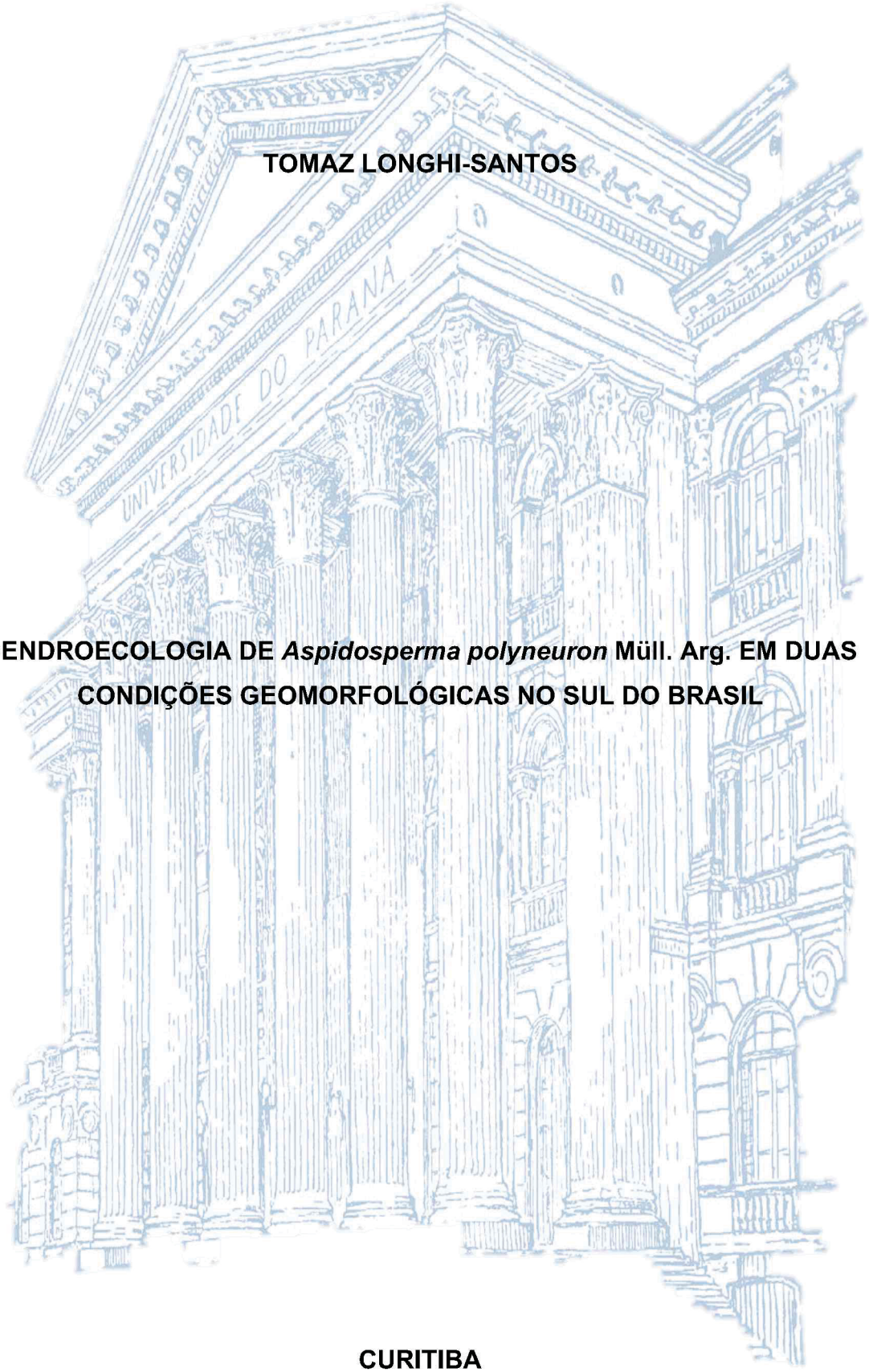
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ



TOMAZ LONGHI-SANTOS

DENDROECOLOGIA DE *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. EM DUAS CONDIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS NO SUL DO BRASIL

CURITIBA

2017

TOMAZ LONGHI-SANTOS

DENDROECOLOGIA DE *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. EM DUAS CONDIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS NO SUL DO BRASIL

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Florestal, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Franklin Galvão
Co-orientadores: Dr. Paulo César Botosso
Prof. Dr. Fidel A. Roig Juñet

CURITIBA

2017

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

Longhi-Santos, Tomaz
Dendroecologia de Aspidosperma polyneuron Müll. Arg. em duas condições geomorfológicas no sul do Brasil / Tomaz Longhi-Santos. – Curitiba, 2017.
110 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Franklin Galvão
Coorientadores: Prof. Dr. Paulo César Botosso
Prof. Dr. Fidel A. Roig Juñet
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 04/04/2017.
Área de concentração: Conservação da Natureza.

1. Dendrocronologia – Paraná. 2. Árvores – Anéis de crescimento. 3. Florestas – Paraná. 4. Teses. I. Galvão, Franklin. II. Botosso, Paulo César. III. Roig Juñet, Fidel A. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9
CDU – 634.0.524(816.2)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL

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 tese de Doutorado de **TOMAZ LONGHI SANTOS** intitulada: **DENDROECOLOGIA DE *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg. EM DUAS CONDIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS NO SUL DO BRASIL**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação.

Curitiba, 04 de Abril de 2017.

FRANKLIN GALVÃO
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

ERIKA AMANO
Avaliador Externo (UFPR)

PAULO CESAR BOTOSSO
Co-orientador – Avaliador Externo (EMBRAPA)

MARIO TOMAZELLO FILHO
Avaliador Externo (USP/ESALQ)

SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO
Avaliador Interno (UFPR)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO U.F.P.R. PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL MESTRADO DOUTORADO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

À minha família de sangue, coração e amor.

À minha afilhada Lavínia *(in memoriam)*.

AGRADECIMENTOS

"Ninguém é suficientemente perfeito, que não possa aprender com o outro e, ninguém é totalmente destituído de valores que não possa ensinar algo ao seu irmão ". São Francisco de Assis

Agradeço a Deus pela graça do dom da vida, por ser refúgio e proteção a todo o tempo.

Aos meus pais, Luiz e Sonia, minha irmã Fabiolle e minha avó Ermerinda, pelo exemplo, incentivo e compreensão. Por me mostrarem que com caráter e determinação tudo se torna mais sereno. Ao meu padrinho Frei Pedro, pela parceria, orientação e oração. Obrigado por estarem na minha vida! Amo vocês!

