}^2 \cdot \text{ano}^{-1}$) VERSUS ÍNDICE DE COMPETIÇÃO DE LORIMER (IC6) PARA CADA UMA DAS ESPÉCIES SELECIONADAS NO FRAGMENTO EM ESTUDO.



FONTE: A autora (2019)

De acordo com os valores estimados e apresentados na Figura 3, fica clara a influência do fator espécie na relação crescimento-competição, verificando-se que alterações na competição podem refletir maiores ou menores variações no crescimento, dependendo da espécie, indicando haver espécies mais e menos sensíveis. Essas diferenças no nível de competição por espécies podem ser associadas às diferenças na tolerância à sombra que cada uma apresenta (TENZIN et al., 2017).

Em níveis de mais baixa competição, maior IPAg é evidente para *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*. No entanto, a espécie *O. odorifera* parece ser menos sensível às mudanças nas condições de luz, pois o aumento da competição para esta espécie revela uma diminuição menos abrupta do IPAg como resposta, diferentemente do que é esperado para *C. fissilis*, *A. angustifolia* e *O. puberula* (Figura 3). Confrontando-se estes resultados com as características ecológicas das espécies, tanto *A. angustifolia* quanto *C. fissilis* são espécies consideradas exigentes em luz (CARVALHO, 2003), enquanto *O. puberula* pode ser considerada semi-heliófila (ORTEGA, 1995). Alternadamente, *O. odorifera* é um espécie tolerante à sombra (CARVALHO, 2005). Sob essa avaliação, os resultados encontrados são muito coerentes e apresentam consistência com sugestões anteriores de Buffum et al. (2008); Tenzin e Hasenauer (2016) e Tenzin et al. (2017). Além disso, esta observação também se firma com relação aos grupos ecológicos que essas espécies representam.

Apesar de que resultados coerentes na análise entre espécies tenham sido observados, deve-se ponderar pelo fato de que, dentro de uma mesma parcela, em fustes de mesmo porte são atribuídos índices de competição com valores muito próximos, mesmo que pertençam a espécies diferentes e que não possuam as mesmas taxas de crescimento. Por esta razão é possível que variáveis adicionais, especialmente relacionadas à copa, pudessem contribuir para análises das estratégias competitivas das espécies e de cada indivíduo (CANHAM et al., 2004; COATES et al., 2009).

Além da variação observada entre espécies, tem-se que considerar que a competição é um processo dinâmico. Perturbações na floresta, por exemplo, que são mecanismos para iniciar a sucessão, têm efeitos a longo prazo, e alteram a dinâmica competitiva entre as árvores (WEBER et al., 2008). Por isso, variações na competição ao longo do tempo também devem ser levadas em conta tendo em vista projeções de crescimento.

4 CONCLUSÕES

Com esse estudo pode-se concluir que:

- Os índices de competição independente da distância testados são recomendados para representar a competição das espécies estudadas em Floresta Ombrófila Mista, tendo sido encontradas correlações significativas entre os índices e o incremento periódico em área transversal das árvores no fragmento, com destaque para o índice de Lorimer (IC6).
- A relação competição-crescimento apresentou diferenças entre as espécies avaliadas, sugerindo espécies com crescimento mais e menos sensíveis à variação da competição.
- Este trabalho contribui com subsídios para a inclusão de índices de competição em submodelos de incremento no contexto da modelagem em nível de árvore individual em florestas inequiâneas.

REFERÊNCIAS

- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de indivíduos a ecossistemas**. 4. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2007.
- BUFFUM, B.; GRATZER, G.; TENZIN, Y. The sustainability of selection cutting in a late successional broadleaved community forest in Bhutan. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 2084–2091, 2008.
- BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Springer, Dordrecht, NL, 2012. 457p.
- CANHAM, C. D.; LEPAGE, P. T.; COATES, K. D. A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 778-787, 2004.
- CARVALHO, P. E. R. **Canela-sassafrás**. 2005. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/288823>>. Acesso em: 16 set. 2018. (Circular Técnica).
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2003. 1039 p.
- CASTAGNERI, D.; VACCHIANO, G.; LINGUA, E.; MOTTA, R. Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy). **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 651–659, 2008.
- CASTRO, R. V. O.; SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F. Competição em nível de árvore individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Portugal, v. 22, n. 1, p. 43-66, 2014.
- CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.
- COATES, K. D.; CANHAM, C. D.; LEPAGE, C. T. Above versus below ground competitive effects and responses of a guild of temperate tree species. **Journal of Ecology**, 97, p. 118-130, 2009.
- CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 1939–1949, 2011.
- COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Competition indices and their relationship with basal area increment of *Araucaria*. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, 2018.
- CUNHA, T.A. **Modelagem do incremento de arvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.** 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

DANIELS, R.F.; BURKHART, H.E.; CLASON, T.R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 16, p. 1230-1237, 1986.

DELLA-FLORA, J. B. **Modelos de Crescimento para Árvores Singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness.** 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Floresta) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

EBLING, Â. A.; PÉLLICO NETTO, S. Modelagem de Ocorrência de Coortes na Estrutura Diamétrica da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 251-257, 2015.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em floresta ombrófila mista. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FRAVER, S.; D'AMATO, A. W.; BRADFORD, J. B.; JONSSON, B. G.; JÖNSSON, M.; ESSEEN, P. A. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 2, p. 374-385, 2013.

GLOVER, G.R.; HOOL, J.N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1979.

HOLMES, M. J.; REED, D. D. Competition indices for mixed species northern hardwoods. **Forest Science**, v. 37, n. 5, p. 1338-1349, 1991.

LHOTKAA, J. M. LOEWENSTEIN, E. F. An individual-tree diameter growth model for managed uneven-aged oak-shortleaf pine stands in the Ozark Highlands of Missouri, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 770-778, 2011.

LORIMER, C.G. Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 343-360, 1983.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Cell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul.** 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MONSERUD, R. A.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 57-80, 1996.

MUNRO, D. D. Forest growth model – a prognosis. **In:** Fries J (ed) Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Stockholm, p. 7-21, 1974. Research Notes 30.

- ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de Floresta de Araucária**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ORELLANA, E.; VANCLAY, J. K. Competition and dominance between angiosperms and *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in the Atlantic Forest in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 425, p.119-125, 2018.
- ORTEGA, L. S. de. Temperamento de luz de los árboles del alto Paraná y potencial de regeneración forestal. **Ka'a guy**, Assunción, v. 11, n. 1, p. 16-20, 1995.
- PELTONIEMI, M.; MÄKIPÄÄ, R. Quantifying distance-independent tree competition for predicting Norway spruce mortality in unmanaged forests. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 1, p. 30-42, 2011.
- RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.
- RYDER, N. B. The Cohort as a concept in the study of social change. **American Sociological Review**, Aliso Viejo, v. 30, n. 6, p. 843-861, 1965.
- 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.
- STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. Madison: USDA Forest Service (Research Paper INT-137). Washington, DC, 1973. 32p.
- TENZIN, J.; HASENAUER, H. Tree species composition and diversity in relation to anthropogenic disturbances in broad-leaved forests of Bhutan. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 12, p. 274–290, 2016.
- TENZIN, J.; TENZIN, K.; HASENAUER, H. Individual tree basal area increment models for broadleaved forests in Bhutan. **Forestry**, v. 90, p. 367–380, 2017.
- TÉO, S. J.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LINGNAU, C. Análise espacial do estresse competitivo, incremento diamétrico e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, Irati, PR. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 681-694, 2015.
- TOMÉ, M.; BURKHART, H. E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual tree. **Forest Science**, v. 35, n. 3, p. 816-831, 1989.
- TONINI, H. **Índice de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. 30p. (Documentos / Embrapa Roraima).

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994, 312 p.

WEBER, P.; BUGMANN, H.; FONTI, P.; RIGLING, A. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. **Forest Ecology and Management**, v. 254, p. 96-106, 2008.

WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; KERSHAW Jr, J. A.; VANCLAY, J. K. **Forest Growth and Yield Modeling**. Wiley-Blackwell, 2011. 415p.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

YANG, Y.; HUANG, S.; MENG, S.X.; TRINCADO, G.; VANDERSCHAAF, C.L. A multilevel individual tree basal area increment model for aspen in boreal mixedwood stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 39, p. 2203–2214, 2009.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 307-322, 2004.

CAPÍTULO II - INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO CRESCIMENTO DE ESPÉCIES DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

RESUMO

Compreender as respostas de crescimento das árvores a um clima passado é fundamental para determinar os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre o crescimento futuro, e uma importante ferramenta para investigar este tipo de relação é a datação dos anéis de crescimento das árvores. Neste sentido, o presente estudo teve por objetivo caracterizar a dendroclimatologia de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* e *Ocotea odorifera* em um fragmento da Floresta Ombrófila Mista, na região de Irati, estado do Paraná, Brasil. Para tal, 30 árvores de cada espécie foram amostradas pelo método não-destrutivo (trado de Pressler), mensurando-se a largura dos anéis de crescimento. O programa COFECHA foi utilizado para verificar a sincronização das séries temporais e o programa ARSTAN auxiliou na eliminação de tendências relacionadas aos sinais não climáticos (endógenos), gerando um índice resultante (índice de crescimento). Por meio do coeficiente de correlação de Pearson, relações entre o índice de crescimento anual e variáveis climáticas foram testadas, sendo as variáveis climáticas que apresentaram correlações significativas ($p \leq 0,05$) selecionadas como variáveis independentes para a geração de modelos pelo processo de Regressão Passo a Passo (*Stepwise*). As espécies apresentaram respostas diferenciadas de crescimento relacionadas às variações do clima, identificando-se espécies mais e menos sensíveis. De modo geral, temperatura máxima, umidade relativa e insolação estão entre os fatores mais limitantes para o crescimento das espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, respectivamente. Os resultados do presente estudo fornecem informações adicionais sobre fatores climáticos que podem contribuir para a flexibilização de modelos de crescimento, considerando o planejamento de ações para a conservação e manejo florestal de espécies no futuro.

Palavras-chave: Dendrocronologia. Dendroclimatologia. Sinais climáticos.

ABSTRACT

Understanding tree growth responses to a past climate is critical to determining the possible impacts of climate change on future growth, and an important tool to investigate this relationship is the tree rings dating. Thus, the present study aimed to characterize the dendroclimatology of *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* and *Ocotea odorifera* in a fragment of the Mixed Ombrophilous Forest, in the Irati region, Paraná state, Brazil. For this, we sampled 30 trees of each species by the non-destructive method (Pressler's borer), measuring the tree rings. We use the COFECHA program to verify the synchronization of the time series and the ARSTAN program assisted in eliminating trends related to non-climatic (endogenous) signals, creating a resulting index (growth index). By applying Pearson's correlation, relationships between the annual growth index and climatic variables were tested, and the climatic variables which presented significant correlations ($p \leq 0.05$) were selected as input for the generation of models by the stepwise process. The species presented different growth responses related to climate variations, identifying more and less sensitive species. In general, maximum temperature, relative humidity and insolation were the most limiting factors for the growth of the species *A. angustifolia*, *C. fissilis* and *O. puberula*, respectively. The results of the present study provide additional information on climatic factors, contributing to the flexibility of growth models, considering the planning of actions for the conservation and forest management of species in the future.

Keywords: Dendrochronology. Dendroclimatology. Climate signs.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das árvores é influenciado pelas características da espécie em interação com o meio, que por sua vez é caracterizado por um conjunto de fatores, dentre eles os fatores pedológicos, as características topográficas, a competição entre as árvores e os fatores climáticos (PRODAN et al., 1997). Neste contexto, os anéis de crescimento das árvores são importantes fontes de informação para investigação da associação crescimento-ambiente. Eles carregam consigo dados das mudanças ocorridas ao longo de séculos, por meio das respostas expressas pela árvore, estando prontamente disponíveis ao observador com sua medição (FRITTS, 1976).

Com as mais variadas finalidades, a datação de anéis de crescimento é tema que vem ganhando destaque em regiões tropicais e subtropicais, graças à comprovação da anualidade de formação de anéis em árvores nestas regiões (WORBES, 2002; MATTOS et al., 2007; HARLEY et al., 2011; LÓPEZ; VILLALBA, 2016) e à difusão da técnica de análise de tronco parcial, que não requer a derrubada da árvore para o seu estudo, retirando-se apenas um rolo de incremento pela técnica da tradagem (FINGER, 1992). O grande potencial de aplicação da dendrocronologia nessas regiões pode ser verificado: na reconstrução histórica das condições de crescimento das árvores; no melhor entendimento das respostas fisiológicas dos indivíduos frente às mudanças das condições ambientais e; na construção e validação de modelos de crescimento, entre outros usos (ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011; ANDREACCI et al., 2014).

Diante de um cenário de mudanças climáticas globais, a análise da dinâmica das populações relacionada aos fatores do clima toma destaque. Registros meteorológicos de longo prazo vêm demonstrando um aumento da temperatura média do ar durante as últimas décadas, alcançando em 2017 aproximadamente 1° C (0,8 a 1,2° C) acima dos níveis pré-industriais, e modelos climáticos recentes preveem um aumento adicional nos próximos anos (chegando a 1,5° C de aumento, considerando um cenário mais cauteloso) (IPCC, 2018).

Variações de função, composição e biomassa de florestas são esperadas como reflexo de alterações no clima (BONAN, 2008). A influência da temperatura sobre a fisiologia das plantas tem sido demonstrada para vários órgãos e tecidos (MOLLO, 2009). Para a espécie *A. angustifolia*, representante das coníferas, autores têm identificado a temperatura como a variável climática mais limitante ao seu crescimento no sul do Brasil (OLIVEIRA et al., 2010; STEPKA, 2012).

No entanto, os modelos de crescimento utilizados atualmente, em geral, não levam em conta os efeitos climáticos, gerando projeções pouco confiáveis conforme o clima muda (PRICE et al., 2015). A inclusão de sensibilidade climática em modelos de crescimento ainda é um desafio a ser resolvido, sendo que tais modelos serão essenciais para projetar como as mudanças climáticas afetam a dinâmica da floresta, tanto em escala de floresta quanto em escala de paisagem (ZHANG et al., 2015).

Compreender, portanto, respostas de crescimento das árvores ao clima passado fornece subsídios para determinar os prováveis impactos das mudanças climáticas no crescimento futuro, além de fornecer informações sobre a adequação de espécies (NITSCHKE et al., 2017), contribuindo assim para melhorar as previsões de crescimento e o planejamento de ações voltadas ao manejo e conservação das espécies.

Assim, o presente estudo objetiva caracterizar fatores climáticos que afetam o crescimento de quatro espécies nativas do sul do Brasil, visando a inclusão de sensibilidade climática em modelos de crescimento e buscando responder as seguintes perguntas: (i) A temperatura confirma-se como fator climático mais limitante para o crescimento de *A. angustifolia* na região sul do Brasil?; (ii) Assim como para a Araucária (gimnosperma), a temperatura é o fator mais limitante para o crescimento de angiospermas na região?; (iii) Determinadas espécies podem ser favorecidas/desfavorecidas em relação a outras em um cenário de alterações do clima?

2 MATERIAL E MÉTODOS

Informações detalhadas referentes ao local de estudo e aos critérios de seleção das espécies foram apresentadas na seção Metodologia Geral.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES

Embora a conspicuidade dos anéis de crescimento possa variar em função do ambiente, as características diagnósticas dos anéis de crescimento são relativamente constantes em uma dada espécie (SCHWEINGRUBER, 2007). É de grande importância conhecer como ocorrem essas diferenciações para correta delimitação de cada anel e sua datação.

2.1.1 *Araucaria angustifolia*

Como característica geral das Gimnospermas, os anéis de crescimento são definidos por diferenças no espessamento e maior achatamento radial das paredes dos traqueídes axiais. Em *A. angustifolia* especificamente, os anéis são delimitados por uma fina camada de lenho tardio, com traqueídes axiais achatados radialmente e de paredes celulares grossas (ROIG, 2000) (FIGURA 1A). Evidências dendrocronológicas e dendroisotópicas demonstram que a periodicidade de formação dos anéis é anual (SEITZ; KANINNEN, 1989; LISI et al., 2001; OLIVEIRA, 2007).

2.1.2 *Cedrela fissilis*

Possui anéis de crescimento anuais muito bem definidos, reconhecíveis por anéis semiporosos e parênquima axial marginal. Esse tipo de anel é caracterizado por possuir vasos de grande diâmetro no lenho inicial e vasos menores no lenho tardio, porém com uma diminuição gradativa (FERREIRA, 2012) (FIGURA 1B). A anualidade dos anéis foi comprovada tanto em estágios iniciais do desenvolvimento da planta quanto na planta já adulta (MARCATI et al., 2006). Falsos anéis podem ser verificados, algumas vezes dificultando o processo de datação (CUSATIS et al., 2013).

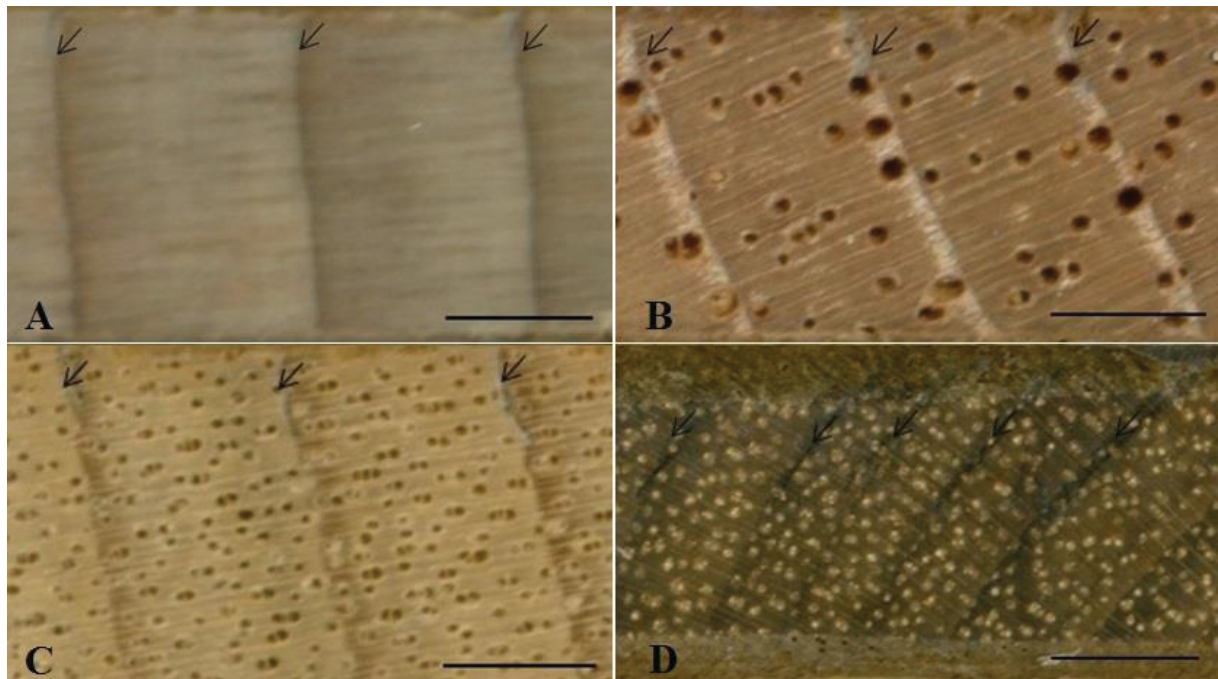
2.1.3 *Ocotea puberula*

O lenho de *Ocotea puberula* apresenta porosidade em arranjo radial, com anéis de crescimento distintos, individualizados por zonas fibrosas mais escuras (GUIMARÃES et al., 2017) (Figura 1C). Sua conformação assemelha-se as espécies *Ocotea porosa* (Nees) Barroso e *Nectandra magapotamica* (Lauraceae), sendo visíveis ao olho nu (RONDON NETO, 2003). Presença de falsos anéis (REIS-AVILA; OLIVEIRA, 2017).

2.1.4 *Ocotea odorifera*

Ocotea odorifera apresenta anéis de crescimento distintos, demarcados pelo achatamento radial das fibras e maior espessamento de suas paredes no lenho tardio, característica que a aproxima do padrão observado na família Lauraceae (Figura 1D). A porosidade é difusa, com os elementos de vaso apresentando praticamente o mesmo diâmetro ao longo do anel de crescimento e distribuídos uniformemente (SILVA, 2003). A espécie possui um tronco geralmente tortuoso, com quinas irregulares e pronunciadas, configurando anéis de crescimento geralmente excêntricos (REITZ et al., 1979).

FIGURA 1 – DEMARCAÇÃO DO LIMITE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Araucaria angustifolia* (A), *Cedrela fissilis* (B), *Ocotea puberula* (C) E *Ocotea odorifera* (D). BARRAS DE ESCALA DE 2 mm.



FONTE: A autora (2019).