Ao meu orientador Dr. Franklin Galvão, que muito mais do que um orientador, foi um pai. Um pai atencioso, amigo, preocupado e companheiro. Obrigado por confiar em mim, por acreditar no meu potencial e por me acompanhar e incentivar a cada passo neste doutorado. Ter sido orientado por ti não foi apenas um privilégio, foi uma honra! Um exemplo que levo para a vida toda!

Ao meu co-orientador Dr. Paulo Botosso, pela amizade, zelo e apoio. Obrigado por poder contar contigo, incondicionalmente. Obrigado pelas palavras de incentivo e pelas mensagens sempre muito bem-humoradas nas revisões dos textos. Nada disso seria possível sem tua ajuda!

Ao meu co-orientador Dr. Fidel A. Roig, por ser um dos grandes incentivadores e entusiasta no trabalho com anéis de crescimento. Obrigado pela preocupação e carinho que dispensou a mim durante minha passagem por Mendoza, AR. Conviver contigo e com tua equipe foi um privilégio.

Aos professores Antonio Carlos Nogueira, Décio José de Figueiredo; Alessandro Camargo Angelo, Sebastião do Amaral Machado, Christhoper Thomas Blum e Nivaldo Eduardo Rizzi, pelas conversas sempre produtivas e descontraídas, pelos conselhos e sugestões, pelo exemplo profissional que são e pelas valiosas contribuições à Engenharia Florestal. Obrigado pelo privilégio do convívio e amizade!

À Dra. Yoshiko Saito Kuniyoshi, pela confiança que depositou em mim durante todos estes anos. Pelo carinho, pelas palavras sempre sinceras e diretas e por me

considerar um dos seus “anjos da guarda”, quando na verdade tu me guardou com muito mais zelo, carinho, pastel e banana.

Ao Dr. Carlos Vellozo Roderjan, pelo exemplo de serenidade e bondade. Por me mostrar que na simplicidade das coisas é que reside a alegria de viver. Obrigado por me mostrar que fazer doutorado vai muito além de escrever uma tese e por sempre de maneira muito descontraída, chamar meu nome como se quisesse falar algo sério, para simplesmente dizer tchau.

Depois de um longo silêncio, mal sabia eu que a Dra. Jaçanan seria a minha maior parceria e amizade durante todos estes anos. Entendemos que não concorríamos e que se trabalhássemos juntos seríamos muito mais fortes. E este foi o resultado: somos muito mais fortes! Obrigado por ser um exemplo de determinação, carinho e amizade! Obrigado por tudo! Te admiro por tudo!

Ao amigo Bruno Palka pela convivência agradável e amistosa. Pelo auxílio fundamental na elaboração de mapas e pelas discussões sempre construtivas sobre anéis de crescimento. Pela paciência, respeito e bom humor que sempre pautou nossa amizade, mesmo quando, diariamente, eu te provocava por não ter um projeto de tese.

Aos meus amigos do Laboratório de Ecologia Florestal, Amanda e Dieter, que diariamente, com muito bom humor e compreensão não se importaram em trabalhar em um laboratório tomado por discos de Peroba. Pela parceria no chimarrão de cada dia, por ouvirem e rirem dos meus desabafos espontâneos. Foi muito mais fácil com vocês por perto!

Ao amigo Diego Valério, pelo valioso, preciso e fundamental auxílio na identificação e marcação dos anéis de crescimento de peroba. Haja anéis de crescimento! Ao amigo Victor Hugo, que mesmo distante sempre esteve muito presente. Obrigado por confiar a mim, sem receio algum, tudo aquilo de novo que aprende aí em Manaus.

Aos meus amigos e colegas de pós-graduação, Bruna Veridiana Müller Jonas Eduardo Bianchin e Marcos Fellipe Nicoletti, que me acompanham neste caminho desde a graduação, compartilhando angustias e alegrias numa amizade que se renova e fortalece a cada dia. Admiro muito vocês!

Aos amigos e colegas que fiz durante essa jornada de pós-graduação, Maria Raquel, Phillipe, Rafael (Ipatinga), Rafaella, Gabrielle, Dagma, Vinícius, Eder, Tiaro Alessandro, Aurélio, Simone, Manoela, Karla, Edberto e outros tantos que

compartilharam os diversos momentos de "só" fazer doutorado. Contar com vocês nesta caminhada foi fundamental!

À grande família de Sônia e Jorge Ribaski, por me acolher, apoiar e tornar minha vida em Curitiba muito mais agradável. O convívio com vocês é muito gratificante. A amizade de todos vocês é fundamental.

Thaís, Fellipe, Pedro, Gabriel e Leandro, obrigado por formarem a minha família curitibana. Por compartilharem das alegrias e conquistas, suportarem o mau-humor e o estresse. Sei que me tornei muito melhor com vocês.

À Renata, Patrícia e Naiara, pelo carinho e atenção. Por ter a certeza de que em vocês eu poderia encontrar uma palavra de conforto, entusiasmo e alegria nos momentos mais complicados do doutorado. Tenho a mais alta estima e respeito por vocês!

A Companhia Paranaense de Energia, e em especial ao Dr. Murilo Barddal, pela parceria, apoio e logística na coleta do material desta tese.

A empresa Klabin S/A, na pessoa do Engenheiro Florestal Marco Aurélio Figura, pela pronta e acessível disponibilização de dados meteorológicos da região de Telêmaco Borba.

Ao Instituto de Nivologia e Glaciologia (IANIGLA - CONICET, Mendoza, AR) e aos amigos Federico, Sofia, Agustin, Jose, Julieta, Paula, Mariana, Silvina, Eduardo, Sergio, Carolina, que me acolheram de maneira formidável e amistosa durante o período de doutorado sanduíche. *¡Gracias por todo!*

Ao Prof. Dr. Mario Tomazello Filho do Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira, da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP), por sempre disponibilizar, generosamente, toda a estrutura e apoio técnico necessário.

Ao Prof. Dr. Francisco José Krug e a Dra. Lidiane Cristina Nunes do Laboratório de Química Analítica "Henrique Bergamin Filho" do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo (USP), pela solicitude e zelo com que me receberam e pela oportunidade e auxilio nas análises.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná pela possibilidade do doutoramento neste histórico e reconhecido programa.

Se você é neutro em situações de injustiça, você escolhe o lado do opressor.

Desmond Tutu

RESUMO

Aspidosperma polyneuron Müll. Arg. (APOCYNACEAE), popularmente conhecida como peroba-rosa, é uma espécie nativa, não-pioneira que possui anéis de crescimento distintos a pouco distintos. Pode ser encontrada desde a Caatinga até a Mata atlântica. Em uma área de transição entre a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual, no Sul do Brasil, entre os meses de julho e setembro de 2011, foram coletados 40 discos do lenho de árvores de peroba-rosa (seções transversais do fuste) a 0,40 m acima do nível do solo. Destes, 25 provenientes de árvores crescendo naturalmente em áreas de encostas e os demais (15 discos) de indivíduos em área da planície de inundação do rio Tibagi, Paraná. Estas árvores foram abatidas em decorrência da formação do lago da Usina Hidrelétrica Governador Jayme Canet Júnior e compõem as amostras que deram origem aos três capítulos desta Tese. O primeiro capítulo intitulado "A história ambiental registrada nos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron*", trata da datação, sincronização e padronização dos anéis de crescimento e a correlação de variáveis ambientais regionais (precipitação, temperatura, cota do rio) e globais (*El-niño* e *SOI*) com as cronologias construídas para a espécie. O segundo capítulo "Dinâmica e crescimento diamétrico de *Aspidosperma polyneuron*" aborda questões referentes ao crescimento diamétrico da peroba-rosa. Investiga o tempo de passagem entre classes diamétricas, com o intuito de reunir informações sobre a dinâmica da florestal e dados sobre a autoecologia da espécie. O terceiro e último capítulo, "Macro e micronutrientes nos anéis de crescimento: uma nova perspectiva na análise do ambiente florestal", apresenta dados referentes ao conteúdo químico dos anéis de crescimento de *A. polyneuron*. Para a determinação deste conteúdo foi empregada a técnica analítica de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS), como alternativa para estudos dendroquímicos.

Palavras-chave: Dendrocronologia. Dendroquímica. Anéis de crescimento. Dinâmica florestal. Macro e micronutrientes.

ABSTRACT

Aspidosperma polyneuron Müll. Arg. (APOCYNACEAE), popularly known as Perobra-rosa, is a native, non-pioneer species that has distinct and indistinct growth rings. It can be found from the Caatinga to the Atlantic Forest biomes. Between July and September 2011, 40 wood discs (cross sections of the shaft) were collected at 0.40m above the ground level in a transition area between the Mixed Ombrophilous Forest and the Semideciduous Seasonal Forest in southern Brazil. 25 of them come from trees grown on hillsides, and the remaining (15 discs) are from individuals found on the floodplain area of the Tibagi River, in Paraná State. These trees were felled as a result of the construction of the Governador Jayme Canet Júnior Hydroelectric Power Plant and compose the samples that gave rise to the three chapters of this thesis. The first chapter entitled "The environmental history recorded in the growth rings of *Aspidosperma polyneuron*" deals with the dating, synchronization and standardization of growth rings and the correlation of regional environmental variables (precipitation, temperature, river quota) and global variables (El-niño and SOI) with the chronologies built for this species. The second chapter "Dynamic and diametric growth of *Aspidosperma polyneuron*" addresses questions regarding the diametric growth of the peroba-rosa. It investigates the time of passage between diametric classes, in order to gather information on the dynamics of the forest and data on the autecology of this species. The third and last chapter, "Macro and micronutrients in growth rings: a new perspective in the analysis of the forest environment", presents data referring to the chemical content of the growth rings of *A. polyneuron*. To determine this content, the Laser Induced Breakdown Spectrometry (LIBS) technique was used as an alternative for dendrochemical studies.

Keywords: Dendrochronology. Dendrochemistry. Growth rings. Forest dynamics. Macro and micronutrients.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 14

CAPÍTULO 1 - A HISTÓRIA AMBIENTAL REGISTRADA NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspidosperma polyneuron* 16

RESUMO 16

ABSTRACT 16

1 INTRODUÇÃO 17

2 MATERIAL E MÉTODOS 19

2.1 ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E CLIMA 19

2.2 A ESPÉCIE ESTUDADA 21

3 RESULTADOS 25

4 DISCUSSÃO 39

5 CONCLUSÕES 43

REFERÊNCIAS 44

ANEXO A - EVOLUÇÃO DA CORRELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES DE ENCOSTA E EL-NIÑO 3.4 49

ANEXO B - EVOLUÇÃO DA CORRELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES DE PLANÍCIE E EL-NIÑO 3.4 50

CAPÍTULO 2 – DINÂMICA E CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Aspidosperma polyneuron* 51

RESUMO 51

ABSTRACT 51

1 INTRODUÇÃO 52

2 MATERIAL E MÉTODOS 53

2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DOS DADOS 53

3 RESULTADOS 55

4 DISCUSSÃO 65

5 CONCLUSÕES 70

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

CAPÍTULO 3 - MACRO E MICRONUTRIENTES NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO: UMA NOVA PERSPECTIVA NA ANÁLISE DO AMBIENTE FLORESTAL 75

RESUMO 75

ABSTRACT 75

1 INTRODUÇÃO 76

2 MATERIAL E MÉTODOS 78

2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DOS DADOS 78

3 RESULTADOS 82

4 DISCUSSÃO 97

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 103

ANEXO A – ZONA DE TRANSIÇÃO DE ENTRE A PORÇÃO MAIS ATIVA DO LENHO (ALBURNO) E A FISIOLOGICAMENTE MENOS ATIVA (CERNE) DAS AMOSTRAS DO LENHO DE *Aspidosperma polyneuron*, EM ENCOSTA, SELECIONADAS PARA ANÁLISES COM LIBS. 107

ANEXO B – ZONA DE TRANSIÇÃO DE ENTRE A PORÇÃO MAIS ATIVA DO LENHO (ALBURNO) E A FISIOLOGICAMENTE MENOS ATIVA (CERNE) DAS AMOSTRAS DO LENHO DE *Aspidosperma polyneuron*, EM PLANÍCIE, SELECIONADAS PARA ANÁLISES COM LIBS. 108

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES 109

REFERÊNCIAS TOTAIS 111

INTRODUÇÃO GERAL

...a mutilação exposta e o rasgão largo na copa verde do arvoredo lá embaixo é tudo o que resta para mostrar que caiu ali um dos monarcas da floresta...
...subimos vagarosamente a elevada encosta, fazendo voltas entre perobeiras gigantescas, vetustos cedros e enormes figueiras silvestres...