2.2 ÁRVORES-AMOSTRA E PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

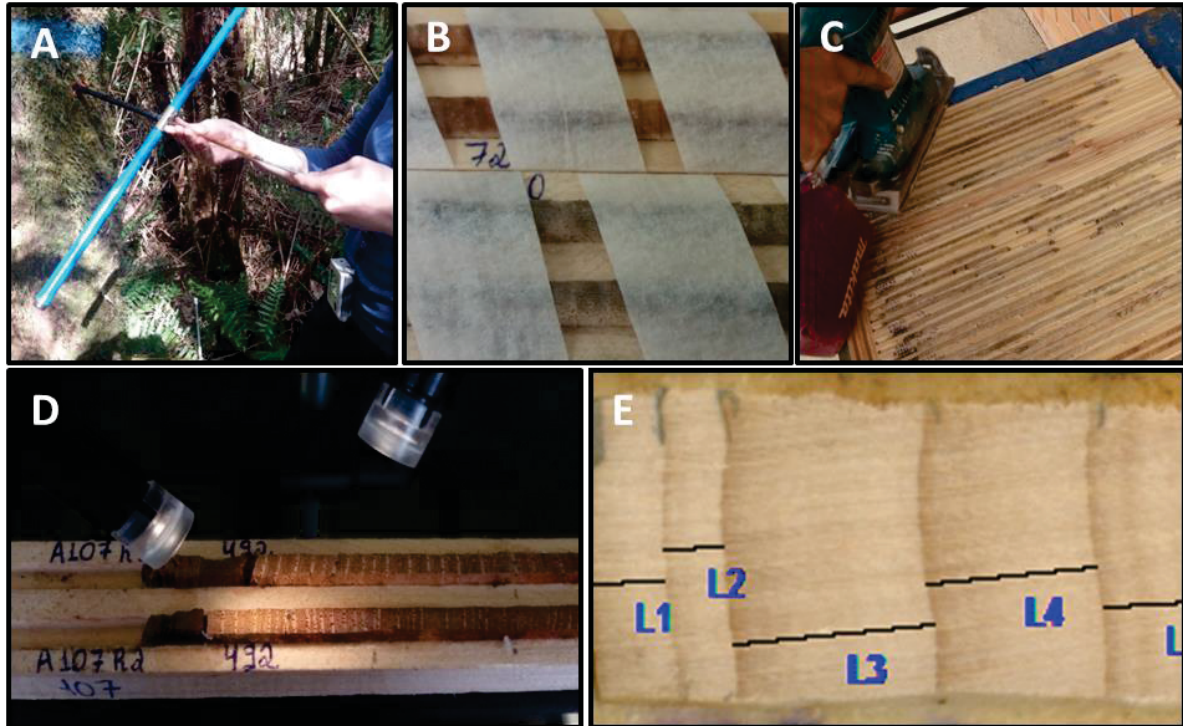
Entre os meses de setembro e outubro de 2017, 30 árvores de cada espécie (120 árvores no total) tiveram o lenho amostrado com o uso de um trado de incremento (500 mm de comprimento e 5.15 mm de diâmetro). A amostragem contemplou árvores em todas as classes de diâmetro, abrangendo a amplitude diamétrica de cada espécie, conforme informações de medições em 25 parcelas permanentes de um hectare cada (detalhes na Metodologia Geral). Dois rolos de incremento por árvore (ANATRO parcial) foram coletados a 1,30 m de altura, no sentido casca-medula.

Informações dendrométricas adicionais, como diâmetro à altura do peito (d), altura total (h), altura de inserção de copa (hic) e quatro medidas de raio da copa (rc) foram coletadas, o que permitiu o cálculo do diâmetro de copa ($dc = 2 * rc$) e do comprimento de copa ($cc = h - hic$).

No laboratório, as amostras foram secas ao ar livre e polidas empregando-se lixas de diferentes granulometrias (de 80 a 1200 grãos/cm²), a fim de evidenciar o limite dos anéis de crescimento. Os anéis foram demarcados com auxílio de lupa, e em seguida digitalizados com resolução de 1200 dpi para mensuração de suas larguras, utilizando-se o programa de análise IMAGE PRO-PLUS, com precisão de 0,001 mm. A Figura 2 ilustra as etapas de coleta e preparo das amostras e medição dos anéis de crescimento.

Um ciclo completo de crescimento para as espécies na região pode ser considerado agosto a julho (MATTOS et al., 2007; STEPKA, 2012; ZAMIN, 2013). Como as coletas foram realizadas entre setembro e outubro 2017, o último período de crescimento completo foi o de 2016-2017 (identificado como 2016), a partir do qual todas as sequências de anéis de crescimento puderam ser datadas (associadas a um ano do calendário).

FIGURA 2 - ETAPAS PARA OBTENÇÃO DE DADOS REFERENTES ÀS LARGURAS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO. (A) COLETA DAS AMOSTRAS DE LENHO; (B) FIXAÇÃO DAS AMOSTRAS EM SUPORTES PARA SECAGEM; (C) POLIMENTO; (D) DEMARCAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO; (E) MENSURAÇÃO DAS LARGURAS DOS ANÉIS EM AMBIENTE DIGITAL (IMAGE PRO-PLUS).



FONTE: A autora (2019).

2.3 OBTENÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS

O primeiro exame dos dados das larguras dos anéis de crescimento das espécies foi relacionado à datação cruzada, verificando-se graficamente a sincronização dos anéis entre raios da mesma árvore e entre as árvores. Quando detectados problemas de sincronização, uma reanálise das amostras foi feita, procurando-se evitar problemas em decorrência da presença de falsos anéis e/ou anéis faltantes.

O programa COFECHA (HOLMES, 1983) foi utilizado como auxiliador no processo de sincronização e na aferição estatística da datação. Os segmentos foram analisados de 50 em 50 anos e sobrepostos de 25 em 25 anos, estabelecendo o ponto crítico de correlação ($p \leq 0,01$) de 0,3281. Primeiramente foi realizado o processamento entre séries da mesma árvore. Posteriormente, uma a uma, as árvores foram sendo adicionadas à cronologia, buscando-se a datação entre árvores.

Finalmente, o programa ARSTAN (COOK; HOLMES, 1984) foi utilizado para remoção de tendências de crescimento, com a padronização das séries, por meio do ajuste das

mensurações originais dos anéis de crescimento. Neste caso, o ajuste foi realizado com uma função exponencial negativa. O processamento realizado pelo ARSTAN envolve a divisão do valor de incremento medido (real) pelo correspondente valor da curva ajustada, gerando-se um índice resultante (índice de crescimento). Este índice reduz as variações relacionadas à idade biológica e perturbação endógena de local, maximizando a percentagem de variância comum das larguras dos anéis entre as diferentes séries de um mesmo local (STEPKA, 2012). Por exemplo, a largura dos anéis de crescimento pode diminuir em árvores maiores devido ao aumento da área do fuste que o anel deve cobrir (JOHNSON et al., 2017), mas ainda assim há, ou deveria haver, uma proporcionalidade dessas larguras entre árvores, ressaltando-se a importância da padronização.

O parâmetro EPS (*Expressed Population Signal*) (WIGLEY et al., 1984) foi calculado para avaliar a robustez das cronologias geradas, analisado a cada 20 anos e sobreposto a cada 10 anos. EPS é um método padrão na dendrocronologia usado para avaliar quão bem uma cronologia de n séries de anéis de crescimento representa o sinal teórico da população, em um determinado período. É calculado por:

$$EPS: \frac{n\bar{r}}{[1 + (n - 1)\bar{r}]}$$

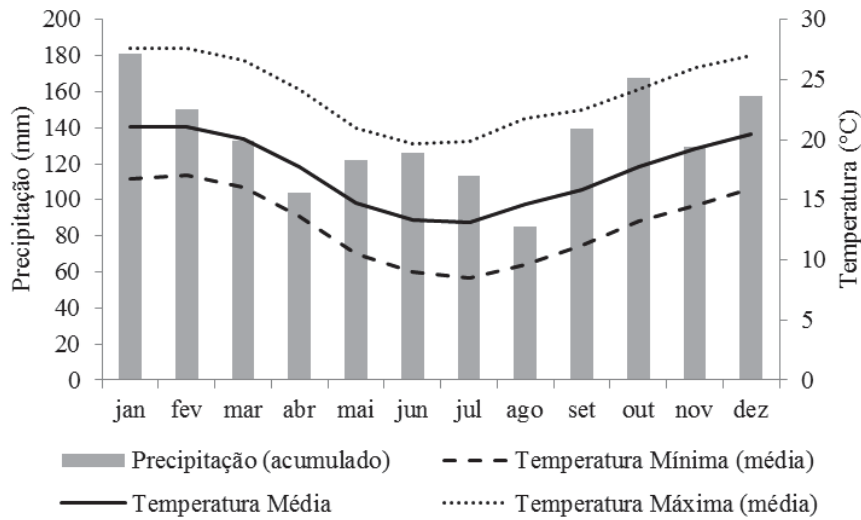
Em que: n = número de séries de anéis de árvores usadas na construção da cronologia; \bar{r} = correlação média entre as séries.

Valores maiores que 0,85 (WIGLEY et al., 1984) indicam que o número de amostras que integram a cronologia é grande o suficiente para capturar uma porcentagem adequada do sinal teórico presente em uma cronologia infinitamente replicada (JENKINS et al., 2013).

2.4 ANÁLISES DENDROCLIMÁTICAS

Compreendendo o período de 1963 a 2017, foram catalogados dados de precipitação, temperatura mínima, média e máxima, umidade relativa do ar, evaporação e insolação provenientes da Estação Meteorológica de Fernandes Pinheiro, estado do Paraná, disponibilizados pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). A estação meteorológica fica a aproximadamente 2 km (linha reta) do local da coleta de dados. A distribuição da precipitação e temperaturas ao longo do ano pode ser vista na Figura 3.

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURAS MÍNIMAS, MÉDIAS E MÁXIMAS ENTRE OS ANOS DE 1963 E 2017 NA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: A autora (2019).

O coeficiente de correlação de Pearson foi utilizado para avaliar as relações entre o incremento anual (Cronologia Standard do Arstan) e médias climáticas mensais e por estação, abrangendo o clima do ano de crescimento (corrente) e do ano anterior (verificar possível mobilização de reservas de um ano para outro). Foram pareados, ano a ano, os valores médios mensais/por estação das variáveis climáticas com o índice de crescimento para correlações do ano corrente, e deslocando-se a série em um ano para testar a influência do ano anterior.

Na sequência, as variáveis climáticas que apresentaram correlações significativas ($p \leq 0,05$) foram selecionadas como variáveis independentes para a geração de modelos pelo processo de regressão passo a passo (*Stepwise*), por meio do programa estatístico R. Empregou-se o método “*both*”, e o Critério de Informação de Akaike (AIC) foi utilizado na decisão de inserir e remover variáveis do modelo, dessa forma, penalizando os modelos em função do número de parâmetros adicionados e da relação entre as variáveis.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS

O diâmetro das árvores-amostra variou entre 17,2 e 100,3 cm para *A. angustifolia*, entre 19,35 e 80,0 para *C. fissilis*, entre 16,7 e 88,8 para *O. puberula* e entre 12,6 e 61,8 para *O. odorifera* (TABELA 1), identificando que a amostragem conseguiu fazer uma representação aproximada da estrutura diamétrica das espécies no local (Capítulo I). Variáveis dendrométricas adicionais também estão descritas para cada espécie na Tabela 1, permitindo assim uma melhor caracterização das árvores-amostra.

TABELA 1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DE VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS DOS INDIVÍDUOS DE *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis*, *Ocotea puberula* E *Ocotea odorifera* AMOSTRADOS EM FLORESTA OMBROFÍLA MISTA NA FLORESTA NACIONAL DE IRATI.

Espécie	Variável	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
<i>A. angustifolia</i>	d	63,5	21,8	34,3
	h	19,6	3,2	16,2
	hic	15,7	2,5	15,9
	dc	12,1	4,1	34,1
	cc	3,9	1,9	48,9
<i>C. fissilis</i>	d	45,0	16,6	37,0
	h	15,5	2,8	18,2
	hic	9,0	1,9	21,0
	dc	9,6	4,0	41,9
	cc	6,5	2,2	33,8
<i>O. puberula</i>	d	40,6	17,1	42,1
	h	13,8	2,8	20,4
	hic	9,3	2,3	24,4
	dc	6,4	2,9	45,1
	cc	4,4	2,8	63,7
<i>O. odorifera</i>	d	29,4	10,8	36,5
	h	9,9	2,5	25,2
	hic	5,6	1,8	31,8
	dc	7,3	3,5	48,5
	cc	4,3	2,4	55,2

d = diâmetro a 1,3 m (em cm); h = altura total (em m); hic = altura de inserção de copa (em m); dc = diâmetro de copa (em m); cc = comprimento de copa (em m).

FONTE: A autora (2019).

3.2 CONSTRUÇÃO DAS CRONOLOGIAS

Durante o processo de demarcação dos anéis de crescimento, dificuldades de identificação foram observadas para a espécie *O. odorifera*. Essas dificuldades persistiram no processo de datação, não se conseguindo alcançar correlações significativas entre as amostras (não atingiu o ponto crítico de intercorrelação). Apesar do padrão de delimitação dos anéis similar ao de *O. puberula* (família das Lauraceae), próximo à casca a visualização fica indistinta em muitas séries. A Figura 4 ilustra a dificuldade de identificação do limite dos anéis de crescimento de *O. odorifera* em certos segmentos ao longo da amostra, especialmente próximo à casca. Desta maneira, a cronologia para a espécie *O. odorifera* não foi gerada, e a espécie não foi considerada nas análises subsequentes.

FIGURA 4 - SEQUÊNCIA DE ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *O. odorifera* DE DIFÍCIL IDENTIFICAÇÃO PRÓXIMO A CASCA. BARRA DE ESCALA DE 2 mm.



FONTE: A autora (2019).

O número médio de anéis de crescimento por árvore foi de 92,6 (40-245) para a espécie *A. angustifolia*, de 94,6 (33-168) para *C. fissilis*, e de 73,3 (36-135) para *O. puberula* (não corresponde à idade média, pois abrange séries em que não se alcançou a medula durante a amostragem - Ver capítulo III). Assim, as séries datadas estabeleceram 245 anos, 168 anos e 135 anos de recuo para cada espécie, respectivamente (TABELA 2). A análise dos segmentos de 50 em 50 anos e sobrepostos de 25 em 25 foi adotada uma vez que a grande maioria das séries de crescimento apresentaram tamanho maior que 50 anos.

TABELA 2 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*.

Descrição	Espécie		
	<i>A. angustifolia</i>	<i>C. fissilis</i>	<i>O. puberula</i>
Intervalo de tempo	1772-2016 (245 anos)	1849-2016 (168 anos)	1882-2016 (135 anos)
Número de árvores	26 (de 30)	26 (de 30)	22 (de 30)
Número de séries datadas ^a	44	51	42
Número de anéis de crescimento	4075	4827	3079
Sensibilidade média ^b	0,364	0,624	0,437
Intercorrelação ^c	0,330	0,355	0,329

^aSérie é o raio individual após a datação cruzada. ^bA sensibilidade média é uma medida da variabilidade interanual das larguras dos anéis de crescimento. ^cA intercorrelação indica a intensidade de sinal comum entre as árvores. O limite crítico para correlação foi de 0,3281 com 99% de confiança.

FONTE: A autora (2019).

Os maiores valores de sensibilidade média foram identificados para a espécie *C. fissilis* (0,624). Valores similares a superiores (0,649-0,876) foram identificados por Ferreira (2012) trabalhando com cinco cronologias de Cedro em remanescentes naturais de Floresta Estacional Semi-decídua urbana, cidade de São Paulo. Contrariamente, Andreacci et al. (2014) encontraram valores de sensibilidade menores, sendo de 0,49 para *C. fissilis* em uma Floresta Ombrófila Densa Submontana e de 0,471 em uma Floresta Ombrófila Mista Montana (similiar a do presente estudo).

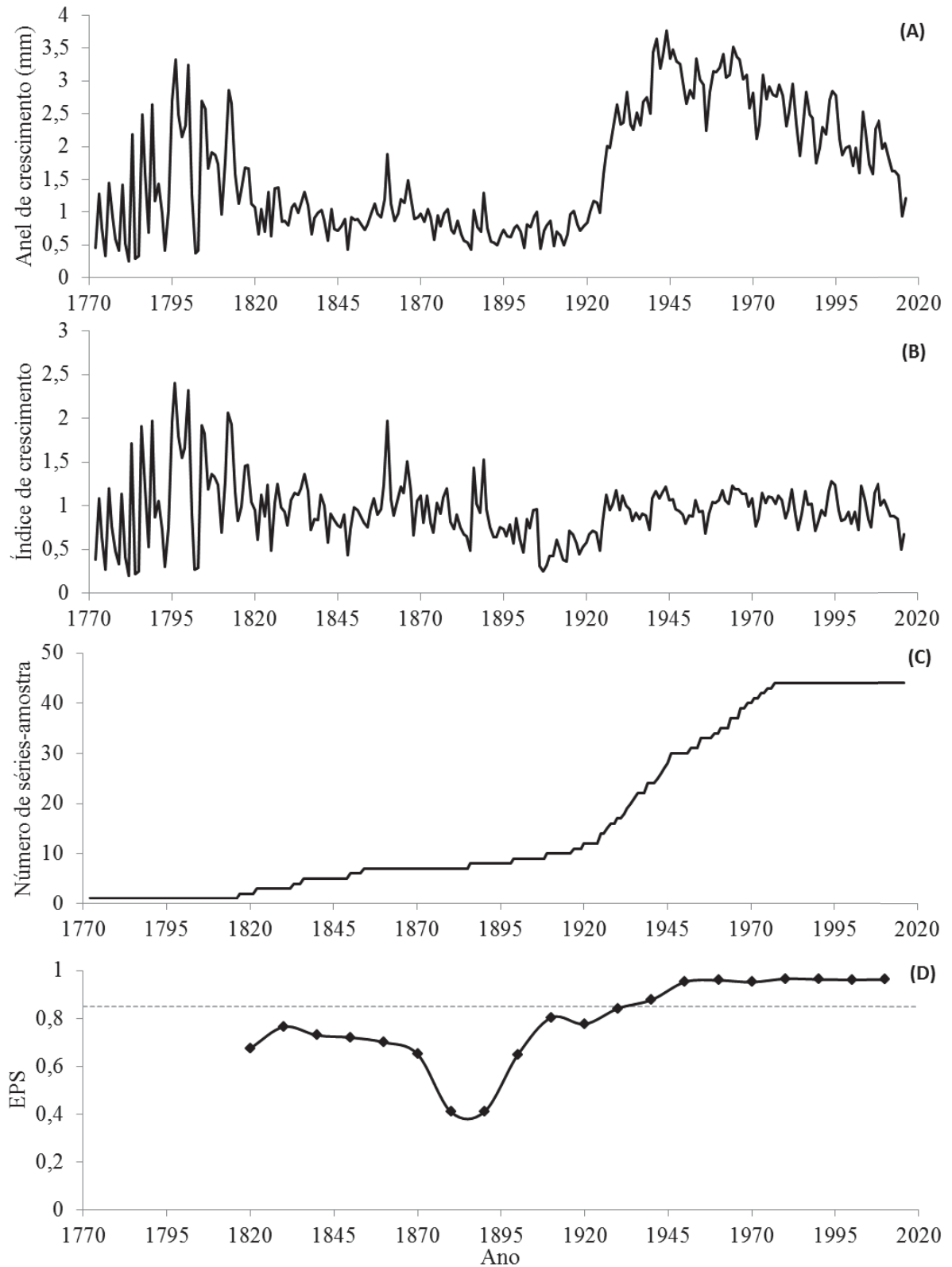
Para a espécie Araucária, o valor de sensibilidade encontrado neste estudo foi superior ao verificado por Oliveira et al. (2010) (0,24 e 0,16). Para *O. puberula*, o valor encontrado neste trabalho também foi superior ao valor de 0,328 encontrado por Figueiredo-Filho et al. (2017) trabalhando com árvores mais jovens estabelecidas sob um plantio de Araucária próximo ao local de estudo.

Algumas séries precisaram ser descartadas da análise por problemas de danos nas amostras. No caso da espécie *O. puberula*, as árvores de maiores diâmetros geralmente apresentam ocos, prejudicando a identificação dos anéis. Além disso, também houve casos em que foi necessário descartar determinadas séries pela baixa correlação com a Master (série média). Estas baixas correlações geralmente estão relacionadas a variações de crescimento devido a fatores individuais, que podem gerar ruídos na cronologia. Especificamente para a dendroclimatologia, um ruído pode ser, por exemplo, as liberações de crescimento devido à mortalidade de árvores vizinhas (SPEER, 2010). Após esse processo, foram identificadas

intercorrelações significativas entre séries de crescimento para as espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula* (TABELA 2), evidenciando a correta datação.