Thomas P. Bigg-Wither já anunciava em 1872/1875 qual seria o destino das florestas do estado do Paraná. Um a um, cada monarca foi sendo derrubado e poucas perobeiras gigantes, vetustos cedros e figueiras silvestres restaram. O difícil acesso a algumas áreas ao longo do vale do rio Tibagi (rio de muitas águas) permitiu ao jovem engenheiro britânico relatar a existência de florestas primitivas, onde nem os índios se arriscavam a circular.

Ao que parece, essas áreas inacessíveis aos índios não permaneceram incólumes aos olhos do homem branco, dito civilizado.

A exploração dos recursos florestais no Paraná, desde a época da excursão de Bigg-Wither pelo interior do estado, provocou uma drástica e sistemática redução da superfície florestal. Hoje o que vemos são pequenos remanescentes de vegetação secundária, que resistem bravamente a pressão antrópica.

Como em uma relação de oferta e demanda, a área florestal reduziu com o aumento da população e a ocupação do segundo e terceiro planaltos paranaenses. O crescimento populacional demanda por bens e serviços e, com isso, grandes obras são executadas.

Frente aos impactos ambientais que estas obras podem gerar, surge a possibilidade de desenvolvimento de pesquisas com o material oriundo dessas áreas. Um exemplo disso é a construção de usinas hidrelétricas, que necessitam suprimir a vegetação de extensas áreas para a formação de um reservatório.

Os estudos dendrocronológicos são realizados, via de regra, a partir de amostras não-destrutivas de madeira - quando não há necessidade de corte de árvores - com o auxílio de um trado, que apresentam limitações em função do diâmetro das árvores. Desta forma disponibilidade de discos de madeira provenientes da supressão da vegetação representa o acesso a informações e dados muitas vezes inacessíveis.

Os anéis de crescimento presentes em muitas espécies arbóreas, incluindo as "perobeiras gigantescas", contém informações preciosas das condições ambientais, climáticas e sobre a dinâmica das florestas ao longo do tempo.

Este trabalho foi possível a partir de uma parceria entre a Universidade Federal do Paraná (UFPR), Embrapa Florestas e a Companhia Paranaense de Energia (Copel), que juntas viabilizaram a coleta de discos de madeira de uma área de supressão da Usina Hidrelétrica Governador Jayme Canet Júnior, entre os municípios e Ortigueira e Telêmaco Borba, PR.

A presente tese tem como principal temática base a análise dos anéis de crescimento de *Aspidosperma* polyneuron, a peroba-rosa, uma "monarca" das florestas, a qual é apresentada em 3 capítulos:

Capítulo 1 - A história ambiental registrada nos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron*;

Capítulo 2 – Dinâmica e crescimento diamétrico de *Aspidosperma polyneuron*;

Capítulo 3 - Macro e micronutrientes nos anéis de crescimento: uma nova perspectiva na análise do ambiente florestal.

CAPÍTULO 1 - A HISTÓRIA AMBIENTAL REGISTRADA NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspidosperma polyneuron*

RESUMO

Anéis de crescimento registram informações valiosas sobre o crescimento das espécies e sua interação com o meio ao longo do tempo. Assim, neste capítulo buscou-se datar indivíduos adultos de *Aspidosperma polyneuron* – peroba-rosa - provenientes de duas condições geomorfológicas (planície e encosta). Os dados referentes à largura dos anéis de crescimento foram correlacionados com variáveis ambientais regionais (i.e. precipitação, temperatura, cota de elevação do rio) e globais (i.e. *El-niño e SOI*). Foram identificados indivíduos de peroba-rosa com idades superiores a 300 anos, os quais representam alguns dos exemplares mais velhos já datados da espécie. As séries cronológicas construídas nos dois ambientes são as mais extensas e estatisticamente significativas para *A. polyneuron*. A espécie apresenta correlação com as variáveis ambientais testadas, sendo que as árvores de encosta apresentam maior sensibilidade às variações climáticas do que as árvores de planície. Além de ser uma das poucas espécies longevas no sul do país, a mesma reúne características potenciais para estudos dendroecológicos e climáticos.

Palavras-chave: Peroba-rosa. Dendroecologia. Floresta subtropical.

ABSTRACT

Growth rings record valuable information about species growth and their interaction with the environmental conditions over time. Therefore, in this chapter we aimed to date adult individuals of *Aspidosperma polyneuron* trees - peroba rosa – naturally growing in two distinct geomorphological conditions (floodplain and hillside). Ring-width data were correlated with regional environmental variables (precipitation, temperature, river level) and global variables (El-Niño and SOI). We identified individuals of Peroba-rosa aging greater than 300 years, which represent some of the oldest specimens dated so far. The chronological tree ring series that were developed for both growing conditions are the most extensive and statistically significant of *A. polyneuron*. The species presents a correlation with the environmental variables tested, with hillside trees being more sensitive to climatic variations than floodplain ones. Peroba-rosa gathers sufficient characteristics for dendroecological studies and is one of the few long-lived species in southern Brazil.

Key-words: Peroba-rosa. Dendroecology. Subtropical forest.

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, a periodicidade dos anéis de crescimento de espécies arbóreas de regiões em climas diferentes do temperado foi motivo de controvérsias e de questionamentos (SCHWEINGRUBER, 1996), em razão das condições ambientais serem, em geral, consideradas menos pronunciadas e/ou com menor sazonalidade climática (ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011). Entretanto, nos últimos anos verifica-se uma consolidação de estudos com anéis de crescimento na América do Sul (BONINSEGNA et al., 2009), inclusive com inúmeras experiências em regiões tropicais e subtropicais do continente (ROIG, 2000)

A demarcação dos limites dos anéis de crescimento de árvores tropicais é, frequentemente, anatomicamente menos distinta e, algumas vezes, menos segura do que os padrões evidenciados em zonas temperadas (WORBES, 2002). Sabe-se que somente uma parcela dessas espécies possui crescimento aparentemente contínuo, sem apresentar uma demarcação de camadas de crescimento (ROIG, 2000), principalmente naquelas regiões onde a sazonalidade climática não é suficientemente definida.

Se anteriormente os dados obtidos a partir da análise dos anéis de crescimento constituíam uma importante base científica para o desenvolvimento das técnicas de manejo florestal (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006), hoje mais do que nunca, se faz necessário que estes dados sejam analisados de maneira mais abrangente e aprofundada, considerando aspectos e variáveis que extrapolem o trivial (BONINSEGNA et al., 2009), dado o seu potencial de aplicação.

A interação, ou não, entre os anéis crescimento e variáveis ambientais permite compreender, dentre muitas outras possibilidades, parte da autoecologia das espécies (DÜNISCH et al., 2003), desvendando, também, os fatores limitantes ao seu desenvolvimento (STOKES; SMILEY, 1996) bem como questões relacionadas a dinâmica da floresta e do ambiente (FRITTS; SWETNAM, 1989; TOMAZELLO-FILHO et al., 2009).

Em regiões de clima subtropical do Brasil, poucos são os dados disponíveis de séries cronológicas razoavelmente longas, resultado em parte, da presença de inúmeras espécies arbóreas pouco longevas - ou não tão longevas quanto as das regiões temperadas, desconhecimento da anualidade de formação dos anéis de crescimento e da exploração desenfreada de madeira ao longo dos séculos. Neste

contexto, buscou-se responder as seguintes questões: (i) quão longevas são as amostras analisadas de *Aspidosperma polyneuron*?; (ii) haveria similaridade quanto a estrutura etária entre indivíduos crescendo sob condições ambientais distintas (encosta e planície) ?; (iii) poderiam ser estabelecidas cronologias para cada um desses ambientes, considerando-se as premissas estatísticas e princípios de estudos dendrocronológicos?; (iv) as cronologias geradas estariam correlacionadas a variáveis ambientais regionais e globais e permitiriam identificar possíveis respostas para cada ambiente?

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO: LOCALIZAÇÃO, CARACTERÍSTICAS E CLIMA

Inserida em uma área de transição entre Floresta Ombrófila Mista (FOM) e Floresta Estacional Semidecidual (FES), o local de estudo compreende parte dos municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira, PR (aproximadamente 24°06'09" S, 50°42'12" O, 595 a 750 m s.n.m.). Geologicamente está localizada na Bacia do Paraná, sob o Grupo Guatá, representado pelas Formações Rio Bonito e Palermo (MAACK, 2012) sob influência do Arco de Ponta Grossa, responsável pela grande quantidade de diques e *sills* de diabásio, onde ocorrem diversas classes de solos, com predomínio de Cambissolos, Argissolos e Neossolos (STIPP, 2002).

A área é cortada pelo rio Tibagi, que, com um percurso de aproximadamente 550 km de extensão, disseca grande parte das litologias encontradas no estado do Paraná, apresentando diferentes padrões de leito, desde controlado até meandrante (FIGURA 1.1). Da sua origem nos Campos Gerais (1060 m s.n.m.) até desaguar no rio Paranapanema (298 m s.n.m.), a queda total é de 762 m, cortando o segundo e terceiro planaltos paranaense (MAACK, 2012).

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

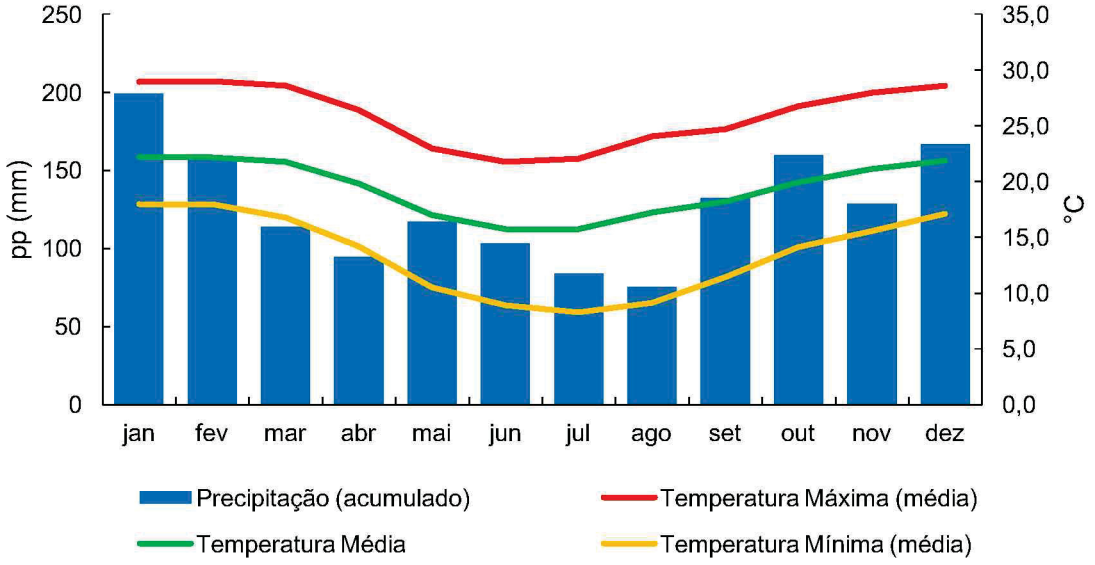


FONTE: o autor (2017).

Esta transição entre FOM e FES, que compreende um gradiente altitudinal e, consequentemente, diferenças térmicas, pode justificar em parte, a mescla de espécies das duas unidades fitogeográficas. A migração das espécies arbóreas, de uma unidade para outra, pode se dar por corredores formados ao longo das calhas dos rios, com correntes de ventos ora mais quentes ora mais frias. *Araucaria angustifolia* registra a ocorrência da FOM, enquanto que *Aspidosperma polyneuron* indica a presença de elementos da FES na região (RODERJAN et al., 2002).

Na região predomina o clima do tipo Cfb (Subtropical úmido com verão temperado), segundo a classificação de Koeppen. Foram obtidos dados de estações meteorológicas da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Empresa Klabin S/A para o período de 1947-2010 (dados de precipitação, r = 0,85) e 1977-2010 (dados de temperaturas r = 0,88). Assim, pôde-se identificar que a precipitação apresenta uma variação de 800 mm nos anos mais secos a 2600 mm nos anos mais chuvosos. A precipitação média anual para a região é de 1450 mm. Historicamente, janeiro é o mês mais chuvoso, com acumulados que superam 190 mm, e agosto é o mês mais seco, com acumulados inferiores a 75 mm (FIGURA 1.2).

FIGURA 1.2 – CLIMATOGRAMA DA REGIÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E KLABIN S/A.