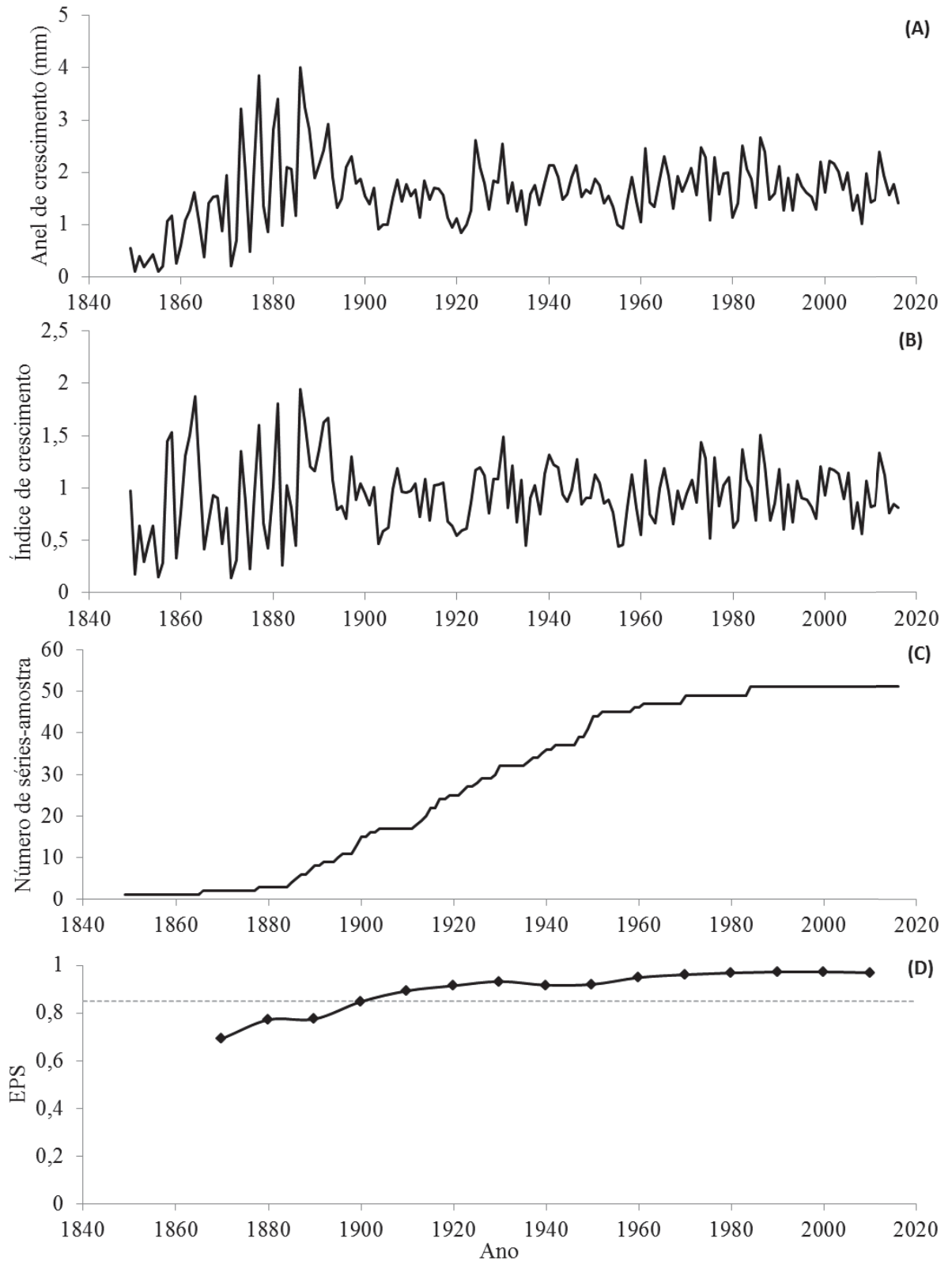
Assim, foram geradas cronologias para *A. angustifolia*, *C. fissilis*, *O. puberula*. As Figuras 5, 6 e 7 apresentam a média das larguras dos anéis de crescimento, os índices de crescimentos gerados (cronologia Standard do Arstan), o número de amostras por período e os valores de EPS. Comparando-se os valores das larguras reais com os valores padronizados fica evidente como a padronização das séries auxilia na retirada de tendências, especialmente aquelas relacionadas à idade, gerando um índice adimensional com média desenhada como uma linha reta de valor 1 (Figuras 5, 6, 7 A e B).

FIGURA 5 – DESENVOLVIMENTO DA CRONOLOGIA PARA *Araucaria angustifolia*. DADOS REFERENTES À LARGURA MÉDIA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (A); À CRONOLOGIA (B); AO NÚMERO DE SÉRIES-AMOSTRA QUE COMPÕEM A CRONOLOGIA EM CADA PERÍODO (C); E AO VALOR DE EPS (D).



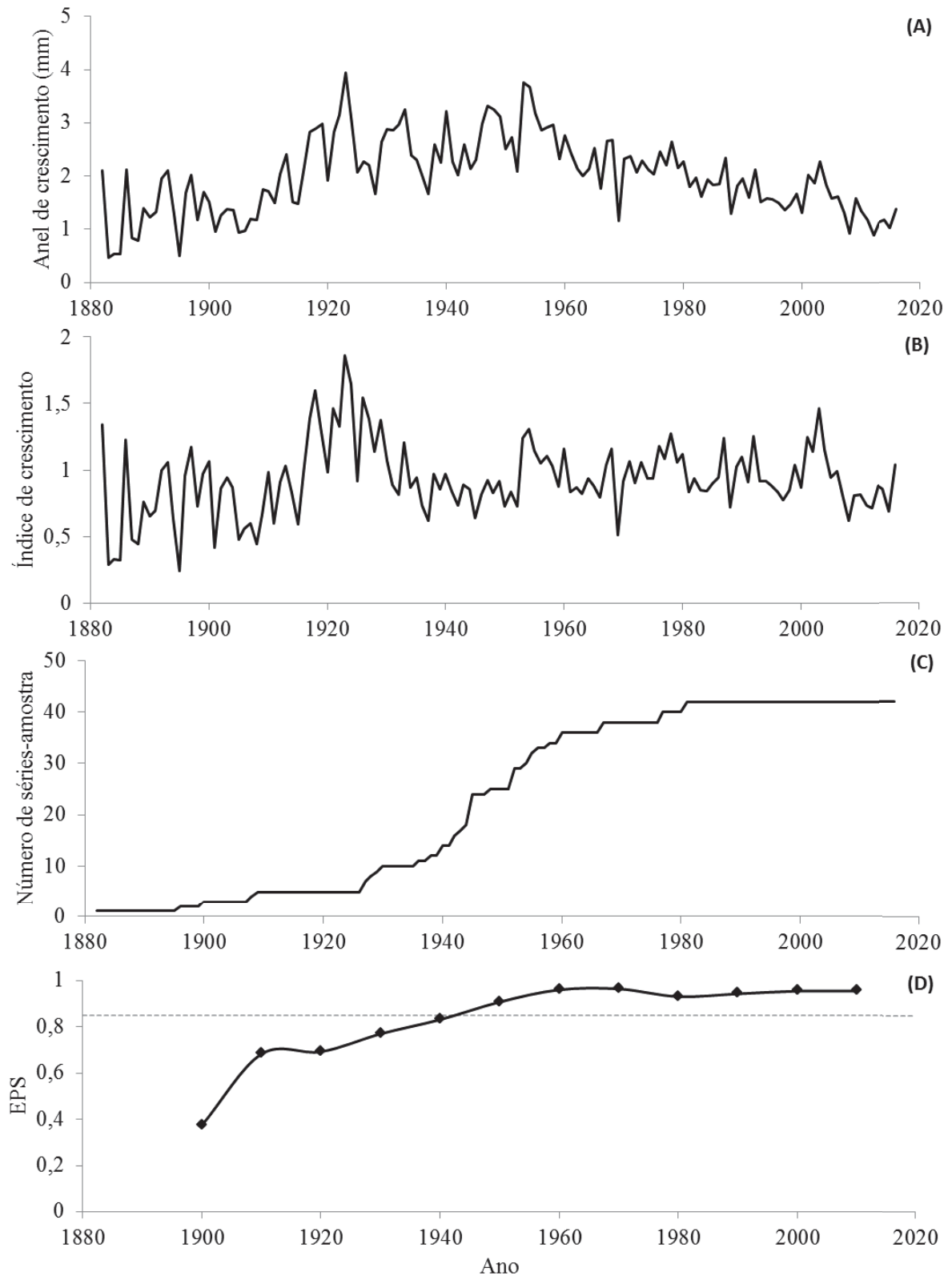
FONTE: A autora (2019).

FIGURA 6 - DESENVOLVIMENTO DA CRONOLOGIA PARA *Cedrela fissilis*. DADOS REFERENTES À LARGURA MÉDIA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (A); À CRONOLOGIA (B); AO NÚMERO DE SÉRIES-AMOSTRA QUE COMPÕEM A CRONOLOGIA EM CADA PERÍODO (C); E AO VALOR DE EPS (D).



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 7 - DESENVOLVIMENTO DA CRONOLOGIA PARA *Ocotea puberula*. DADOS REFERENTES À LARGURA MÉDIA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (A); À CRONOLOGIA (B); AO NÚMERO DE SÉRIES-AMOSTRA QUE COMPÕEM A CRONOLOGIA EM CADA PERÍODO (C); E AO VALOR DE EPS (D).



FONTE: A autora (2019).

Para *A. angustifolia*, cronologias também foram desenvolvidas por Oliveira et al. (2010), Stepka (2012) e Cubas (2015), alcançando até 143 anos, 229 anos e 75 anos de recuo e valores de intercorrelação de até 0,34, 0,42 e 0,40, respectivamente. Dünisch (2005), Ferreira (2012) e Andreacci et al. (2014) geraram cronologias para *C. fissilis*, alcançando até 189 anos, 119 anos e 37 anos de recuo e valores de até 0,43, 0,43 e 0,56 para correlação entre séries. Figueiredo Filho et al. (2017) estudaram o início da regeneração de *O. puberula* sob um plantio de Araucária na mesma Floresta Nacional do presente estudo, no entanto os autores não chegaram a correlações significativas entre as séries de crescimento para esta espécie.

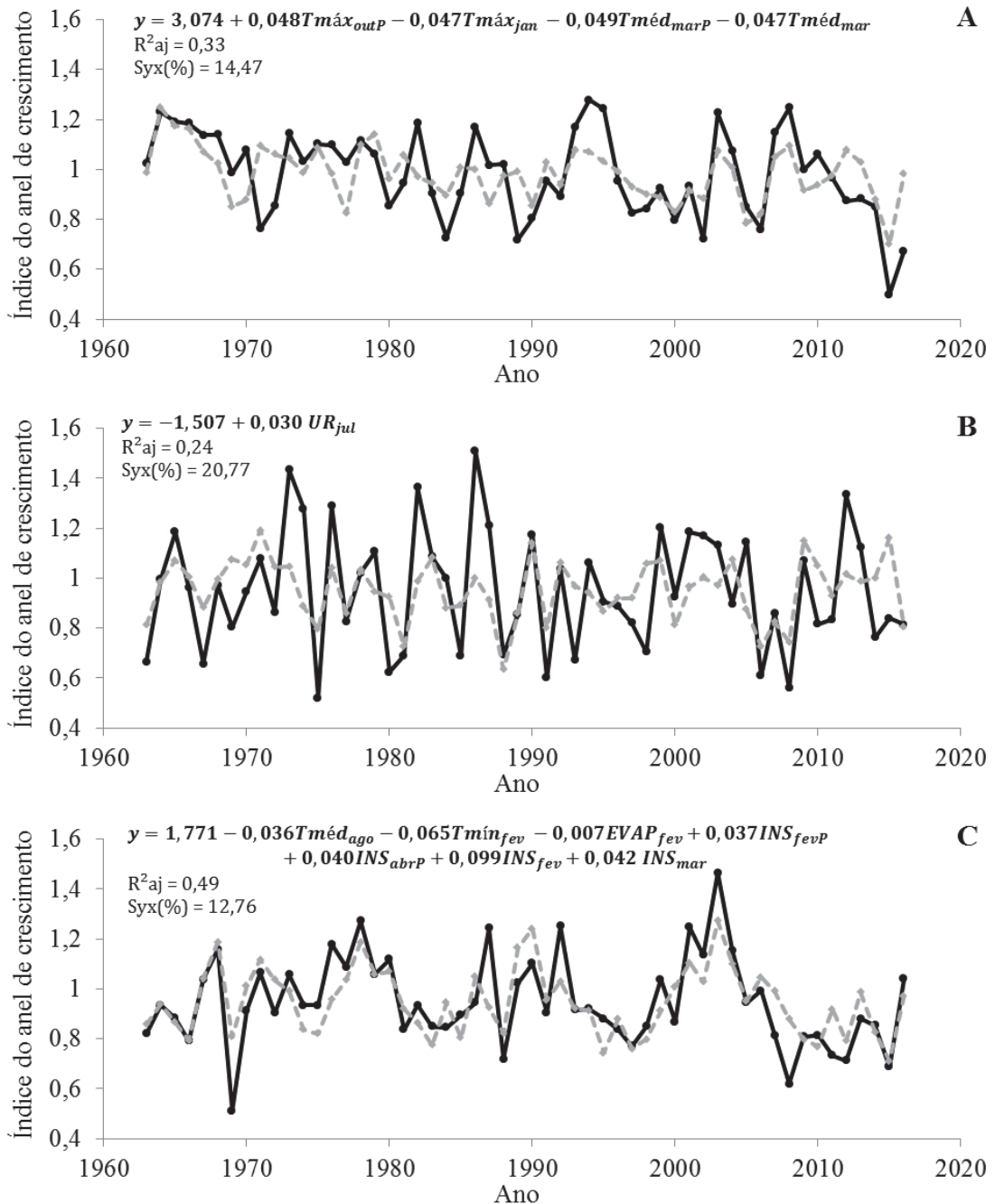
Quanto aos valores do EPS, foram observados períodos com sinal bastante forte, com tendência de redução em períodos mais iniciais das cronologias, devido à diminuição do número de séries. Especialmente para *A. angustifolia*, uma queda nos valores de EPS para segmentos no meio da cronologia, próximo ao ano de 1930, representa o período em que ocorre uma redução significativa do número de amostras (FIGURA 5C e 5D). De modo geral, os maiores valores foram verificados para a espécie *C. fissilis*, e valores um pouco menores foram encontrados para *O. puberula* e *A. angustifolia*. Em alguns segmentos, esses valores de EPS ficaram abaixo da referência de 0,85 sugerida por Wigley (1984). Piraino et al. (2015) relataram, no entanto, a dificuldade em alcançar esse valor quando se trabalha com diferentes tipologias florestais em diferentes regiões, e adaptaram esta estimativa para um mínimo de 0,75. Longhi-Santos (2017) discutiu a necessidade de ajuste destes valores no desenvolvimento de cronologias em regiões de clima subtropical e sugeriu uma adaptação dos valores de referência para cada região bioclimática.

3.3 ANÁLISES DENDROCLIMÁTICAS

A partir das cronologias geradas foi possível, então, relacionar os índices de crescimento com as variáveis climáticas mensais e por período, no intervalo de 1963 a 2016, compreendendo 53 anos. Aquelas variáveis que apresentaram correlação significativa foram selecionadas para geração de modelos para cada espécie. Os valores observados e estimados do índice de crescimento em função de variáveis climáticas mensais e por estação, gerados pelo processo *Stepwise*, são apresentados nas Figuras 8 e 9, plotados sobre os anos de observação. As equações são apresentadas sobre cada gráfico, onde $T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{e}d}$, $T_{m\acute{i}n}$, UR, EVAP e INS são, respectivamente, as variáveis temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa, evaporação e insolação, em um determinado mês do ano corrente ou prévio

(p). Em relação às estações, SON corresponde à primavera, DJF ao verão, MAM ao outono e JJA ao inverno.

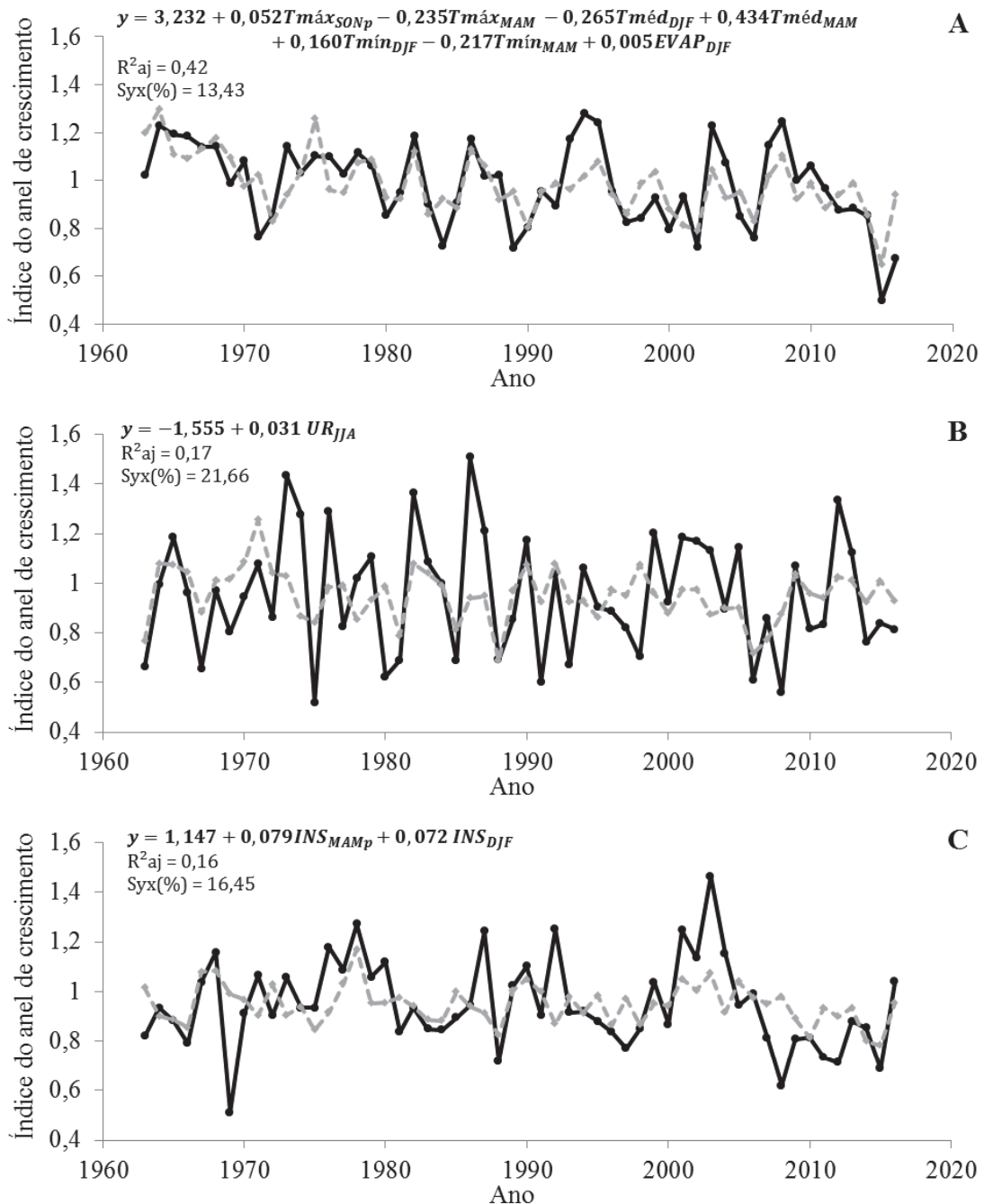
FIGURA 8 – ÍNDICE DE CRESCIMENTO ANUAL OBSERVADO (LINHAS PRETAS) E PREDITO (LINHAS CINZA), DESCRITO POR VARIÁVEIS CLIMÁTICAS MENSAIS PARA AS ESPÉCIES *Araucaria angustifolia* (A), *Cedrela fissilis* (B) E *Ocotea puberula* (C)



*Variáveis mensais: Tmáx = temperatura máxima; Tméd = temperatura média; Tmín = temperatura mínima; UR = umidade relativa; EVAP = evaporação; e INS = insolação. Quando seguidas pela letra “P” são referentes a determinado mês do ano anterior; quando sozinhas referem-se ao mês do ano corrente. y= Índice de crescimento anual.

FONTE: A autora (2019).

FIGURA 9 – ÍNDICE DE CRESCIMENTO ANUAL OBSERVADO (LINHAS PRETAS) E PREDITO (LINHAS CINZA), DESCRITO POR VARIÁVEIS CLIMÁTICAS AGRUPADAS POR ESTAÇÃO PARA AS ESPÉCIES *Araucaria angustifolia* (A), *Cedrela fissilis* (B) E *Ocotea puberula* (C).