A temperatura média varia de, aproximadamente, 22° C para os meses mais quentes (dezembro a fevereiro) e de 15° C para os meses mais frios (junho e julho). Historicamente, nos períodos mais quentes a temperatura máxima supera os 32° C e

nos mais frios pode chegar a 26° C. Por outro lado, a temperatura mínima nos meses mais frios fica abaixo de 1° C e nos meses mais quentes abaixo dos 14° C. Com base nesta série histórica de 1977 a 2010, o mês de novembro de 1985 registrou a maior temperatura máxima (38,2° C) e em julho de 1978 foi registrada a menor temperatura mínima (-5° C). Geadas são frequentes na região, ocorrendo de abril a setembro, com maior concentração durante o mês de julho (dados históricos de 1977-2010, IAPAR).

Nesta região da área de estudo, em 1963, a reunião de fatores climático-ambientais (uma seca histórica que se prolongou por mais de 10 anos, seguida de uma geada severa que arrasou com cafezais e o pico de predominância do evento *La Niña*) e culturais (queimadas, como prática agrícola de pequenos agricultores), resultou em um dos maiores incêndios florestais da história do país. Mais de 10% do território estado do Paraná foi queimado (aproximadamente 2 milhões de hectares, abrangendo os Campos Gerais e partes do segundo e terceiro planaltos paranaense), atingindo milhares de hectares de florestas (estima-se que dezenas de milhões de Araucárias tenham sido consumidas pelo fogo), campos, plantios florestais e povoados (mais de 120 cidades foram afetadas) (NUNES, 2013).

2.2 A ESPÉCIE ESTUDADA

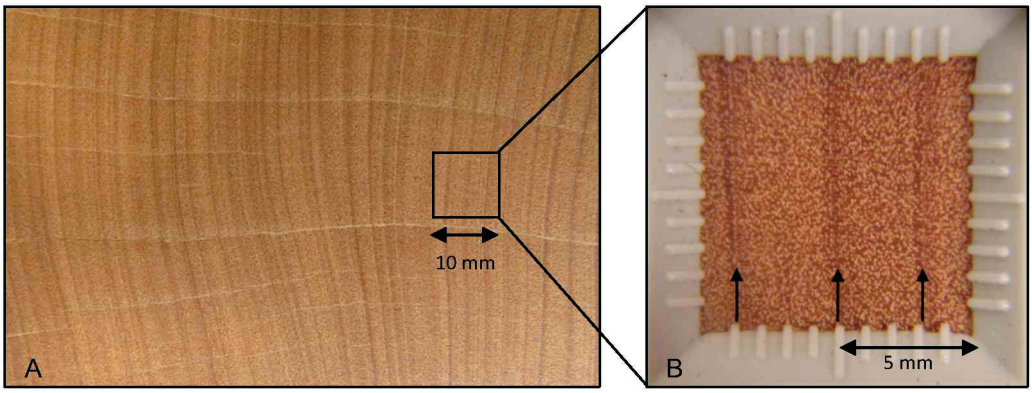
Aspidosperma polyneuron Müll. Arg. (APOCYNACEAE), popularmente conhecida como peroba-rosa, é uma espécie nativa, que ocorre desde porções na Caatinga, Cerrado até a Mata Atlântica. Pertence a um gênero botânico com mais de 60 espécies (WOODSON Jr., 1951), sendo que esta espécie foi intensamente explorada em todo país ao longo do tempo por suas qualidades, grande resistência (durabilidade natural) e flexibilidade (RIBEIRO et al., 1999).

É uma espécie não-pioneira (secundária tardia ou clímax exigente de luz), longeva, e que ocorre em todos os estratos da floresta, ocupando altos percentuais de cobertura no estrato emergente (CARVALHO, 2003).

A peroba-rosa possui anéis de crescimento distintos a pouco distintos, demarcados por zona fibrosa (FIGURA 1.3), às vezes, associados com menor frequência de vasos (RICHTER; DALLWITZ, 2000).

A anualidade da formação dos anéis de crescimento foi verificada por Lisi et al. (2008), pelo monitoramento do crescimento do tronco e utilização de técnicas de marcação cambial em área de floresta estacional semidecidual na região sudeste.

FIGURA 1.3 – SEÇÃO TRANSVERSAL DO LENHO DE *Aspidosperma polyneuron* (A) E A DEMARCAÇÃO DO LIMITE DOS SEUS ANÉIS DE CRESCIMENTO (B)



FONTE: o autor (2017).

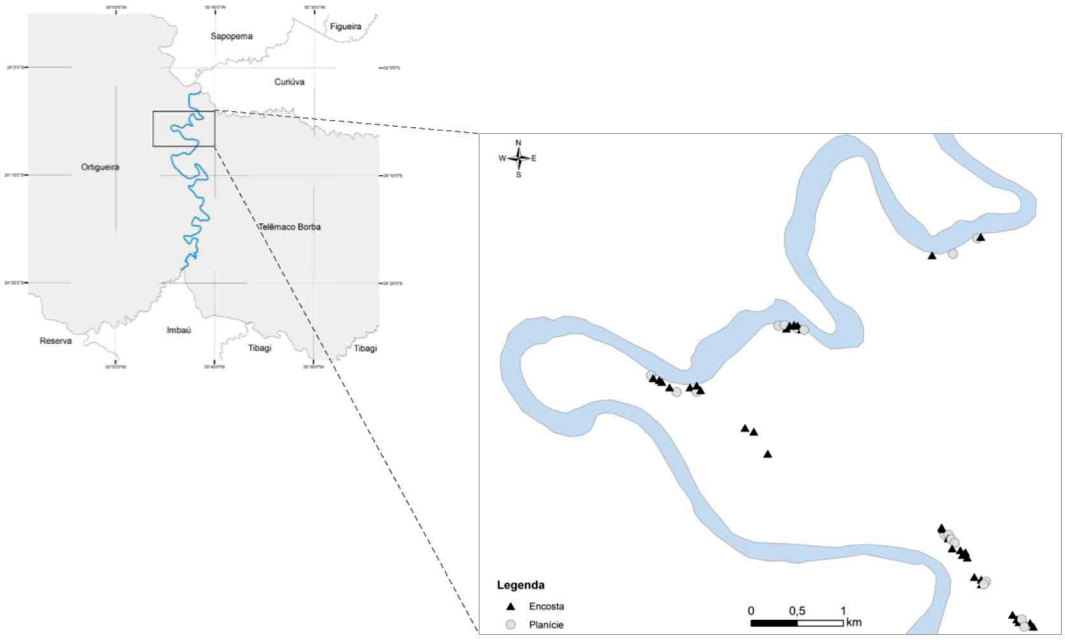
2.3 PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DOS DADOS

Entre os meses de julho e setembro de 2011, foram coletados 40 discos do lenho de árvores de peroba-rosa (seções transversais do fuste) a 0,40 m acima do nível do solo. Destes, 25 provenientes de árvores crescendo naturalmente em áreas de encostas e os demais (15 discos) de indivíduos em área da planície de inundação do rio Tibagi (FIGURA 1.4). Essas coletas só foram possíveis porque, nesta área, a vegetação arbórea foi removida para a formação do lago de uma usina hidrelétrica da Companhia Paranaense de Energia - COPEL (Usina Hidrelétrica Governador Jayme Canet Júnior).

Esses discos do lenho, depois de secos ao ar, foram submetidos ao polimento superficial da seção transversal (ou de topo), empregando-se lixas de diferentes granulometrias (de 80 a 600 grãos/cm²), a fim de melhor evidenciar os limites dos anéis de crescimento. Assim, em cada disco foram traçados raios (número de raios variável de acordo com a dimensão do exemplar) e com auxílio de um microscópio estereoscópico Leica S8 APO, os limites dos anéis de crescimento foram identificados, demarcados e datados, segundo Stokes e Smiley (1996).

Em virtude da dimensão dos discos, optou-se por fotografar sua seção transversal para reconstrução dos raios amostrais demarcados (fotos sequenciais tomadas a partir de uma maquina fotográfica e um suporte com regulagem de altura e nivelamento). Na sequência, foi realizada a medição da largura dos anéis de crescimento, no sentido casca - medula, com o auxílio do programa *Image Pro Plus*, com precisão de 0,01 mm.

FIGURA 1.4 CROQUI DE LOCALIZACÃO DAS ÁRVORES DE *Aspidosperma polyneuron* COLETADAS



FONTE: o autor (2017).

As amostras do lenho de peroba-rosa selecionadas para este estudo foram agrupadas segundo o ambiente em que se encontravam originalmente, encosta e planície. Cada uma das 25 amostras de encosta e 15 de planície foram sincronizadas individualmente, para averiguar o controle da marcação dos limites dos anéis de crescimento dentro de uma mesma amostra.

Os dados foram ajustados considerando-se o período vegetativo e o ano de corte das amostras. Deste modo, como as amostras foram coletadas entre julho/setembro de 2011, o último anel de crescimento considerado completo foi o de 2010.

As séries de anéis de crescimento foram sincronizadas e o controle da qualidade dos dados foi validado por método estatístico (HOLMES, 1983) no programa COFECHA, entre séries de uma mesma árvore e entre árvores. Foi utilizada uma função *spline cúbica*, com valor limite de resposta-frequência de 50% e uma longitude de série pré-determinada de 32 anos (ALVARADO, 2009). As séries cronológicas foram comparadas com uma série mestre, correlacionando segmentos de 50 anos, com intervalos de 25 anos e um ponto crítico de intercorrelação ($p > 0,01$) de 0,3281.

Com o intuito de remover as tendências biológicas de crescimento e eventos exógenos não climáticos (ruídos) e, desta forma, maximizar as tendências de crescimento em função do clima (sinais) (COOK, 1985), os dados foram estandarizados (normalizados), com o auxílio do Programa ARSTAN. Foi utilizada uma função *Spline* percentual de 60%, considerado um valor intermediário e flexível, para cada série analisada, uma vez que as amostras diferem de idades e a utilização de um uma função *Spline* com intervalo fixo poderia comprometer a qualidade dos dados padronizados.

A qualidade de cada cronologia foi verificada inicialmente pelo valor de intercorrelação na sincronia dos dados. Posteriormente, as cronologias foram avaliadas de acordo com o índice *EPS* (*Expressed Population Signal*), *RBAR* e *MS* (*mean sensitivity*). O índice *EPS* indica o quão bem o conjunto finito de dados de uma cronologia pode representar a cronologia teórica de uma população baseada num número infinito de amostras (BRIFFA; JONEES, 1990; PIRAINO et al., 2015). *Rbar* é a medida da variância comum entre uma série isolada e a cronologia (BRIFFA, 1995; PIRAINO et al. 2015). O valor de *MS* representa a diferença relativa na mudança da largura de um anel de crescimento para o próximo anel (FRITTS, 1976), ou seja, a variação interanual. Tanto o índice EPS quanto o Rbar foram calculados para uma janela de 20 anos, com uma sobreposição de 10 anos.

As cronologias obtidas no programa ARSTAN (estandarizada, residual e Arstan) foram correlacionadas (correlação de *Pearson*) a variáveis ambientais, a partir de funções de correlação com dados mensais, locais e globais, considerando diferentes períodos comuns de dados (BLASING et al., 1984; LU et al., 2015; VENEGAS-GONZÁLEZ et al., 2016).

Foram considerados os dados de El-Niño 3.4 (TRENBERTH; STEPANIAK, 2001) para o período de 1871 a 2007, SOI (*Southern Oscillation Index*) de 1866 a 2009, a partir dos dados obtidos junto ao NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Os dados referentes as cotas máxima e mínima do rio Tibagi para o período de 1980 a 2009, foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA).

3 RESULTADOS

A partir das amostras selecionadas e agrupadas por ambiente (encosta n = 25; planície n = 15), conforme ilustra a (TABELA 1.1), constatou-se que a idade das árvores de encosta variou de 103 a 344 anos. A idade média das amostras analisadas foi de, aproximadamente, 225 anos, e a média dos diâmetros foi de 85,51 cm. Das 25 amostras analisadas, 13 apresentaram valores de intercorrelação acima do ponto crítico estabelecido, sendo que a média de intercorrelação foi de 0,37.