*Variáveis por estação: $Tmáx$ = temperatura máxima; $Tméd$ = temperatura média; $Tmín$ = temperatura mínima; UR = umidade relativa; EVAP = evaporação; e INS = insolação. SON corresponde à primavera, DJF ao verão, MAM ao outono e JJA ao inverno. Quando seguidas pela letra “P” são referentes a determinada estação do ano anterior; quando sozinhas referem-se à estação do ano corrente. y = Índice de crescimento anual.

FONTE: A autora (2019).

Por meio de variáveis climáticas mensais foi possível explicar até 33%, 24% e 49% da variação de crescimento de *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, respectivamente (valores

de R^2 ajustado). Com o uso de variáveis agrupadas por estação, esses valores foram de 42%, 17% e 16%. Todos os coeficientes foram significativos ($p \leq 0,05$).

Para as espécies *O. puberula* e *C. fissilis*, quando se considerou apenas médias climáticas de determinados meses foi possível explicar melhor o crescimento do ano do que quando consideradas variáveis médias por estação (FIGURAS 8 e 9 e detalhes das correlações de cada variável climática podem ser verificados no ANEXO A, B e C). Esse fato decorre provavelmente da maior alternância das relações entre os meses para estas espécies, ou seja, uma correlação positiva verificada do crescimento com a temperatura do mês de janeiro, por exemplo, passa a ser negativa com a temperatura do mês de fevereiro (dentro da mesma estação), ou a apresentar uma relação muito baixa. Dessa maneira, esse padrão pode não ficar bem representado quando se trabalha com as variáveis climáticas agrupadas por estações. Já para *A. angustifolia*, verificou-se padrões mais bem definidos, e por isso, as médias climáticas por estação representaram melhor o crescimento.

Além disso, as variáveis climáticas mais correlacionadas com o crescimento variaram entre as espécies. Para *A. angustifolia* foi possível constatar uma limitação de crescimento ditada principalmente pela temperatura máxima, seguida das temperaturas médias e mínimas e da evaporação. Esta maior limitação pela temperatura confirma o que era esperado para a espécie na região, e corrobora com trabalhos de outros autores (OLIVEIRA et al., 2010; STEPKA, 2012). No que se refere às angiospermas avaliadas, para *C. fissilis* apenas a variável umidade relativa foi selecionada, sendo encontradas relações geralmente baixas com as demais variáveis. Esses resultados corroboram com o que foi identificado por Cusatis et al. (2013), que relataram a umidade relativa do ar como sendo a única variável significativamente correlacionada com o crescimento de *C. fissilis* em seis municípios na divisa leste dos estados do Paraná e Santa Catarina. No caso de *O. puberula*, além das variáveis temperatura média, mínima e evaporação, que também contribuíram para o crescimento de *A. angustifolia*, a insolação passa a ser uma variável importante a se considerar, apresentando relação positiva com o crescimento.

Os valores de correlação com a variável precipitação foram geralmente baixos, não tendo sido selecionados para os modelos em nenhuma das espécies. Quando esta variável chegou a apresentar significância, isto ocorreu para correlação negativa, o que pode estar associado aos resultados de correlação positiva para a insolação. Considerando a região sul do Brasil, independentemente da espécie estudada, outros autores têm encontrado resultados semelhantes para a variável precipitação (OLIVEIRA et al., 2010; ANDREACCI et al., 2014;

MIRANDA, 2015; LONGHI-SANTOS, 2017), o que se justifica pela boa distribuição de chuvas durante o ano, não caracterizando um fator limitante do crescimento no local.

A inclusão de variáveis climáticas do ano anterior ao de crescimento contribuiu com as análises, identificando-se haver influência das variações do clima no período anterior para o crescimento do ano corrente. Isso se justifica porque as condições anteriores podem afetar a quantidade de carbono fixado e alocado para o crescimento das árvores (FOSTER; BROOKS, 2001). Höll (1985) descreveu a formação de reservas de nutrientes, que por sua vez são mobilizadas no início do próximo período de crescimento. Oliveira et al. (2010) acrescentam que as condições climáticas no final da estação de crescimento anterior (especialmente em relação à temperatura) determinam se a espécie mobiliza carboidratos para a formação de madeira no final da temporada ou armazena-os para o próximo período de crescimento.

Em um cenário de aumento de temperaturas, *A. angustifolia* é identificada como sendo a espécie mais vulnerável dentre as avaliadas, uma vez que suas respostas de crescimento ao aumento de temperatura são geralmente negativas (correlação negativa do crescimento com a temperatura máxima - com exceção da relação do ano anterior - ANEXO A), favorecendo-se assim as angiospermas. Wrege et al. (2017), projetando a distribuição geográfica futura da *A. angustifolia* por meio de modelos de nicho e genética de populações (modelos Niche Mosaic e Bioclim), com base em cenários climáticos futuros do IPCC, alertaram que mudanças climáticas globais se constituem em nova ameaça para a espécie, estimando grande redução em sua área de ocorrência. As influências da temperatura máxima no crescimento de *A. angustifolia* observadas no presente trabalho sugerem, de certo modo, concordância com este alerta.

C. fissilis foi a espécie que, de modo geral, apresentou-se menos sensível às variações nas condições do clima. Dentre todas, foi também a espécie que teve seu crescimento melhor explicado por variáveis que representam a competição (Ver Capítulo I). Possivelmente, o crescimento dessa espécie seja mais condicionado a variações de fatores ambientais como a competição, e por consequência, exibe menores variações relacionadas aos fatores do clima. Espécies com respostas de crescimento sob maior influência de processos internos da comunidade do que fatores climáticos externos foram identificadas por Zhang et al. (2015) e por Jiang et al. (2018), estudando a dinâmica de florestas no oeste do Canadá.

Contrariamente, Landsberg (2003) apontou as variações climáticas como as principais causas para maior ou menor desenvolvimento de uma floresta, evidenciando a importância destas em prever mudanças na curva de crescimento. À vista disso, torna-se possível a flexibilização de modelos, permitindo previsões para diferentes cenários climáticos, o que não

é alcançado por meio de métodos tradicionais de classificação de sítio, por exemplo (CASTRO-NETO, 2015).

Assim, os resultados do presente trabalho fornecem informações adicionais sobre fatores climáticos que contribuem para modelos de crescimento, relatando um importante campo de pesquisa, considerando o planejamento de ações para a conservação e manejo florestal de espécies no futuro.

4 CONCLUSÕES

- As cronologias construídas estão entre as mais extensas estabelecidas para as espécies na região, as quais atendem aos princípios dendrocronológicos e apresentam comportamentos distintos, com exceção da espécie *O. odorifera*.
- Respostas de crescimento ao clima variam entre as espécies, encontrando-se espécies mais sensíveis às variações climáticas.
- De modo geral, temperatura máxima, umidade relativa e insolação estão entre os fatores mais limitantes para o crescimento das espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, respectivamente.
- Em um cenário de aquecimento global, *A. angustifolia* conjectura-se como espécie mais vulnerável, dentre as espécies avaliadas, com redução de seu crescimento.
- A inclusão de variáveis climáticas em modelos de crescimento pode contribuir para o manejo e conservação das espécies, permitindo prever seu desenvolvimento em condições variáveis de clima.

REFERÊNCIAS

- ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de Florestas Ombrófilas do sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 44, n. 2, p. 323-332, 2014.
- BONAN, G.B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, 1444–1449, 2008.
- CASTRO-NETO, F. **Uso de variáveis climáticas para classificação de sítios em povoamentos de Eucalipto**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2015.
- COOK, E. R.; HOLMES, R. L. **Program ARSTAN user’s manual**. Tucson: The University of Arizona Press, 1984, 15 p.
- CUBAS, R. **Restabelecimento de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* após sete décadas da exploração florestal**. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal da Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- CUSATIS, A. C.; TRAZZI, P. A.; DOBNER JR, M.; HIGA, A. R. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 287-297, 2013.
- DÜNISCH, O. Influence of the El Niño southern oscillation on cambial growth of *Cedrela fissilis* Vell. In tropical and subtropical Brazil. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Hamburg, v. 79, n. 1, p. 5-11, 2005.
- FERREIRA, G. B. **Análise dendroclimatológica do cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2012.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. S.; RETSLAFF, F. S.; LONGHI-SANTOS, T. STEPKA, T. F. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00104814, 2017.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos da Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/ CPEF/ FATEC, 1992. 269 p.
- FOSTER, T. E.; BROOKS, J. R. Long-term trends in growth of *Pinus palustris* and *Pinus elliottii* along a hydrological gradient in central Florida. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 31, p. 1661–1670, 2001.
- FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976, 567 p.
- GUIMARÃES, B. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; RODRIGUES, A. C. Caracterização anatômica macroscópica do lenho de árvores de espécies de canela, *Ocotea* e *Nectandra*

(Lauraceae), ocorrentes no estado de Santa Catarina. **Revista Biotemas**, v. 30, n.3, p. 9-24, 2017.

HARLEY, G. L.; GRISSINO-MAYER, H. D.; HORN, S. P. The Dendrochronology of *Pinus elliottii* in the Lower Florida Keys: Chronology Development and Climate Response. **Tree-Ring Research**, Tucson, v. 67, n. 1, p. 39-50, 2011.

HÖLL, W. Seasonal fluctuation of reserve materials in the trunk wood of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 117, p. 355-362, 1985.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v. 43, p. 69-75, 1983.

IPCC, 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. **In: Global Warming of 1.5°C**. 2018. Disponível em: <
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/11/SR15_Chapter3_High_Res.pdf>
Acesso em: 19 dez. 2018.

JENKINS, H. S.; BAKER, P. A.; NEGRÓN-JUÁREZ, R. I. Eventos extremos de seca na Amazônia revelados pelos registros de anéis de árvores. **In: BORMA, L. S.; NOBRE, C. A. Secas na Amazônia: Causas e consequências**. Oficina de textos. 2013. 367p.

JIANG, X.; HUANG, J.; CHENG, J. DAWSON, A.; STADT, K. J.; COMEAU, P. G.; CHEN, H. Y. H. Interspecific variation in growth responses to tree size, competition and climate of western Canadian boreal mixed forests. **Science of the Total Environment**, v. 631–632, p. 1070–1078, 2018.

JOHNSON, C.; CHHIN, S.; ZHANG, J. Effects of climate on competitive dynamics in mixed conifer forests of the Sierra Nevada. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v. 394, p. 1-12, 2017.

LANDSBERG, J. Physiology in forest models: history and the future. **Forest Biometry, Modelling and Information Sciences**, Oxford, v. 1, p. 49-63, 2003.

LISI, C. S.; PESSEDA, L. C. R.; TOMAZELLO, M. 14C bomb effect in tree rings of tropical and subtropical species of Brazil. **Tree-Ring Research**, v. 57, n. 2, p. 191-196, 2001.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Mull. Arg. em duas condições geomorfológicas no Sul do Brasil**. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LÓPEZ, L.; VILLALBA, R. An assessment of *Schinopsis brasiliensis* Engler (Anacardiaceae) for dendroclimatological applications in the tropical Cerrado and Chaco forests, Bolivia. **Dendrochronologia**, v. 40, p. 85–92, 2016.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R. F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **IAWA Journal**, v. 27, n. 2, p. 199-211, 2006.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista no Município de Candói-PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.54, p 153-156, 2007.

MIRANDA, B.P. **Dendroecologia de *Ilex microdonta* Reissek e *Drimys brasiliensis* Miers em dois ambientes altomontanos da Serra do Mar, Paraná, Brasil**. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MOLLO, L. **Efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não-estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* (Carrière) Harms (Bromeliaceae) cultivadas in vitro**. 104 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2009.

NITSCHKE, C. R.; NICHOLS, S.; ALLEN, K.; DOBBS, C.; LIVESLEY, S. J.; BAKER, P. J.; LYNCH, Y. The influence of climate and drought on urban tree growth in southeast Australia and the implications for future growth under climate change. **Landscape and Urban Planning**, v. 167, p. 275–287, 2017.

OLIVEIRA, M. J. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 139 f. Tese (Doutorado em Ciências) –Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, M. J.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, Windsor, v. 35, p. 134-147, 2010.

PIRAINO, S. et al. Geomorphological-related heterogeneity as reflected in tree growth and its relationships with climate of Monte Desert *Prosopis flexuosa* DC woodlands. **Trees**, v. 29, n. 3, p. 903-916, 2015.

PRICE, T. DAVID.; COOKE, B. J.; METSARANTA, J. M.; KURZ, W. A. If forest dynamics in Canada's west are driven mainly by competition, why did they change? Half-century evidence says: Climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 32, 2015.

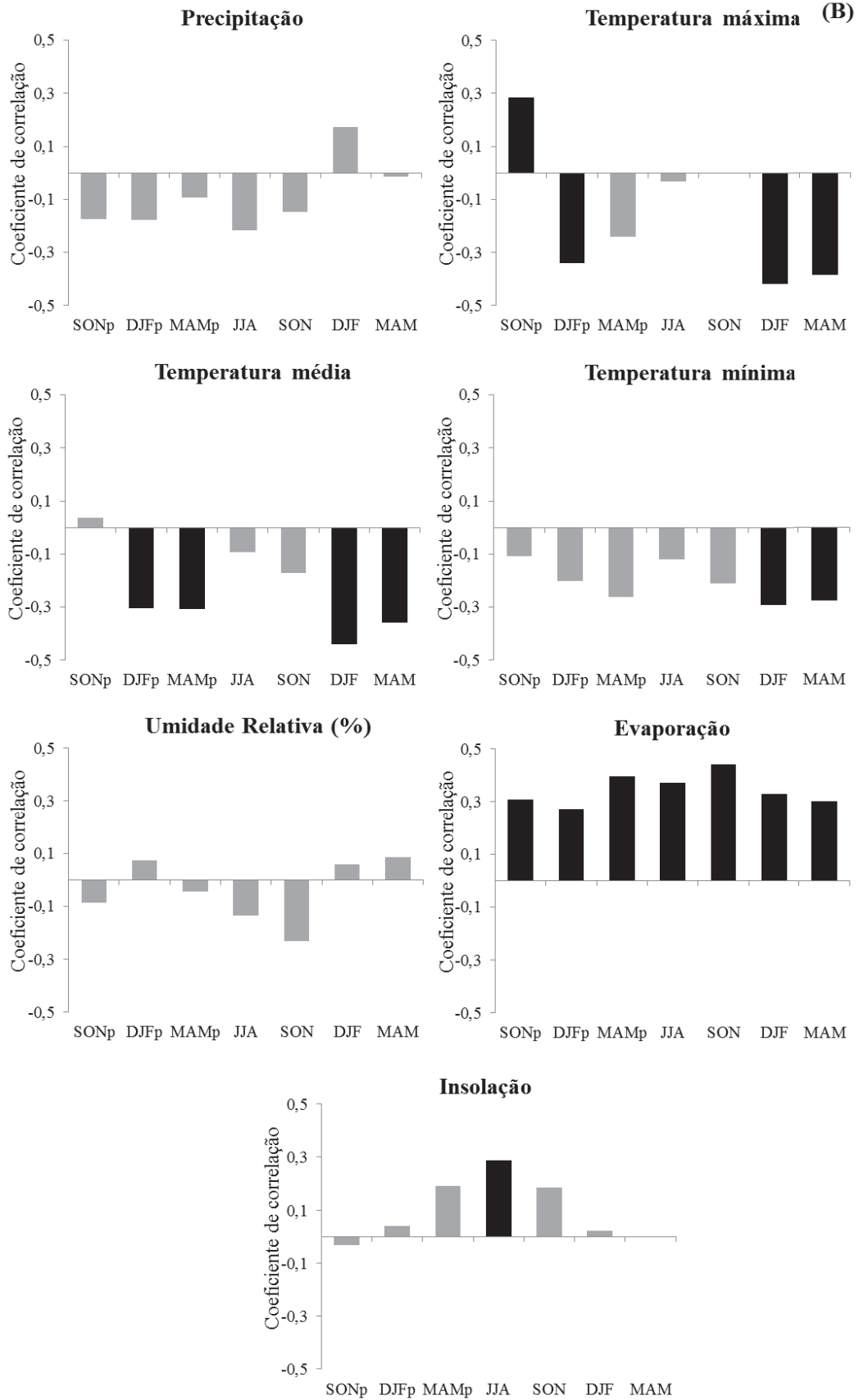
PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose, Costa Rica: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1997. 586p.

REIS-AVILA, G.; OLIVEIRA, J. M. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. **Dendrochronologia**, v. 44, p. 103–116, 2017.

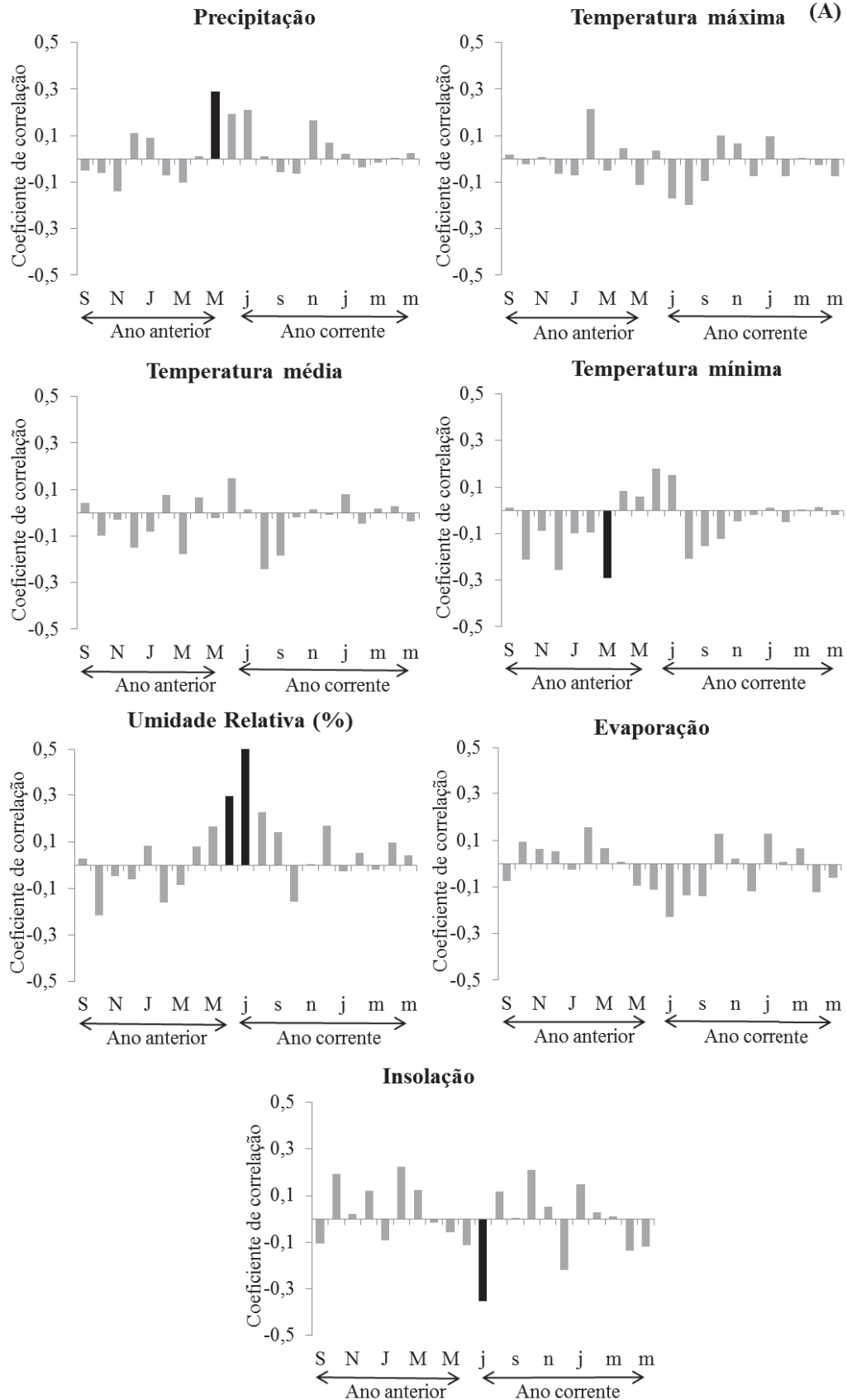
REITZ, R.; KLEIN, M. R.; REIS, A. **Madeiras do Brasil**. Lunardelli, Florianópolis, 1979. 320 p.

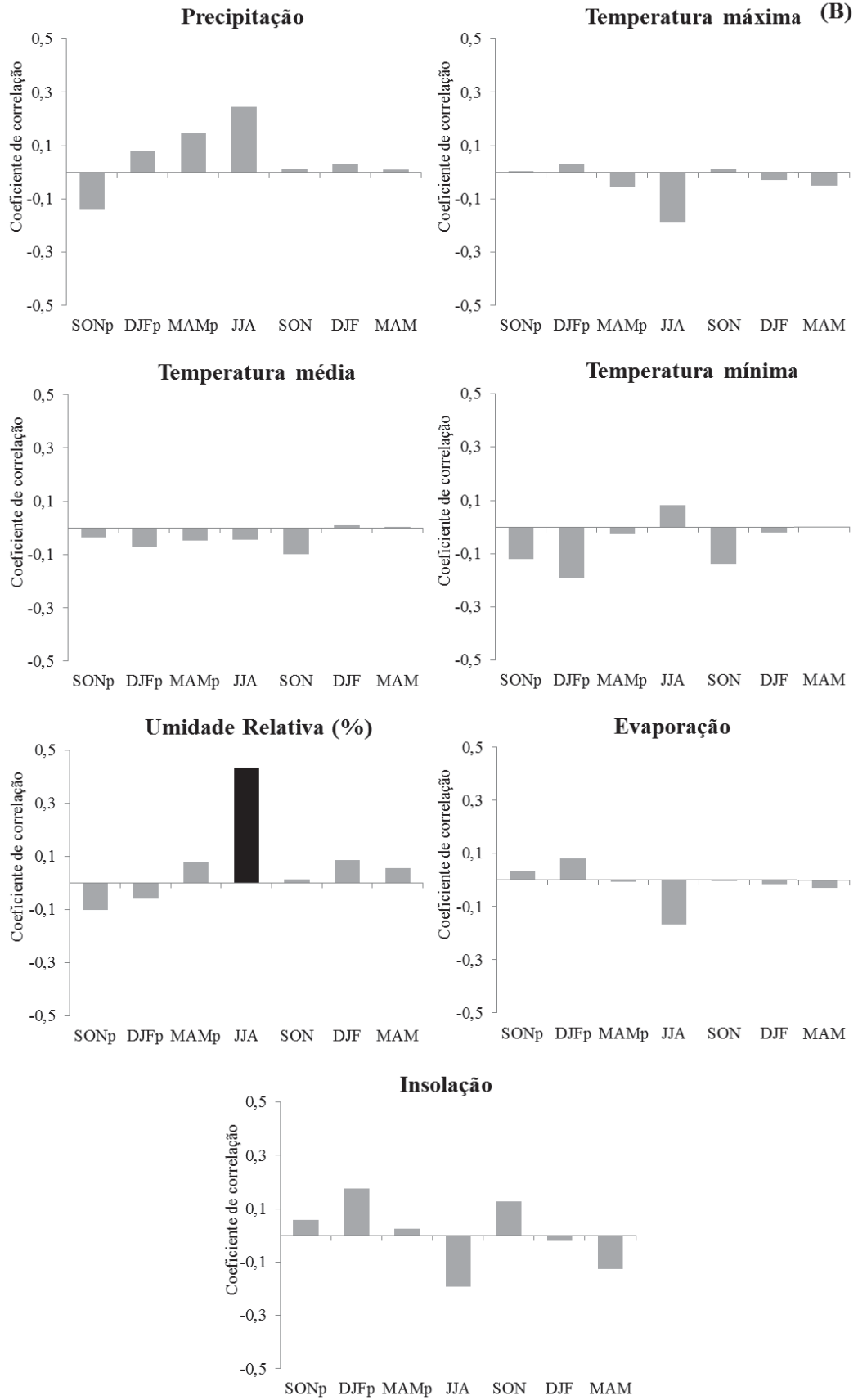
ROIG, F. A. Dendrocronología em los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. **In: Dendrocronología em América Latina** (ed. F. A. Roig). Ediunc, Mendoza, p. 307-355, 2000.

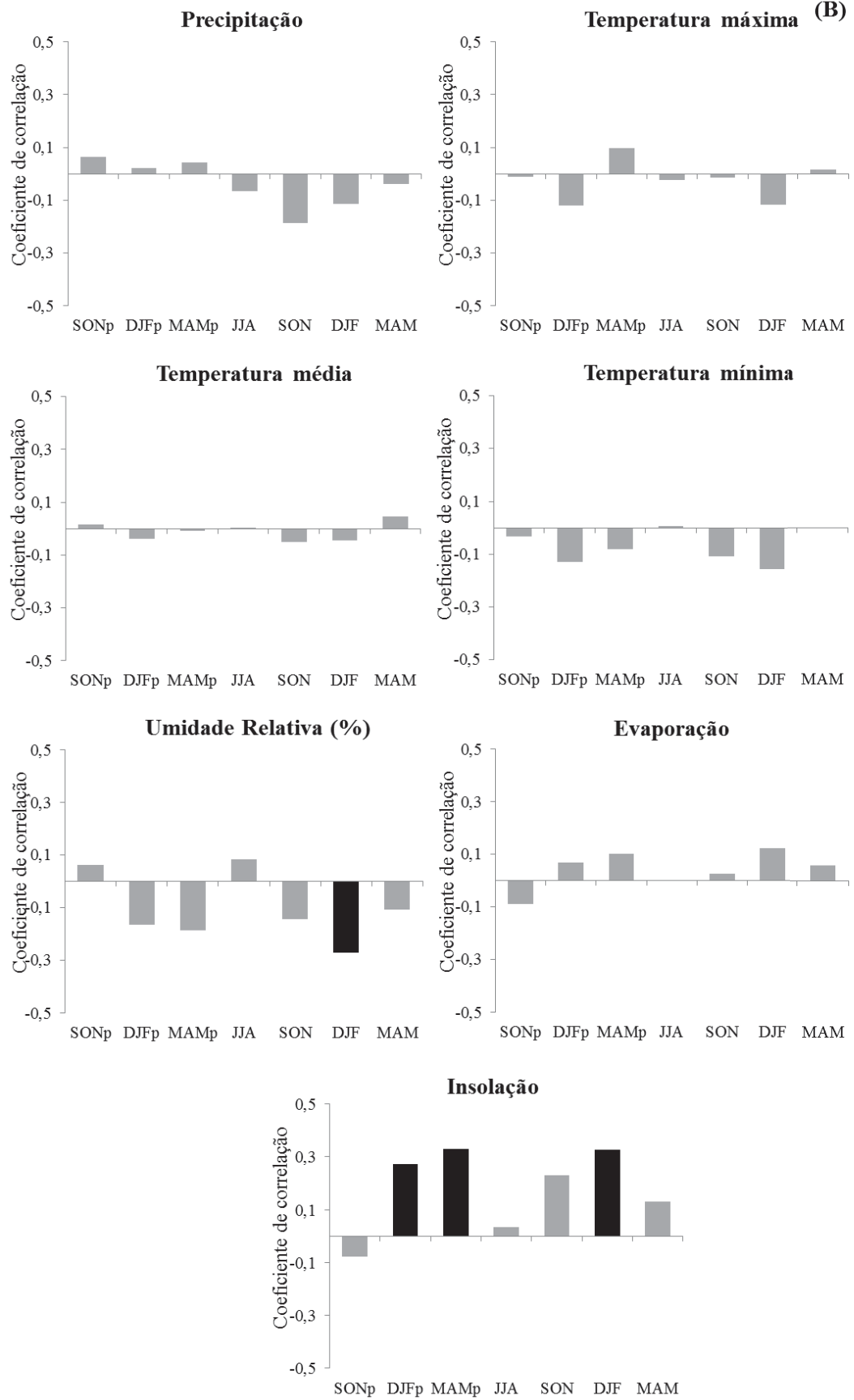
- RONDON NETO, R. M. **Análise do Histórico Silvicultural de Quatro Espécies de uma Floresta Ombrófila Mista com Auxílio da Dendrocronologia**. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- ROZENDAALL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees – Structure and Function**, Heidelberg, v. 25, n. 1, 2011, p. 3-16, 2011.
- SCHWEINGRUBER, F. H. **Wood Structure and Environment**. Springer Verlag, Berlin and Heidelberg, 2007.
- SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, p. 170–174, 1989.
- SILVA, M. **Anatomia da madeira de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (Lauraceae)**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- SPEER, J. H. **Fundamentals of Tree ring Research**. University of Arizona Press, Tucson, 2010. 333 p.
- STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- WREGGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 91, p. 331-346, 2017.
- WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R.; JONES, P. D. On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Washington, v. 23, p. 201–213, 1984.
- WORBES M. One hundred years of tree-ring research in the tropics—a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia** v. 20, n. 1–2, p. 217–231, 2002.
- ZAMIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ZHANG, J.; HUANG, S.; HE, F. Half-century evidence from western Canada shows forest dynamics are primarily driven by competition followed by climate. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 13, p. 4009-4014, 2015.



ANEXO B - CORRELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE CRESCIMENTO E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS MENSAIS (A) E POR ESTAÇÃO (B) PARA *Cedrela fissilis*. BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS ($p \leq 0,05$).







CAPÍTULO III - PADRÕES DE CRESCIMENTO E RAZÃO DE MOVIMENTO DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

RESUMO

Compreender os padrões crescimento de espécies arbóreas permite subsidiar estratégias de manejo sustentável de seus recursos, consistindo em ferramenta imprescindível à conservação. No entanto, ainda carecem estudos voltados para espécies da Floresta Ombrófila Mista. Assim, com o objetivo de investigar padrões de crescimento e definir possíveis critérios de manejo sustentável que assegurem a conservação de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea puberula*, amostras radiais de lenho foram coletadas (abrangendo a amplitude diamétrica de cada espécie) em um fragmento da Floresta Ombrófila Mista pertencente à Floresta Nacional de Irati, estado do Paraná, Brasil. O crescimento de longo prazo foi acessado por meio da análise dos anéis de crescimento, o que permitiu o cálculo do tempo de passagem entre as classes de diâmetro, adotando-se um intervalo de amplitude de 10 cm. O modelo de crescimento biológico de Chapman-Richards foi ajustado visando posteriormente obter as curvas de incremento corrente anual (ICAd) e incremento médio anual (IMAd) em diâmetro. Foram verificadas estratégias distintas de crescimento ao longo do tempo entre indivíduos, provavelmente por influência de fatores locais. *A. angustifolia* foi a espécie que apresentou, em média, as maiores taxas de incremento, de $0,5208 \text{ cm.ano}^{-1}$, sendo também a espécie com os indivíduos de idades mais avançadas. Para as três espécies, o menor tempo de passagem foi verificado para classes diamétricas intermediárias, indicando que possíveis intervenções poderiam ser priorizadas nestas classes. Ciclos de corte de curto-médio prazo poderiam ser considerados, devendo-se necessariamente ponderar, no entanto, quanto à distribuição diamétrica dos indivíduos de cada espécie. As três espécies estudadas apresentaram maximização do incremento médio anual em diâmetro antes dos 35 anos de idade. Os resultados do presente capítulo contribuem com subsídios para decisões silviculturais na conservação e manejo sustentável das espécies, podendo auxiliar a nortear a legislação florestal quanto ao uso do recurso.

Palavras-chave: Anéis de crescimento. Análise de tronco parcial. Manejo florestal. Tempo de passagem.

ABSTRACT

Understanding the growth patterns of tree species allows subsidizing strategies of sustainable management of its resources, constituting an essential tool for conservation. However, studies are still lacking for species of the Mixed Ombrophilous Forest. Thus, in order to investigate growth patterns and to define possible sustainable management criteria that ensure the conservation of *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* and *Ocotea puberula*, radial samples of wood were collected, covering the diametric amplitude of each species, in a fragment of the Mixed Ombrophilous Forest belonging to the Irati National Forest, Paraná state, Brazil. The long-term growth was accessed through analysis of the tree rings, which allowed the calculation of the passage time through diameter classes, adopting a range of 10 cm. The Chapman-Richards biological growth model was adjusted to obtain Current Annual Increment (CAI) and Mean Annual Increment (MAI) curves. Different growth strategies were observed over time among individuals, probably due to the influence of local factors. *A. angustifolia* was the species which presented, on average, the highest increase rates, of $0.5208 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$, counting also with the most advanced ages individuals. For the three species, the shortest passage time was verified for intermediate diametric classes, indicating that possible interventions could be prioritized in these classes. Short-medium-term cutting cycles could be considered. It is necessary, however, to ponder the diametric distribution of individuals of each species. The three studied species showed maximization of the mean annual increment in diameter before the 35 years old. The results of this chapter contribute with subsidies for silvicultural decisions in the species conservation and sustainable management, and may help to guide forest legislation regarding the use of resources.

Keywords: Tree rings. Partial stem analysis. Forest management. Passage time.

1 INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é detentora de muitas espécies florestais endêmicas e de grande valor comercial. No entanto, a extração de madeira de maneira insustentável e a expansão agrícola em décadas passadas, com a inexistência de um plano de manejo adequado, levaram essa tipologia florestal a uma expressiva redução em sua área de abrangência original (ORELLANA et al., 2014). Estima-se que a área dessa tipologia esteja reduzida a 25% de sua cobertura original (SANQUETTA; MATTEI, 2006), representada por pequenos fragmentos, localizados, majoritariamente, em propriedades rurais privadas (RIBEIRO et al., 2009).

Este cenário levou a criação de medidas legais restritivas ao manejo de algumas espécies consideradas ameaçadas (BRASIL, 2001). No entanto, no âmbito da FOM, a ausência de manejo de qualquer natureza contribui para o empobrecimento e degradação de seus fragmentos (ROSOT, 2007). A variabilidade genética é prejudicada, porque intervenções são uma forma de renovação dos indivíduos (STEFENON et al., 2008). E adicionalmente, isso implica em desvalorização desse bem, levando à perda de interesse por parte dos proprietários rurais pela sua conservação (NUTTO, 2001; RODRIGUES, 2016).

Na busca por aliar conservação e manejo sustentável para as espécies da FOM, verifica-se, portanto, a necessidade de desenvolvimento de técnicas apropriadas, investigando-se a possibilidade de intervenções que garantam a continuidade dos remanescentes e a conservação da biodiversidade. Além disso, um eventual plano de manejo florestal nestes fragmentos deveria ter como objetivo principal a subsistência do pequeno produtor, especialmente pelas porções fragmentadas com que ocorrem (ORELLANA, 2014).

Claramente, para este tipo de investigação, informações de longo prazo sobre o crescimento das espécies arbóreas são necessárias, especialmente daquelas de maior interesse ecológico e econômico. Investigações a respeito de padrões de crescimento de longo prazo, da idade e da movimentação das árvores através das classes de diâmetro tem o intuito de reunir informações sobre a dinâmica florestal, permitindo o estabelecimento de critérios de manejo como, por exemplo, ciclos de intervenção (SCHÖNGART, 2008). Nesse contexto, a dendrocronologia entra como uma importante ferramenta para recuperar dados de crescimento e embasar planos de manejo (SPIECKER, 2002; CHERUBINI et al., 2003; CURTO, 2015).

Investigações neste sentido têm sido realizadas por diversos autores, com especial atenção para a região Amazônica, buscando caracterizar taxas de crescimento bem como o tempo de passagem entre classes diamétricas para diferentes espécies (BRIENEN;

ZUIDEMA, 2006a; 2006b; SCHÖNGART et al. 2007; 2015; ANDRADE et al., 2017; MIRANDA et al., 2017). No entanto, ainda carecem estudos voltados para espécies da Floresta Ombrófila Mista, e faltam propostas de manejo sustentável para a conservação de seus remanescentes que poderiam auxiliar, inclusive, a nortear a legislação.

Assim, o objetivo desse estudo foi analisar padrões de crescimento de longo prazo das espécies *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea puberula*, visando a definição de possíveis critérios de manejo sustentável e a conservação dos remanescentes da Floresta Ombrófila Mista, procurando-se responder as seguintes perguntas: (i) As estratégias de crescimento são comuns entre os indivíduos dentro cada espécie na região?; (ii) Quanto tempo as árvores de cada espécie levam para passar entre as classes diamétricas?; (iii) Qual o ponto no qual o rendimento é máximo para estas espécies?

2 MATERIAL E MÉTODOS

Informações detalhadas referentes ao local de estudo e aos critérios de seleção das espécies foram apresentadas na Metodologia Geral. As árvores-amostras, os procedimentos de laboratório, e o método de datação cruzada com auxílio do software COFECHA (HOLMES, 1983) estão especificados no Capítulo II. No presente capítulo trabalhou-se com as medições originais das larguras dos anéis de crescimento. Por conta da inviabilidade de datação dos anéis de crescimento, a espécie *O. odorifera* não foi considerada nas análises deste capítulo.

2.1 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO

A partir das medições das larguras dos anéis de crescimento, informações a respeito do incremento diamétrico anual foram obtidas. Para as árvores em que se alcançou a medula durante a amostragem, os valores de incremento foram acumulados a partir da medula, gerando as curvas de crescimento acumulado individuais, relacionadas ao diâmetro à altura do peito (d), sem casca, em cada idade. Para as árvores que, por alguma razão, a medula não foi atingida (por exemplo: medula excêntrica; dimensão da árvore), os valores de incremento mensurados nos anéis de crescimento foram subtraídos a partir do diâmetro da árvore medido a campo, descontada a casca. Desta forma, encontra-se a dimensão que faltou ser amostrada para chegar à medula. Assim, é possível estimar o número de anéis perdidos, dividindo-se o valor desta dimensão por um valor de incremento diamétrico médio. Tomou-se por base o incremento inicial médio de árvores vizinhas que tiveram a medula alcançada.

2.2 RAZÃO DE MOVIMENTO (TEMPO DE PASSAGEM ENTRE CLASSES)

Com base nas trajetórias individuais de crescimento, foi calculada a variação do tempo médio de passagem por meio de classes de 10 cm de diâmetro, visando-se definir quanto tempo uma árvore demora a atingir uma determinada dimensão diamétrica. O cálculo foi realizado por meio da divisão do intervalo de classe (10 cm) pelo incremento periódico anual na classe diamétrica (cm.ano^{-1}) para cada indivíduo. Não foram considerados os dados referentes ao último período de passagem de classe, em que a árvore ainda não completou sua passagem, por não se saber quanto tempo cada indivíduo ainda permaneceria naquela classe, conforme adotado por Longhi-Santos (2017).

2.3 AJUSTE DO MODELO CHAPMAN-RICHARDS

Visando descrever o crescimento diamétrico das árvores em função da idade por espécie, ajustou-se o modelo biológico de Chapman-Richards (EQUAÇÃO 1) aos dados de produção em diâmetro sem casca. O modelo biológico tem a forma:

$$d = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 \cdot I})^{\beta_2} + \varepsilon_i \quad [1]$$

Em que: d = diâmetro à altura do peito sem casca (cm); I = idade (anos); e = exponencial; β_0 ; β_1 ; β_2 = parâmetros do modelo; ε_i = erro aleatório.

A partir do modelo ajustado foram obtidas as curvas de incremento médio anual e incremento corrente anual, conforme a equação (2) e (3):

$$ICAd = d_{i+1} - d_i \quad [2]$$

$$IMAd = d_i/n \quad [3]$$

Em que: d_i = Diâmetro sem casca na idade i (cm); d_{i+1} = Diâmetro sem casca na idade $i+1$ (cm); n = número de anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CRESCIMENTO DIAMÉTRICO

As estatísticas descritivas das árvores-amostras (árvores que tiveram o lenho amostrado e que puderam ser datadas) para as variáveis diâmetro, idade e incremento diamétrico apresentaram grande variabilidade, refletindo a heterogeneidade de florestas nativas (TABELA 1).

TABELA 1 – NÚMERO ÁRVORES-AMOSTRA, MÉDIA ± DESVIO PADRÃO E AMPLITUDE (MÍNIMO E MÁXIMO ENTRE PARENTESE) DO DIÂMETRO, IDADE E INCREMENTO DIAMÉTRICO ANUAL MÉDIO.

Espécies	Nº de árvores-amostras	Diâmetro (cm)	Idade (anos)	Incremento diamétrico médio (cm.ano ⁻¹)
<i>A. angustifolia</i>	26	58,5 ± 19,8 (17,2-87,1)	106 ± 53 (45-246)	0,5208 ± 0,2956 (0,2502-1,7179)
<i>C. fissilis</i>	26	46,8 ± 16,8 (22,0-80,0)	101 ± 30 (35-168)	0,3608 ± 0,1327 (0,1820-0,6409)
<i>O. puberula</i>	22	39,1 ± 16,5 (16,7-88,8)	78 ± 25 (40-140)	0,4085 ± 0,1627 (0,1770-0,8121)

FONTE: A autora (2019).

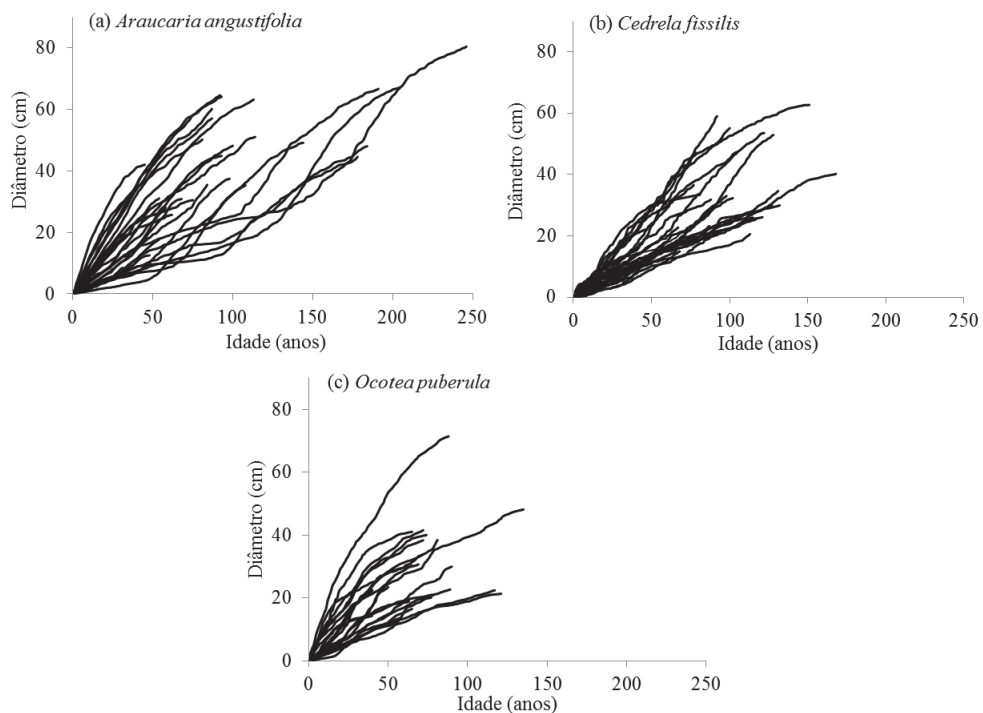
Espera-se que espécies florestais não-pioneiras apresentem idades mais avançadas que espécies pioneiras, bem como taxas de crescimento distintas (BUDOWSKI, 1965; LONGHI-SANTOS, 2017). Esse fato pode ser confirmado no presente trabalho, sendo que *A. angustifolia* foi a espécie que contou com média de idades mais elevada, bem como a espécie com o maior incremento médio anual médio. Os autores Seitz e Kanninen (1989), Lisi (2009), Adenesky-Filho (2014) e Rodrigues (2016) também observaram elevada média de idade para indivíduos de *A. angustifolia* avaliados. *O. puberula*, espécie pioneira, apresentou a menor média de idade, confirmando-se como espécie não longeva. Já *C. fissilis*, espécie pioneira/secundária inicial, alcançou média de idades pouco mais elevadas e próximas a dos indivíduos de *A. angustifolia*.

Stepka (2012), avaliando árvores nativas de *A. angustifolia* em seis diferentes locais ao longo da região sul do Brasil, encontrou valores de incremento médio anual variando de 0,30 a 0,58 cm.ano⁻¹ entre as regiões. Também para *A. angustifolia*, Rodrigues (2016) observou incremento periódico anual médio variando de 0,18 a 0,37 entre as classes diamétricas, em General Carneiro-PR. Para *C. fissilis*, Iwasaki-Marochi (2007) encontrou valores de

incremento médio anual variando de 0,68 a 1,04 cm.ano⁻¹ e Cusatis et al. (2013) observaram valores oscilando entre 1,0 e 1,3 cm.ano⁻¹. Os valores relatados para *C. fissilis* por estes autores foram superiores aos relatados no presente estudo, no entanto, em ambos os casos trata-se de uma amostra de indivíduos mais jovens. Para *O. puberula*, Figueiredo Filho et al. (2017) encontraram valores de 0,660 cm.ano⁻¹, para indivíduos regenerantes (idade média de 35 anos) sob um plantio de Araucária.

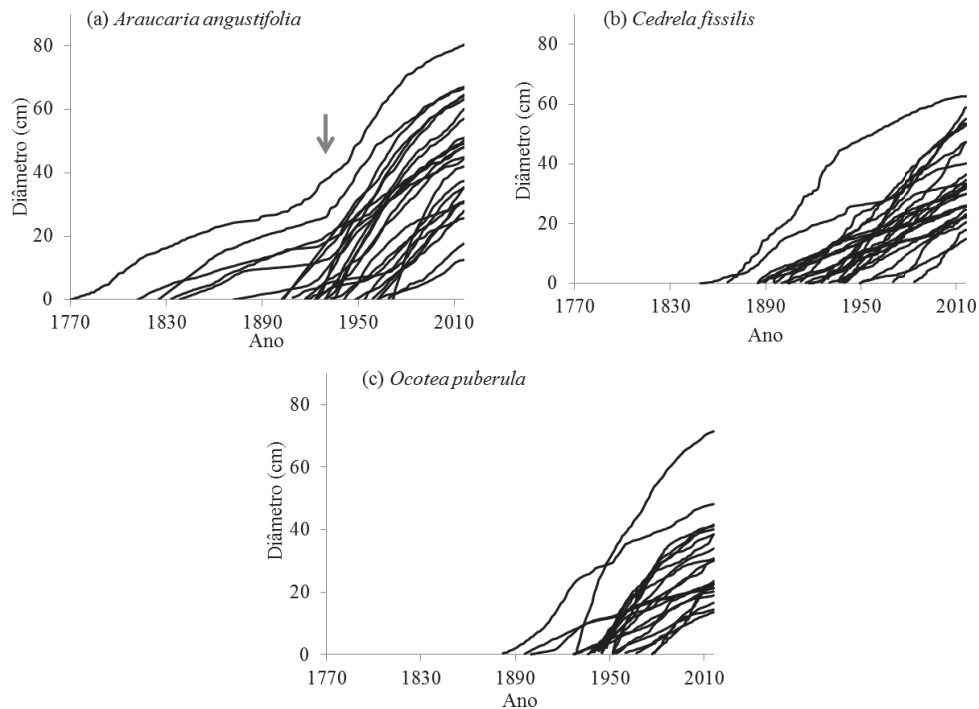
Analisando a trajetória de crescimento de cada espécie (FIGURA 1), constataram-se estratégias bastante distintas também entre árvores da mesma espécie ao longo do tempo, provavelmente influenciadas pelos diferentes níveis de competição, por diferenciações de solo, entre outros fatores locais. Além disso, a idade avançada de alguns indivíduos não resulta em uma redução nas taxas de crescimento, havendo uma indicação de que estes ainda não teriam atingido seu máximo crescimento em diâmetro. Períodos de liberação de crescimento também podem ser identificados, em especial para a espécie *A. angustifolia*. Estas liberações, quando analisadas em uma sequência cronológica (FIGURA 2), se sobrepõem próximo à década de 1930 para *A. angustifolia*, provavelmente associado às últimas intervenções que ocorreram no local de estudo, anteriormente à criação da Floresta Nacional (FIGURA 2A).

FIGURA 1 – CURVAS DE CRESCIMENTO ACUMULADO EM DIÂMETRO (SEM CASCA) VERSUS IDADE DE *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) E *Ocotea puberula* (c).



FONTE: A autora (2019).

FIGURA 2 – CURVAS DE CRESCIMENTO ACUMULADO EM DIÂMETRO (SEM CASCA) EM SEQUÊNCIA CRONOLÓGICA DE *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) E *Ocotea puberula* (c). SETA CINZA INDICA PONTO DE LIBERAÇÃO DE CRESCIMENTO.



FONTE: A autora (2019).

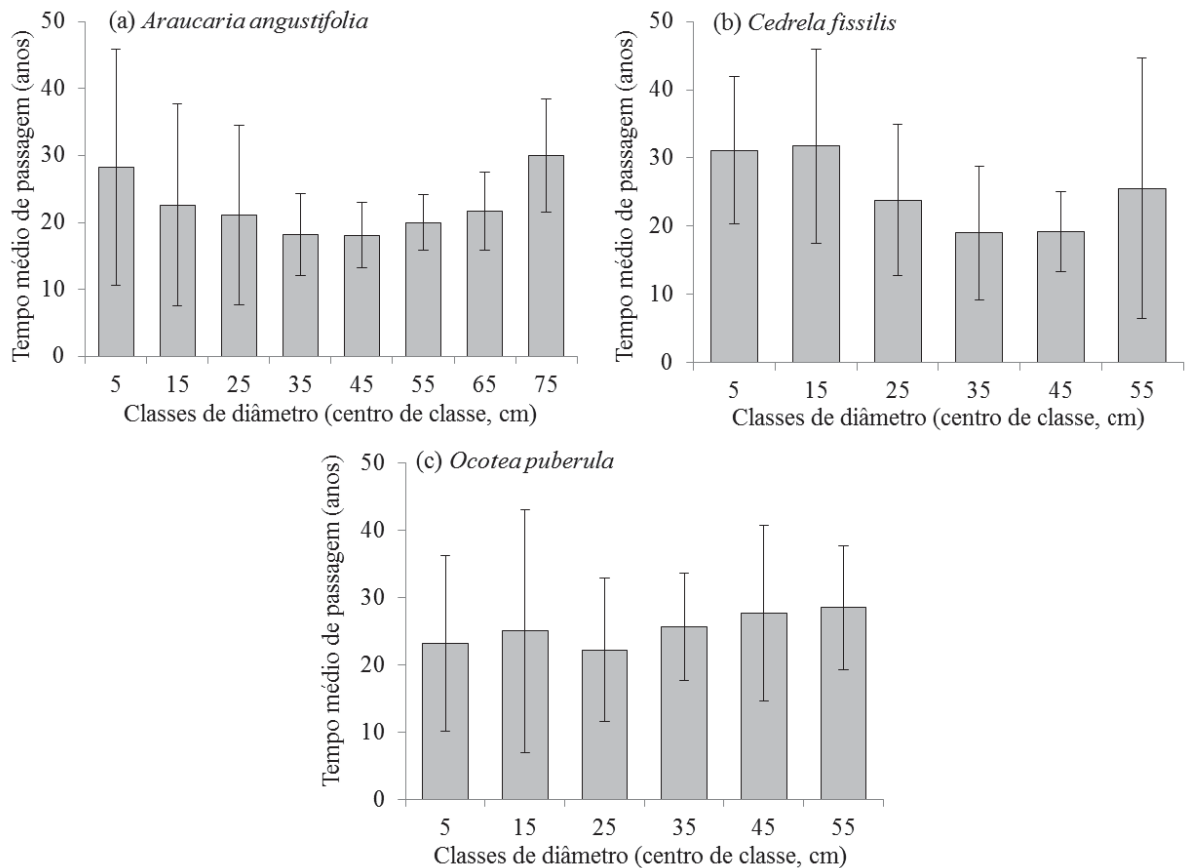
3.2 RAZÃO DE MOVIMENTO

Ao analisar o comportamento do tempo de passagem, calculado a partir das trajetórias de crescimento de cada indivíduo, observa-se que, de modo geral, classes diamétricas intermediárias apresentaram menor tempo de passagem (resultado de um crescimento mais acelerado) que as classes mais inferiores e superiores para as três espécies (FIGURA 3). Este fato corrobora com o que é esperado para as fases juvenil, adulta e senescente (LAMPRECHT, 1990), apesar de que para *C. fissilis* e *O. puberula* foi possível verificar também um pequeno aumento desse tempo entre a primeira e a segunda classe. Ademais, *A. angustifolia* e *C. fissilis* tenderam a atingirem menor tempo de passagem em classes de tamanhos maiores (classes 30-39,9 e 40-49,9 cm) do que ocorre para *O. puberula* (classe 20-29,9 cm) (diâmetro sem casca).

Em média, o tempo de passagem entre classes de diâmetro é de 23 anos, 28 anos e 24 anos para *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, respectivamente. No entanto, verifica-se que existe uma alta variação no tempo de passagem de classes de diâmetro também entre as árvores (Barras de erro – FIGURA 3). Longhi-Santos (2017) discutiu a respeito da permanência de alguns indivíduos muito mais tempo que outros nas primeiras classes

diamétricas, indicando haver relação com as restrições nas condições ambientais nas quais estes foram recrutados.

FIGURA 3 – TEMPO MÉDIO DE PASSAGEM EM CLASSES DE 10 cm DE DIÂMETRO (SEM CASCA) PARA *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) E *Ocotea puberula* (c). BARRAS DE ERRO REPRESENTAM O RESPECTIVO DESVIO PADRÃO. O TAMANHO DAS AMOSTRAS VARIOU DE 3 A 26 ÁRVORES POR CLASSE.



FONTE: A autora (2019).

Rodrigues (2016), estudando o crescimento de *A. angustifolia* em remanescentes de Floresta Ombrófila Mista em General Carneiro, PR, identificou tempo de passagem diretamente proporcional ao tamanho do indivíduo, ou seja, o tempo de passagem pelas classes iniciais foi menor, aumentando gradualmente à medida que o indivíduo cresce. Conforme o próprio autor, no entanto, essa situação decorre em razão do cálculo do tempo de passagem ter sido efetuado com base na função de crescimento ajustada, que assume redução constante no incremento conforme o tamanho do indivíduo aumenta.

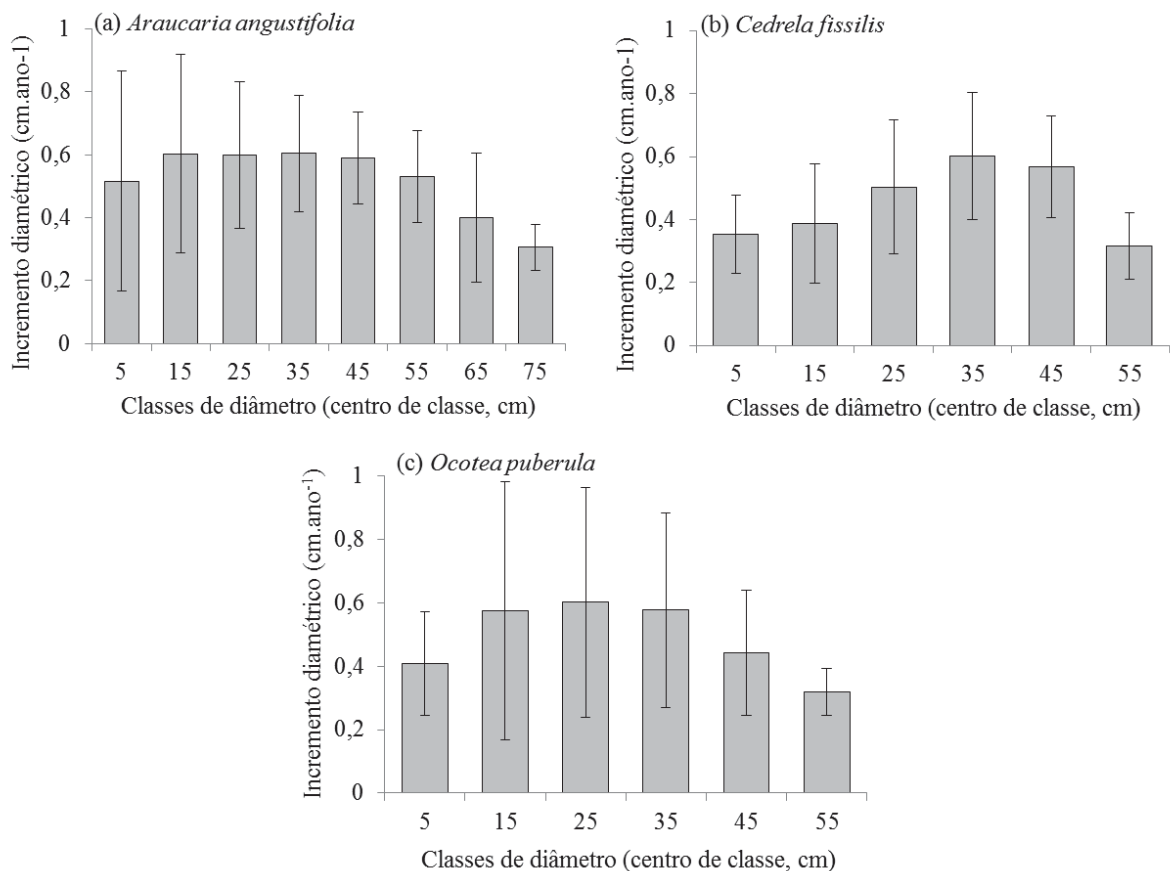
Curto (2015), em análise similar da espécie *A. angustifolia* em um povoamento superestocado, também observou que o tempo de passagem entre classes tende a aumentar à

medida que se aumenta a classe de diâmetro, exceto para a primeira classe diamétrica (centro de 2,5 cm) e atribui essa tendência de aumento do tempo de passagem à alta competição exercida ao longo do tempo. Os tempos de passagem observados pela autora foram menores que o do presente trabalho.

Brienen e Zuidema (2006a) verificaram um padrão muito similar de variação do tempo de passagem ao longo das classes diamétricas ao do presente estudo para a espécie *Bertholletia excelsa* na Amazônia Boliviana.

Nota-se que a partir da 5ª classe (40-49,9 cm) para *A. angustifolia* e *C. fissilis*, e da 4ª classe (30-39,9cm) para *O. puberula*, o tempo de passagem começa a aumentar muito, ao passo que o incremento anual decresce em proporção similar para os indivíduos (FIGURA 4). Estabelecer um diâmetro de corte para classes acima destas poderia não ser a melhor escolha, significando esperar muito tempo para um ganho menos relevante em incremento.

FIGURA 4 – INCREMENTO PERIÓDICO ANUAL MÉDIO EM CLASSES DE 10 CM DE DIÂMETRO (SEM CASCA) PARA *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) E *Ocotea puberula* (c). BARRAS DE ERRO REPRESENTAM O RESPECTIVO DESVIO PADRÃO. O TAMANHO DAS AMOSTRAS VARIOU DE 3 A 26 ÁRVORES POR CLASSE.



FONTE: A autora (2019).

Estabelecendo-se, portanto, a possibilidade de intervenções a partir da classe de 40-49,9 cm de diâmetro (sem casca) para *A. angustifolia* e *C. fissilis*, e da classe de 30-39,9 cm de diâmetro (sem casca) para *O. puberula*, e sabendo-se que o tempo médio de passagem das árvores entre as classe até essas dimensões é de 22 anos para *A. angustifolia*, de 26 anos para *C. fissilis* e de 23 anos para *O. puberula*, pode-se cogitar a execução de um plano de manejo contendo ciclos de corte de 22 anos, 26 anos, 23 anos, respectivamente, para as espécies. Para isso ser viável, no entanto, é preciso ainda avaliar com mais detalhes se, com o recrutamento, ao longo do tempo, os indivíduos pertencentes às classes inferiores passarão para as classes superiores, mantendo o estoque de árvores nessas classes, permitindo a reposição da madeira retirada. Brienen e Zuidema (2006b) apontaram a grande influência da frequência de árvores nas classes diamétricas abaixo do diâmetro de corte no tempo de recuperação, devendo-se necessariamente ponderar, portanto, quanto à distribuição diamétrica de cada espécie para este tipo de definição.

3.3 AJUSTE CHAPMAN-RICHARDS

Definições de possíveis critérios de manejo também podem ser feitas por meio da identificação da idade de maximização do incremento médio anual de cada espécie (cruzamento das curvas de IMA e ICA). Assim, foi ajustado o modelo biológico de Chapman-Richards com o intuito de padronização do crescimento por espécie (TABELA 2; FIGURA 5) e obtidas as taxas de incremento corrente anual em diâmetro e de incremento médio anual em diâmetro (FIGURA 6). Como relatado anteriormente, analisando-se o padrão das curvas individuais de crescimento acumulado, foram identificados alguns indivíduos mais velhos que manifestaram respostas de crescimento provavelmente associadas a intervenções ocorridas na floresta no passado. Optou-se por desconsiderar estes indivíduos para o ajuste, buscando-se assim abranger apenas aquelas árvores que não passaram (não apresentaram respostas) por nenhum período de intervenção ao longo da vida.

TABELA 2 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE E PRECISÃO PARA O MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ESTIMAR O DIÂMETRO SEM CASCA POR ESPÉCIE.

Espécie	Coeficientes	Syx (%)	AIC
<i>A. angustifolia</i>	$b_0 = 111,3329$	31,04	9802,3
	$b_1 = 0,0079$		
	$b_2 = 1,1514$		
<i>C. fissilis</i>	$b_0 = 70,3641$	42,76	18390,2
	$b_1 = 0,0070$		
	$b_2 = 1,1197$		
<i>O. puberula</i>	$b_0 = 34,7946$	53,61	12482,5
	$b_1 = 0,0277$		
	$b_2 = 1,3343$		

*Syx(%)= Erro padrão da estimativa em porcentagem; AIC= Critério de informação de Akaike.

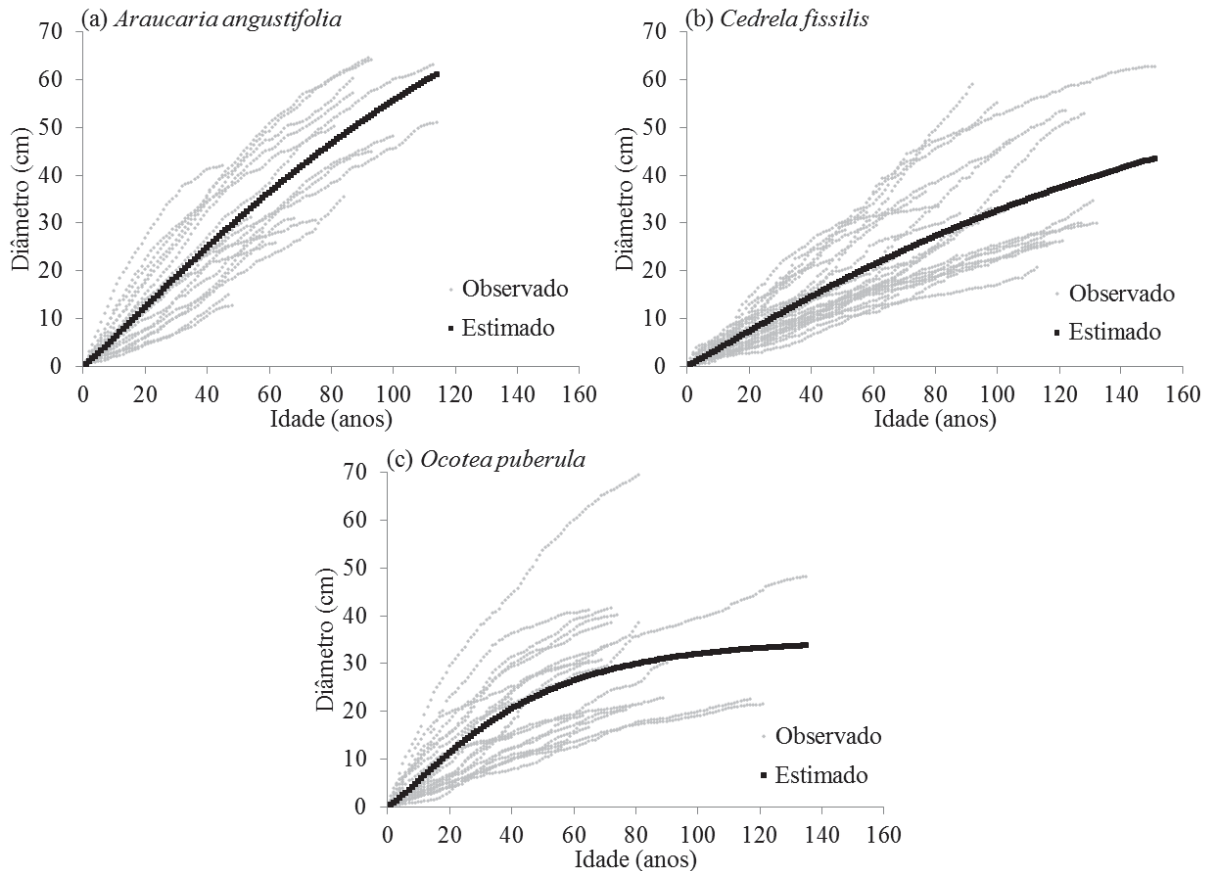
FONTE: A autora (2019).

A. angustifolia foi a espécie para a qual se obteve melhores valores de ajuste. Erros mais elevados são consequência da grande variabilidade nas curvas de crescimento acumulado entre as árvores de cada espécie. No modelo de Chapman-Richards, o coeficiente b_0 permite inferir a respeito do valor assintótico para a variável em estudo (diâmetro sem casca). Esse valor foi mais elevado também para a espécie *A. angustifolia*, representado pelo valor de 111,3 cm e ilustrado pela Figura 5.

Cusatis et al. (2013), também por meio do ajuste do modelo Chapman-Richards, identificaram para *C. fissilis* valor de assíntota (b_0) de 71,9 cm, muito similar ao do presente estudo, tendo eles considerado, no entanto, apenas os primeiros 35 anos, em função da limitação dos dados a partir desta idade. Rodrigues (2016), para o ajuste de *A. angustifolia* no município de General Carneiro, extremo sul do estado do Paraná, optou por fixar o valor assintótico atribuído à espécie, determinando o valor de 180,0 cm, que correspondeu ao maior indivíduo de araucária observado por parcelas instaladas em sua área de seu estudo.

Embora os valores de b_0 apresentem uma indicação dos valores de assíntota, entende-se que o potencial das espécies estudadas possa ser maior do que o estimado no presente estudo. No entanto, possivelmente influências competitivas na área, como observado no Capítulo I, possam estar limitando essa ocorrência, da mesma forma que fatores climáticos ou mesmo características de solo.

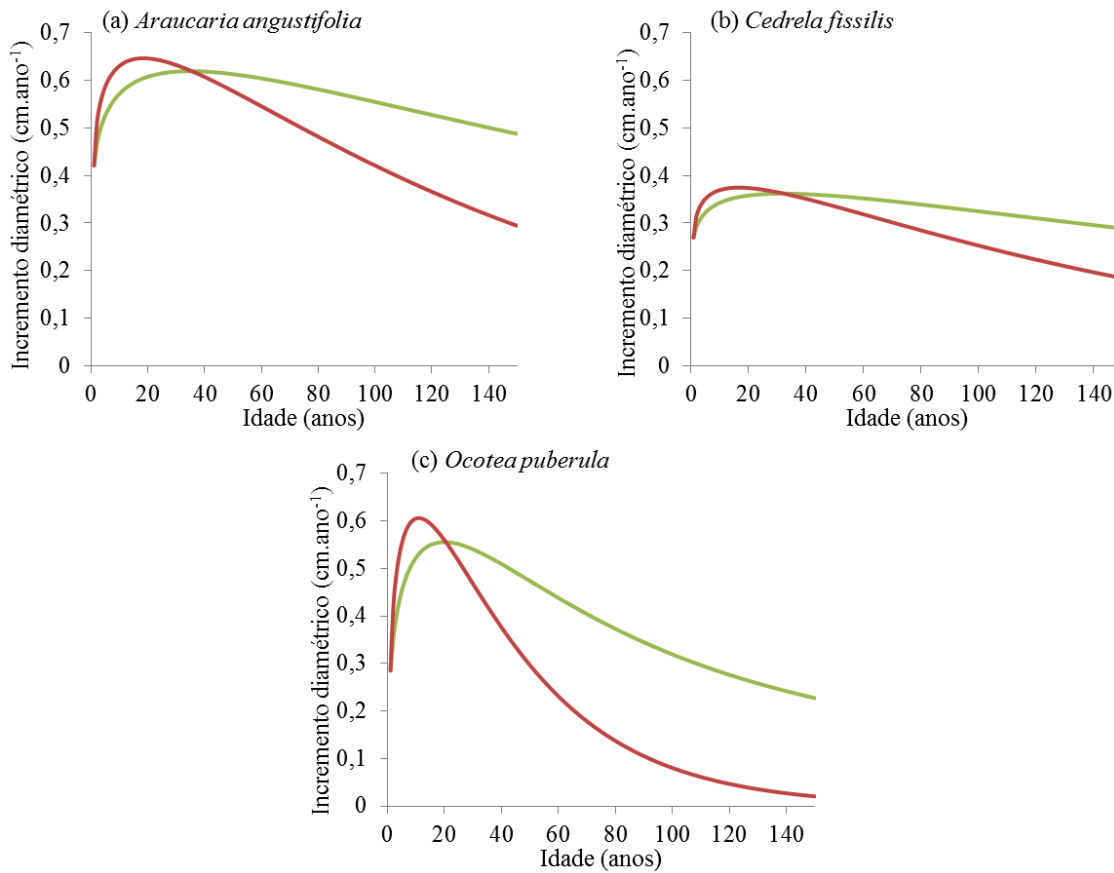
FIGURA 5 - MODELO DE CRESCIMENTO EM DIÂMETRO (SEM CASCA) DE *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) E *Ocotea puberula* (c).



FONTE: A autora (2019).

Analisando-se as taxas de incremento corrente anual em diâmetro e de incremento médio anual em diâmetro obtidas (FIGURA 6), observa-se que *O. puberula*, espécie pioneira e não longeva, foi a espécie em que o cruzamento das curvas de ICA e IMA ocorreu mais cedo, aos 20 anos, com uma taxa máxima de $0,5554 \text{ cm.ano}^{-1}$. Para *C. fissilis*, espécie pioneira/secundária inicial e longeva, o cruzamento ocorreu perto dos 32 anos, a uma taxa de $0,3617 \text{ cm.ano}^{-1}$. Para *A. angustifolia*, esse ponto aconteceu mais tarde, perto dos 35 anos, com taxa de $0,6194 \text{ cm.ano}^{-1}$ nesta idade. Esta sequência era esperada para as espécies, com relação ao grupo ecológico a que pertencem. No entanto, assim como observado para o valor assintótico, a variabilidade de crescimento entre os indivíduos, possivelmente relacionada a fatores como grau de competição, ou outros fatores locais, que por sua vez influenciam na qualidade do ajuste, pode ter influenciado a ocorrência destes pontos mais cedo.

FIGURA 6 - INCREMENTO CORRENTE ANUAL - ICA (LINHA VERMELHA) E INCREMENTO MÉDIO ANUAL - IMA (LINHA VERDE) PARA DIÂMETRO SEM CASCA DE *Araucaria angustifolia* (a), *Cedrela fissilis* (b) E *Ocotea puberula* (c).



FONTE: A autora (2019).

Figueiredo Filho et al. (2017), trabalhando com árvores mais jovens estabelecidas sob um plantio de Araucária também na Floresta Nacional de Irati, encontraram ponto de interseção das curvas de ICA e IMA nas idades de 8 anos, 8 anos e 12 anos para *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula*, respectivamente. Stepka (2012), trabalhando na mesma área do presente estudo, encontrou ponto de cruzamento das curvas próximo 35 anos para *C. fissilis*, idade semelhante à encontrada neste estudo, no entanto, para *A. angustifolia* foi encontrado valor mais baixo, próximo dos 20 anos.

A dificuldade de definição, tanto dos pontos de assíntota, como o cruzamento das curvas de ICA e IMA, parece ser ainda um desafio comum quando se trabalha com dados advindos de análises dendrocronológicas, especialmente pela maior dificuldade de estratificação dos dados, em decorrência da amostragem mais limitada. Além disso, a grande heterogeneidade em florestas naturais torna a padronização do crescimento por espécie mais complexa, visto que indivíduos podem apresentar estratégias distintas de crescimento ao longo do tempo, especialmente em consequência de fatores ambientais.

4 CONCLUSÕES

- Estratégias distintas de crescimento ao longo do tempo entre indivíduos de mesma espécie foram verificadas, presumivelmente influenciadas por fatores como competição e diferenciações de solos.
- *A. angustifolia* foi a espécie que apresentou, em média, as maiores taxas de incremento, de $0,5208 \text{ cm.ano}^{-1}$, contando também com os indivíduos de idades mais avançadas.
- O tempo de passagem foi verificado mais elevado para as classes diamétricas iniciais, apresentando diminuição deste tempo para classes intermediárias, com posterior novo aumento, para as três espécies.
- Possíveis intervenções poderiam ser priorizadas nas classes de 40-49,9 cm para *A. angustifolia* e *C. fissilis* e de 30-39,9 cm para *O. puberula* (diâmetro sem casca), a partir das quais o tempo de passagem aumenta, ao passo que o incremento anual decresce.
- Ciclos de corte de 22 anos, 26 anos, 23 anos respectivamente para as espécies *A. angustifolia*, *C. fissilis* e *O. puberula* poderiam ser considerados, devendo-se necessariamente ponderar, no entanto, quanto à frequência de árvores nas classes diamétricas abaixo do diâmetro de corte de cada espécie, visando assegurar a manutenção do estoque de árvores e o correto tempo de recuperação.
- Conforme o modelo biológico de Chapman-Richards, as três espécies estudadas apresentaram maximização do incremento médio anual em diâmetro antes dos 35 anos de idade (cruzamento das curvas de ICA e IMA).

REFERÊNCIAS

- ADENESKY-FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ANDRADE, C. G. C. SILVA, M. L.; TORRES, C. M.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, L. F.; ANDRADE, D. F.; REIS, L. P. Crescimento diamétrico e tempo de passagem de *Minquartia guianensis* após manejo na Floresta Nacional do Tapajós. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, p. 299-309, 2017.
- BRASIL. **Resolução CONAMA n. 278**. Diário Oficial da União de 18 de Julho de 2001.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 481–493, 2006a.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 256-267, 2006b.
- BUDOWSKI, A. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional progresses. **Turrialba**, Turrialba, v.15, p.40-42, 1965.
- CHERUBINI, P.; GARTNER, B. L.; TOGNETTI, R.; BRAKER, O. U.; SCHOCH, W.; INNES, J. L. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. **Biological Reviews**, v. 78, p. 119-148, 2003.
- CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O Ktze**. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. S.; RETSLAFF, F. S.; LONGHI-SANTOS, T. STEPKA, T. F. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00104814, 2017.
- HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v. 43, p. 69-75, 1983.
- IWASAKI-MAROCHI, C. **Anéis anuais de crescimento do cedro (*Cedrela fissilis* – Meliaceae) aplicados à avaliação da taxa de crescimento e dendroclimatologia**. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Deutsche Gessellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343p.

LISI, C. S. **Estudo dendrocronológico e da biomassa do carbono em anéis de crescimento do tronco de árvores da mata atlântica.** RELATORIO 2007/2008 das atividades com finalidade científica IBAMA. 2009.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Mull. Arg. em duas condições geomorfológicas no Sul do Brasil.** 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MIRANDA, Z. P.; GUEDES, M. C.; SCHÖNGART, J. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. **Trees**, DOI 10.1007/s00468-017-1630-7, 2017.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 9-25, 2001.

ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de Floresta de Araucária.** 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; DIAS, A. N. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p.1141-1153, 2009.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista.** 2016. 148 f. Tese – (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2016.

ROSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 55, p. 75-85, 2007.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária.** Curitiba: Multigraph, 2006. 264p.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 46–58, 2008.

SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M. T. F.; KRAMBECK, H.; JUNK, W. J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **Annals of Forest Science**, v. 64, p. 657–664, 2007.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in southern Brazil: Preliminary results. **IAWA Bulletin**, Utrecht, v. 10, n. 2, p. 170-174, 1989.

SPIECKER, H. Tree rings and forest management in Europe. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 191-202, 2002.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Genetic structure and the conservation of genetic resources of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2718 - 2725, 2008.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 2012. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Esse estudo investigou padrões de crescimento de espécies da Floresta Ombrófila Mista no sul do Brasil, identificando ritmos específicos e acessando respostas deste crescimento a fatores do ambiente.

Clima e competição são dois importantes fatores ambientais, um endógeno e outro exógeno, que exercem um papel significativo na dinâmica das florestas. A estrutura florestal é moldada pela interação competitiva entre os indivíduos e alterações no clima são uma determinante causa para o maior ou menor desenvolvimento de uma floresta. Para estes dois fatores, respostas distintas entre espécies foram encontradas, sugerindo espécies mais e menos sensíveis a determinadas variações.

Como a competição não é uma variável de medição direta, a possibilidade de representar a competição natural em uma floresta por meio de índices auxilia a expressar o estresse competitivo que cada árvore está sujeita. Este conhecimento contribui, por sua vez, para projeções de crescimento, sendo que quanto melhor for a representação das interações competitivas entre os indivíduos, ganha-se em qualidade nas projeções. Como não há ainda uma superioridade estabelecida de um índice sobre outro, reitera-se a necessidade de avaliações de índices de competição para diferentes condições florestais/ regiões/ sítios/ espécies.

Por sua maior simplicidade de construção, requerendo um menor número de variáveis a serem medidas, e por isso maior agilidade de avaliação, índices de competição independentes da distância seriam preferencialmente recomendados. Como visto no Capítulo I, uma boa relação destes com o crescimento das árvores foi encontrada, indicando boa representação destas relações. No entanto, é pertinente a investigação de se, a possível adição da variável distância, ou até mesmo de variáveis de copa, poderiam apresentar uma significativa melhoria que justificasse sua adoção para a tipologia em estudo.

Por sua vez, investigar como as espécies respondem frente às variações do clima é essencial para a inclusão de sensibilidade climática em modelos de crescimento, permitindo assim predições em diferentes cenários, em diferentes regiões climáticas. Ademais, o fato de a temperatura máxima ter sido encontrada como um dos fatores climáticos mais limitantes do crescimento, em especial para a Araucária, chama a atenção em um contexto de aquecimento global que vem sendo indicado pelos últimos relatórios do painel intergovernamental de mudanças climáticas (IPCC). O entendimento desta dinâmica poderá auxiliar no planejamento de ações futuras voltadas a espécie, visando sua conservação.

Neste contexto, a dendrocronologia confirmou-se como uma importante ferramenta para este tipo de estudo, permitindo prever/projetar diferenças de crescimento relacionadas a alterações do ambiente. Além de previsões de crescimento, informações desse âmbito também podem subsidiar reconstruções climáticas. Registros meteorológicos instrumentais são relativamente recentes, no entanto, registros ambientais contidos nos anéis de crescimento das árvores ao longo de séculos podem ser usados como *proxies*¹ climáticas, permitindo o resgate de informações a respeito de climas passados.

O fato de terem sido encontradas diferenças de respostas entre as espécies para variações do ambiente, bem como em relação à movimentação entre as classes diamétricas, confirma a necessidade de estratégias específicas por espécie para definições de critérios de manejo sustentável e conservação da Floresta Ombrófila Mista, que promovam sua valorização. Levando em conta a heterogeneidade da FOM, o estudo de outras espécies de relevância ambiental e/ou econômica é indicado.

Identificou-se também a possibilidade de considerar a execução de ciclos de corte de curto a médio prazo para as espécies *Araucaria angustolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea puberula* estudadas. Este resultado vai ao encontro das necessidades da região, favorecendo o pequeno produtor, já que a maioria remanescentes da FOM encontram-se representados por pequenos fragmentos, localizados, majoritariamente, em propriedades rurais privadas.

Recomenda-se, ainda, analisar os fatores clima e competição em conjunto, uma vez que a influência de uma variável pode influenciar na outra. Por exemplo, espécies podem ser mais vulneráveis a alterações climáticas quando estão sobre maior competição, ou então, as próprias variações do clima podem alterar os processos competitivos.

¹ No estudo de climas passados, as *proxies* climáticas são características físicas preservadas do passado que permitem aos cientistas reconstruir condições climáticas ao longo de uma fração mais longa da história da Terra (NOAA, 2018).

REFERÊNCIAS GERAIS

- ACCIOLY, P. **Mapeamento dos remanescentes vegetais arbóreos do estado do Paraná e elaboração de um sistema de informações geográficas para fins de análise ambiental do estado.** 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- ADENESKY-FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil.** 142 f. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, C. G. C. SILVA, M. L.; TORRES, C. M.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, L. F.; ANDRADE, D. F.; REIS, L. P. Crescimento diamétrico e tempo de passagem de *Minquartia guianensis* após manejo na Floresta Nacional do Tapajós. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, p. 299-309, 2017.
- ANDREACCI, F.; BOTOSSO, P. C.; GALVÃO, F. Sinais climáticos em anéis de crescimento de *Cedrela fissilis* em diferentes tipologias de Florestas Ombrófilas do sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba - PR, v. 44, n. 2, p. 323-332, 2014.
- ANGELO, H.; BRASIL, A. A.; SANTOS, J. Madeiras tropicais: análise econômica das principais espécies florestais exportadas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 31, n. 2, p. 237 - 248, 2001.
- AZAMBUJA, W. **Óleos essenciais: O início de sua história no Brasil.** Disponível em: <http://oleos essenciais.org/tag/safrol/>> Acesso em: 13 out. 2017.
- BACKES, A. Condicionamento climático e distribuição geográfica de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no Brasil – II. **Pesquisas botânicas**, 49, p. 31-51, 1999.
- BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul.** Porto Alegre, Instituto Souza Cruz, Clube da Árvore. 2002. 318p.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de indivíduos a ecossistemas.** 4. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2007.
- BONAN, G.B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Science**, v. 320, n. 5882, 1444–1449, 2008.
- BOYDEN, S., MONTGOMERY, R., REICH, P.B., PALIK, B. Seeing the forest for the heterogeneous trees: stand-scale resource distributions emerge from tree-scale structure. **Ecological Applications**, v. 22, p. 1578–1588, 2012.
- BRASIL. **Resolução CONAMA n. 278.** Diário Oficial da União de 18 de Julho de 2001.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 481–493, 2006a.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 226, p. 256-267, 2006b.

BUDOWSKI, A. Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional progresses. **Turrialba**, Turrialba, v.15, p.40-42, 1965.

BUFFUM, B.; GRATZER, G.; TENZIN, Y. The sustainability of selection cutting in a late successional broadleaved community forest in Bhutan. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 2084–2091, 2008.

BURKHART, H. E.; TOMÉ, M. **Modeling Forest Trees and Stands**. Springer, Dordrecht, NL, 2012. 457p.

CALDATO, S. L.; VERA, N.; DONAGH, P. M. Estrutura poblacional de *Ocotea puberula* em um bosque secundário y primário de la selva mixta misionera. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 25-32, 2003.

CANHAM, C. D.; LEPAGE, P. T.; COATES, K. D. A neighborhood analysis of canopy tree competition: effects of shading versus crowding. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 34, p. 778-787, 2004.

CARVALHO, P. E. R. **Canela-sassafrás**. 2005. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/288823>>. Acesso em: 16 set. 2018. (Circular Técnica).

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1037p.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Florestais Brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Brasília, EMBRAPA Produção de Informações, 1994. 640p.

CASTAGNERI, D.; VACCHIANO, G.; LINGUA, E.; MOTTA, R. Analysis of intraspecific competition in two subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands in Paneveggio (Trento, Italy). **Forest Ecology and Management**, v. 255, p. 651–659, 2008.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F. Competição em nível de árvore individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Portugal, v. 22, n. 1, p. 43-66, 2014.

CASTRO-NETO, F. **Uso de variáveis climáticas para classificação de sítios em povoamentos de Eucalipto**. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2015.

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.

CHERUBINI, P.; GARTNER, B. L.; TOGNETTI, R.; BRAKER, O. U.; SCHOCH, W.; INNES, J. L. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. **Biological Reviews**, v. 78, p. 119-148, 2003.

COATES, K. D.; CANHAM, C. D.; LEPAGE, C. T. Above versus below ground competitive effects and responses of a guild of temperate tree species. **Journal of Ecology**, 97, p. 118-130, 2009.

CONTRERAS, M. A.; AFFLECK, D.; CHUNG, W. Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 1939-1949, 2011.

COOK, E. R.; HOLMES, R. L. **Program ARSTAN user's manual**. Tucson: The University of Arizona Press, 1984, 15 p.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Competition indices and their relationship with basal area increment of *Araucaria*. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, 2018.

CUBAS, R. **Restabelecimento de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea porosa* após sete décadas da exploração florestal**. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal da Santa Maria, Santa Maria, 2015.

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

CURTO, R. A. **Avaliação do crescimento e potencial de manejo em plantio superestocado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze**. 250 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CUSATIS, A. C.; TRAZZI, P. A.; DOBNER JR, M.; HIGA, A. R. Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 287-297, 2013.

DALMASO, C. A.; INOUE, M. T.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MARCELINO, V. R. Padrões espaciais na regeneração de *Ocotea odorifera* na floresta nacional de Irati, PR. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 43, n. 2, p. 301-312, 2013.

DANIELS, R.F.; BURKHART, H.E.; CLASON, T.R. A comparison of competition measures for predicting growth of loblolly pine trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 16, p. 1230-1237, 1986.

DELLA-FLORA, J. B. **Modelos de Crescimento para Árvores Singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. e *Ocotea puberula* Ness**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Floresta) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

DÜNISCH, O. Influence of the El Niño southern oscillation on cambial growth of *Cedrela fissilis* Vell. In tropical and subtropical Brazil. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, Hamburg, v. 79, n. 1, p. 5-11, 2005.

DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V. R.; BAUCH, J. Dendroecological investigation on *Swietenia macrophylla* King. and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**, v.17, p. 244-250, 2003.

EBLING, Â. A.; PÉLLICO NETTO, S. Modelagem de Ocorrência de Coortes na Estrutura Diamétrica da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 251-257, 2015.

FERREIRA, G. B. **Análise dendroclimatológica do cedro (*Cedrela fissilis* L. - Meliaceae) para reconstrução do cenário ambiental recente da cidade de São Paulo, SP.** 86 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, A. Relatório técnico: **Comparação da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista e uma vegetação arbórea estabelecida sob um plantio de *Araucaria angustifolia* no Centro Sul do estado do Paraná.** 2011. 36 p. Não publicado.

FIGUEIREDO FILHO, A., DIAS, A.N., STEPKA, T.F., SAWCZUK, A.R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. S.; RETSLAFF, F. S.; LONGHI-SANTOS, T. STEPKA, T. F. Crescimento e Idade de Espécies Nativas Regenerantes Sob Plantio de *Araucaria angustifolia* no Paraná. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00104814, 2017.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos da Biometria Florestal.** Santa Maria: UFSM/ CPEF/ FATEC, 1992. 269 p.

FOSTER, T. E.; BROOKS, J. R. Long-term trends in growth of *Pinus palustris* and *Pinus elliottii* along a hydrological gradient in central Florida. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 31, p. 1661–1670, 2001.

FRAVER, S.; D'AMATO, A. W.; BRADFORD, J. B.; JONSSON, B. G.; JÖNSSON, M.; ESSEEN, P. A. Tree growth and competition in an old-growth *Picea abies* forest of boreal Sweden: influence of tree spatial patterning. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 2, p. 374–385, 2013.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate.** London: Academic Press, 1976, 567 p.

GLOVER, G.R.; HOOL, J.N. A basal area ratio predictor of loblolly pine plantation mortality. **Forest Science**, v. 25, n. 2, p. 275-282, 1979.

GUIMARÃES, B. F.; TOMAZELLO FILHO, M.; RODRIGUES, A. C. Caracterização anatômica macroscópica do lenho de árvores de espécies de canela, *Ocotea* e *Nectandra* (Lauraceae), ocorrentes no estado de Santa Catarina. **Revista Biotemas**, v. 30, n.3, p. 9-24, 2017.

HARLEY, G. L.; GRISSINO-MAYER, H. D.; HORN, S. P. The Dendrochronology of *Pinus elliottii* in the Lower Florida Keys: Chronology Development and Climate Response. **Tree-Ring Research**, Tucson, v. 67, n. 1, p. 39-50, 2011.

HÖLL, W. Seasonal fluctuation of reserve materials in the trunk wood of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 117, p. 355-362, 1985.

HOLMES, M. J.; REED, D. D. Competition indices for mixed species northern hardwoods. **Forest Science**. v. 37, n. 5, p. 1338–1349, 1991.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v. 43, p. 69-75, 1983.

HUI, G.; WANG, Y.; ZHANG, G; ZHAO, Z.; BAI, C., LIU, W. A novel approach for assessing the neighborhood competition in two different aged forests. **Forest Ecology and Management**, v. 422, p. 49-58, 2018.

INOUE, M. T; RODERJAN, C. V.; KUNIYOSHI, Y. S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1984.

IPCC, 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. **In: Global Warming of 1.5°C**. 2018. Disponível em: <
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/11/SR15_Chapter3_High_Res.pdf>
Acesso em: 19 dez. 2018.

IWASAKI-MAROCHI, C. **Anéis anuais de crescimento do cedro (*Cedrela fissilis* – Meliaceae) aplicados à avaliação da taxa de crescimento e dendroclimatologia**. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

JENKINS, H. S.; BAKER, P. A.; NEGRÓN-JUÁREZ, R. I. Eventos extremos de seca na Amazônia revelados pelos registros de anéis de árvores. **In: BORMA, L. S.; NOBRE, C. A. Secas na Amazônia: Causas e consequências**. Oficina de textos. 2013. 367p.

JIANG, X.; HUANG, J.; CHENG, J. DAWSON, A.; STADT, K. J.; COMEAU, P. G.; CHEN, H. Y. H. Interspecific variation in growth responses to tree size, competition and climate of western Canadian boreal mixed forests. **Science of the Total Environment**, v. 631–632, p. 1070–1078, 2018.

JOHNSON, C.; CHHIN, S.; ZHANG, J. Effects of climate on competitive dynamics in mixed conifer forests of the Sierra Nevada. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v. 394, p. 1-12, 2017.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343p.

LANDSBERG, J. Physiology in forest models: history and the future. **Forest Biometry, Modelling and Information Sciences**, Oxford, v. 1, p. 49-63, 2003.

LHOTKAA, J. M. LOEWENSTEIN, E. F. An individual-tree diameter growth model for managed uneven-aged oak-shortleaf pine stands in the Ozark Highlands of Missouri, USA. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 770–778, 2011.

LISI, C. S. **Estudo dendrocronológico e da biomassa do carbono em anéis de crescimento do tronco de árvores da mata atlântica**. RELATORIO 2007/2008 das atividades com finalidade científica IBAMA. 2009.

LISI, C.S.; PESSENDA, L.C.R.; TOMAZELLO, M. 14C bomb effect in tree rings of tropical and subtropical species of Brazil. **Tree-Ring Research**, v. 57, n. 2, p. 191-196, 2001.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Aspidosperma polyneuron* Mull. Arg. em duas condições geomorfológicas no Sul do Brasil**. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LÓPEZ, L.; VILLALBA, R. An assessment of *Schinopsis brasiliensis* Engler (Anacardiaceae) for dendroclimatological applications in the tropical Cerrado and Chaco forests, Bolivia. **Dendrochronologia**, v. 40, p. 85–92, 2016.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2ª edição. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998.

LORIMER, C.G. Test of age-independent competition indices for individual trees in natural hardwood stands. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 343-360, 1983.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R. F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrela fissilis* (Meliaceae). **IAWA Journal**, v. 27, n. 2, p. 199-211, 2006.

MATTOS, P. P.; BRAZ., E. M.; HESS., A. F.; SALIS, S. M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo: Embrapa Florestas; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2011. 37p.

MATTOS, P. P.; SANTOS, A. T.; OLIVEIRA, Y. M. M.; ROSOT, M. A. Dendrocronologia de espécies da Floresta Ombrófila Mista no Município de Candói-PR. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.54, p 153-156, 2007.

MATTOS, R. B. **Produtividade e incremento de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart., *Cedrela fissilis* Cell. e *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex steud., em floresta nativa no Rio Grande do Sul**. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MIRANDA, B.P. **Dendroecologia de *Ilex microdonta* Reissek e *Drimys brasiliensis* Miers em dois ambientes altomontanos da Serra do Mar, Paraná, Brasil**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

MIRANDA, Z. P.; GUEDES, M. C.; SCHÖNGART, J. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. **Trees**, DOI 10.1007/s00468-017-1630-7, 2017.

- MOLLO, L. **Efeito da temperatura no crescimento, no conteúdo e na composição de carboidratos não-estruturais de plantas de *Alcantarea imperialis* (Carrière) Harms (Bromeliaceae) cultivadas in vitro.** 104 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2009.
- MONSERUD, R. A.; STERBA, H. A basal area increment model for individual trees growing in even- and uneven-aged forest stands in Austria. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 57-80, 1996.
- MUNRO, D. D. Forest growth model – a prognosis. **In:** Fries J (ed) Growth models for tree and stand simulation. Royal College of Forestry, Stockholm, p. 7–21, 1974. Research Notes 30.
- NITSCHKE, C. R.; NICHOLS, S.; ALLEN, K.; DOBBS, C.; LIVESLEY, S. J.; BAKER, P. J.; LYNCH, Y. The influence of climate and drought on urban tree growth in southeast Australia and the implications for future growth under climate change. **Landscape and Urban Planning**, v. 167, p. 275–287, 2017.
- NOAA. **National Oceanic and Atmospheric Administration.** National Centers for Environmental Information. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/news/what-are-proxy-data>> Acesso em: 08 nov. 2018.
- NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v. 11, p. 9-25, 2001.
- OLIVEIRA, M. J. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: bases de dendrocronologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil.** 139 f. Tese (Doutorado em Ciências) –Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- OLIVEIRA, M. J.; ROIG, F. A.; PILLAR, V. D. Climatic signals in tree-rings of *Araucaria angustifolia* in the southern Brazilian highlands. **Austral Ecology**, Windsor, v. 35, p. 134-147, 2010.
- ORELLANA, E. **Sucessão florestal, regimes de manejo e competição avaliados por modelos de árvore individual em um fragmento de Floresta de Araucária.** 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ORELLANA, E.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PÉLLICO NETTO, S.; DIAS, A. N. Modelagem da distribuição diamétrica de espécies florestais em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 297-308, 2014.
- ORELLANA, E.; VANCLAY, J. K. Competition and dominance between angiosperms and *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze in the Atlantic Forest in southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 425, p.119-125, 2018.
- ORTEGA, L. S. de. Temperamento de luz de los arboles del alto Paraná y potencial de regeneración forestal. **Ka´a guy**, Assunción, v. 11, n. 1, p. 16-20, 1995.

- PALUDO, G. F.; MANTOVANI, A.; KLAUBERG, C.; REIS, M. S. Estrutura demográfica e padrão espacial de uma população natural de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), na reserva genética florestal de Caçador, estado de Santa Catarina. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 6, p.1109-1121, 2009.
- PELTONIEMI, M.; MÄKIPÄÄ, R. Quantifying distance-independent tree competition for predicting Norway spruce mortality in unmanaged forests. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 1, p. 30-42, 2011.
- PENNINGTON, T. D. **A monograph of neotropical Meliaceae**. New York: New York Botanical Gardens; 1981. 470p.
- PIRAINO, S. et al. Geomorphological-related heterogeneity as reflected in tree growth and its relationships with climate of Monte Desert *Prosopis flexuosa* DC woodlands. **Trees**, v. 29, n. 3, p. 903-916, 2015.
- POTTKLER, G. S.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; FIGUEIREDO FILHO, A. DALMASSO, C. A. Padrão espacial de espécies florestais: estudo de caso com *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1097-1106, 2016.
- PRETZSCH, H. **Forest Dynamics, Growth and Yield: From Measurement to Model**. Springer, Berlin. 2009. 671 p.
- PRICE, T. DAVID.; COOKE, B. J.; METSARANTA, J. M.; KURZ, W. A. If forest dynamics in Canada's west are driven mainly by competition, why did they change? Half-century evidence says: Climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 32, 2015.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura Forestal**. San Jose, Costa Rica: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1997. 586p.
- RADTKE, P. J.; WESTFALL, J. A.; BURKHART, H. E. Conditioning a distance-dependent competition index to indicate the onset of inter-tree competition. **Forest Ecology and Management**, v. 175, p. 17-30, 2003.
- REIS-AVILA, G.; OLIVEIRA, J. M. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. **Dendrochronologia**, v. 44, p. 103–116, 2017.
- REITZ, R. Meliaceae. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí, 1984.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M. Araucariáceas. **Flora ilustrada catarinense**, Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1966. 63p.
- REITZ, R.; KLEIN, M. R.; REIS, A. **Madeiras do Brasil**. Lunardelli, Florianópolis, 1979. 320 p.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira de Santa Catarina. **Sellowia**, v. 28, p. 11-320, 1978.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p.1141-1153, 2009.

RODE, R. **Avaliação florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Mista e de uma vegetação arbórea estabelecida sob um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 60 anos**. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As regiões fitogeográficas do Estado do Paraná. **Revista Ciência e Ambiente**, v. 24, p. 75- 92, 2002.

RODRIGUES, A. L. **Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista**. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2016.

ROIG, F. A. Dendrocronología em los bosques del Neotrópico: revisión y prospección futura. **In: Dendrocronología em América Latina** (ed. F. A. Roig). Ediunc, Mendoza, p. 307-355, 2000.

RONDON NETO, R. M. **Análise do Histórico Silvicultural de Quatro Espécies de uma Floresta Ombrófila Mista com Auxílio da Dendrocronologia**. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

ROSOT, M. A. D. Manejo florestal de uso múltiplo: uma alternativa contra a extinção da Floresta com Araucária? **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 55, p. 75-85, 2007.

ROSSI, L. M. B.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. Modelagem da mortalidade em florestas naturais. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 275-291, 2007.

ROZENDAALL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees – Structure and Function**, Heidelberg, v. 25, n. 1, 2011, p. 3-16, 2011.

RYDER, N. B. The Cohort as a concept in the study of social change. **American Sociological Review**, Aliso Viejo, v. 30, n. 6, p. 843-861, 1965.

SANQUETTA, C. R.; MATTEI, E. **Perspectivas de recuperação e manejo sustentável das Florestas de Araucária**. Curitiba: Multigraph, 2006. 264p.

SCHÖNGART, J. Growth-Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1-2, p. 46–58, 2008.

SCHÖNGART, J.; GRIBEL, R.; FONSECA-JUNIOR, S. F.; HAUGAASEN, T. Age and growth patterns of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in Amazonia, Brazil. **Biotropica**, v. 47, p. 550–558, 2015.

SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M. T. F.; KRAMBECK, H.; JUNK, W. J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-

water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **Annals of Forest Science**, v. 64, p. 657–664, 2007.

SCHWEINGRUBER, F. H. **Wood Structure and Environment**. Springer Verlag, Berlin and Heidelberg, 2007.

SEITZ, R. A.; KANNINEN, M. Tree ring analysis of *Araucaria angustifolia* in Southern Brazil: preliminary results. **IAWA Bulletin**, v. 10, p. 170–174, 1989.

SILVA, M. **Anatomia da madeira de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (Lauraceae)**. 77 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

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.

SPEER, J. H. **Fundamentals of Tree ring Research**. University of Arizona Press, Tucson, 2010. 333 p.

SPIECKER, H. Tree rings and forest management in Europe. **Dendrochronologia**, v. 20, n. 1-2, p. 191-202, 2002.

STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. Madison: USDA Forest Service (Research Paper INT-137). Washington, DC, 1973. 32p.

STEFENON, V. M.; GAILING, O.; FINKELDEY, R. Genetic structure and the conservation of genetic resources of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2718 - 2725, 2008.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TENZIN, J.; HASENAUER, H. Tree species composition and diversity in relation to anthropogenic disturbances in broad-leaved forests of Bhutan. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 12, p. 274–290, 2016.

TENZIN, J.; TENZIN, K.; HASENAUER, H. Individual tree basal area increment models for broadleaved forests in Bhutan. **Forestry**, v. 90, p. 367–380, 2017.

TÉO, S. J.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LINGNAU, C. Análise espacial do estresse competitivo, incremento diamétrico e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, Irati, PR. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 45, n. 4, p. 681-694, 2015.

TOMÉ, M.; BURKHART, H. E. Distance-dependent competition measures for predicting growth of individual tree. **Forest Science**, v. 35, n. 3, p. 816-831, 1989.

TONINI, H. **Índice de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das árvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. 30p. (Documentos / Embrapa Roraima; 8).

VALENTE, T. P.; NEGRELLE, R. R. B.; SANQUETTA, C. R. Regeneração de *Araucaria angustifolia* em três fitofisionomias de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Iheringia -Série botânica**, Porto Alegre, v. 65, n. 1, p. 17-24, 2010.

VANCLAY, J. K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994, 312 p.

VATTIMO, I de. Contribuição ao conhecimento da distribuição geográfica das Lauraceae III. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.31, n.48, p.7-57, 1979.

WEBER, P.; BUGMANN, H.; FONTI, P.; RIGLING, A. Using a retrospective dynamic competition index to reconstruct forest succession. **Forest Ecology and Management**, v. 254, p. 96-106, 2008.

WEISKITTEL, A. R.; HANN, D. W.; KERSHAW Jr, J. A.; VANCLAY, J. K. **Forest Growth and Yield Modeling**. Wiley-Blackwell, 2011. 415p.

WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R.; JONES, P. D. On the average value of correlated time series with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Washington, v. 23, p. 201–213, 1984.

WIMBERLY, M. C.; BARE, B. B. Distance-dependent and distance-independent models of Douglas-fir and western hemlock basal area growth following silvicultural treatment. **Forest Ecology and Management**, v. 89, p. 1-11, 1996.

WORBES M. One hundred years of tree-ring research in the tropics—a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia** v. 20, n. 1–2, p. 217–231, 2002.

WREGE, M. S.; FRITZSONS, E.; SOARES, M. T. S.; BOGNOLA, I. A.; SOUSA, V. A.; SOUSA, L. P.; GOMES, J. B. V.; AGUIAR, A. V.; GOMES, G. C.; MATOS, M. F. S.; SCARANTE, A. G.; FERRER, R. S. Distribuição natural e habitat da araucária frente às mudanças climáticas globais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 91, p. 331-346, 2017.

YANG, Y.; HUANG, S.; MENG, S.X.; TRINCADO, G.; VANDERSCHAAF, C.L. A multilevel individual tree basal area increment model for aspen in boreal mixedwood stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 39, p. 2203–2214, 2009.

ZAMIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ZHANG, J.; HUANG, S.; HE, F. Half-century evidence from western Canada shows forest dynamics are primarily driven by competition followed by climate. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 13, p. 4009-4014, 2015.

ZHAO, D.; BORDERS, B.; WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, v. 199, p. 307-322, 2004.