TABELA 1.1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO DIÂMETRO DOS INDIVIDUOS, IDADE, NÚMERO DE RAIOS DATADOS E INTERCORRELAÇÃO PARA AS AMOSTRAS DE ENCOSTA

continua

ÁRVORE	DIÂMETRO (CM)	ANOS	RAIOS (N)	INTERCORRELAÇÃO
Asp 4D	114,59	344	3	0,155
Asp 38D	55,70	319	3	0,181
Asp 16D	63,66	106	5	0,182
Asp 39D	81,49	222	2	0,225
Asp 47D	134,01	318	3	0,234
Asp 33D	87,54	198	4	0,248
Asp 17D	82,44	246	3	0,263
Per 1D	46,79	103	3	0,274
Asp 20D	48,70	195	5	0,285
Asp 48D	131,78	309	4	0,290
Asp 32D	102,50	265	5	0,294
Asp 45D	135,60	300	3	0,299
Asp 31D	83,40	341	6	0,363*
Asp 23D	75,76	189	3	0,384*
Asp 42D	79,58	231	2	0,391*
Per 2D	57,61	317	3	0,394*
Asp 7D	75,76	209	5	0,437*
Asp 3D	58,57	150	4	0,469*
Asp 5D	69,39	106	5	0,481*
Asp 46D	121,28	255	3	0,501*
Asp 34D	129,87	219	4	0,508*
Asp 18D	104,72	201	4	0,524*
Asp 8D	54,11	153	5	0,602*
Asp 37D	76,08	166	5	0,620*
Asp 41D	66,85	175	2	0,652*
Média	85,51	225,48	3,76	0,37
Erro padrão	5,69	14,89	0,23	0,03
Mediana	79,58	219,00	4,00	0,36

TABELA 1.1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO DIÂMETRO DOS INDIVIDUOS, IDADE, NÚMERO DE RAIOS DATADOS E INTERCORRELAÇÃO PARA AS AMOSTRAS DE ENCOSTA

conclusão

	DIÂMETRO (CM)	ANOS	RAIOS (N)	INTERCORRELAÇÃO
Desvio padrão	28,44	74,45	1,13	0,14
Variância	809,12	5542,34	1,27	0,02
Mínimo	46,79	103,00	2,00	0,16
Máximo	135,60	344,00	6,00	0,65

* ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVO (P<0,001)
FONTE: o autor (2017).

Por outro lado, com relação aos dados das amostras de *A. polyneuron* em condição de planície, foi possível verificar que 9 das 15 amostras analisadas apresentaram valores de intercorrelação estatisticamente significativos. Em duas amostras foi possível marcar apenas um raio (TABELA 1.2) e, deste modo, o valor de intercorrelação foi 1. Nas amostras de planície foram marcados de 1 a 6 raios.

TABELA 1.2 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DO DIÂMETRO DOS INDIVÍDUOS, IDADE, NÚMERO DE RAIOS DATADOS E INTERCORRELAÇÃO PARA AS AMOSTRAS DE PLANÍCIE

ÁRVORE	DIÂMETRO (CM)	ANOS	RAIOS (N)	INTERCORRELAÇÃO
Asp 21P	83,08	323	3	0,178
Asp 40 P	80,21	204	4	0,233
Asp 19P	45,84	211	3	0,297
Asp 42P	79,58	256	3	0,313
Asp 47P	86,90	230	3	0,338*
Asp 45P	98,68	222	3	0,353*
Asp 5P	41,06	212	6	0,400*
Asp 22P	74,48	285	2	0,433*
Asp 46P	81,17	155	2	0,443*
Asp 23P	70,03	327	3	0,451*
Asp 20P	57,93	73	3	0,474*
Asp 43P	60,48	251	4	0,535*
Asp 7P	71,30	141	3	0,723*
Asp 2P	76,39	259	1	1,000
Asp 44P	63,66	205	1	1,000
Média	71,39	223,60	2,93	0,48
Erro padrão	3,98	17,28	0,32	0,06
Mediana	74,48	222,00	3,00	0,43
Desvio padrão	15,43	66,91	1,22	0,25
Variância	237,95	4476,54	1,50	0,06
Mínimo	41,06	73,00	1,00	0,18
Máximo	98,68	327,00	6,00	1,00

* ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVO (P<0,001)
FONTE: o autor (2017).

A idade média dos indivíduos de planície foi de aproximadamente 223 anos, sendo que o indivíduo mais jovem apresentou 73 anos (amostra danificada) e o mais velho 327 anos. A média dos diâmetros foi de 71,39 cm, variando de 41 a 98 cm.

Inicialmente as amostras foram sincronizadas e controladas no programa *Cofecha* de maneira individualizada, ou seja, considerando apenas os raios de uma mesma árvore. Posteriormente os dados foram sincronizados de acordo com o ambiente de origem, sendo possível sincronizar 20 de um total de 25 amostras coletadas em encosta e 14 das 15 coletadas em planície.

TABELA 1.3 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS CRONOLOGIAS DE ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspidosperma polyneuron* POR AMBIENTE

	ENCOSTA	PLANÍCIE
N° de árvores (de um total de)	20 (25)	14 (15)
N° de séries radiais temporais	39	27
Faixa temporal (Anos)	1660-2010 (351)	1686-2010 (325)
Total de anéis	5357	3834
Anéis verificados	5346	3834
Segmento de verificação	50-25	50-25
Ponto Crítico (p<0,001)	0,3281	0,3281
Intercorrelação	0,329*	0,329*
Sensibilidade média	0,323	0,302

* Estatisticamente significativo (p<0,001)
FONTE: o autor (2017).

O ponto de intercorrelação de 0,329 obtido para ambos os conjuntos de dados está acima do mínimo exigido para a significância estatística dos dados (ponto crítico: 0,3281; p< 0,001). Com este resultado estabeleceram-se duas cronologias para *Aspidosperma polyneuron* para esta área de estudo, uma de encosta, com 351 anos, e outra para os indivíduos de planície, com 325 anos, conforme pode ser observado na (TABELA 1.3). Em ambos os casos, o índice de sensibilidade média foi superior a 0,3.

Verificou-se uma maior amplitude de variação do índice de crescimento tanto na cronologia de encosta quanto na de planície, no começo da cronologia (FIGURAS 1.5 e 1.6 – C). Neste mesmo segmento, pode-se identificar que as cronologias possuem valores muito baixos de *EPS* e *Rbar*. Posterior a este segmento inicial, os valores de EPS são mais altos e ficam próximos de 0,75 ± 0,22 e 0,69 ± 0,14, respectivamente para encosta e planície (TABELA 1.4).

TABELA 1.4 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA PARA OS ÍNDICES *EPS* E *RBAR*

Parâmetros	ENCOSTA		PLANÍCIE	
Estatísticos	*EPS*	*Rbar*	EPS	Rbar
Média	0,66	0,14	0,65	0,21
Erro padrão	0,04	0,01	0,04	0,03
Mediana	0,74	0,14	0,69	0,14
Moda	0,79	0,17	-	0,06
Desvio padrão	0,22	0,07	0,20	0,18
Variância	0,05	0,00	0,04	0,03
Mínimo	-0,26	-0,04	-0,21	-0,09
Máximo	0,84	0,31	0,87	0,71

FONTE: o autor (2017).

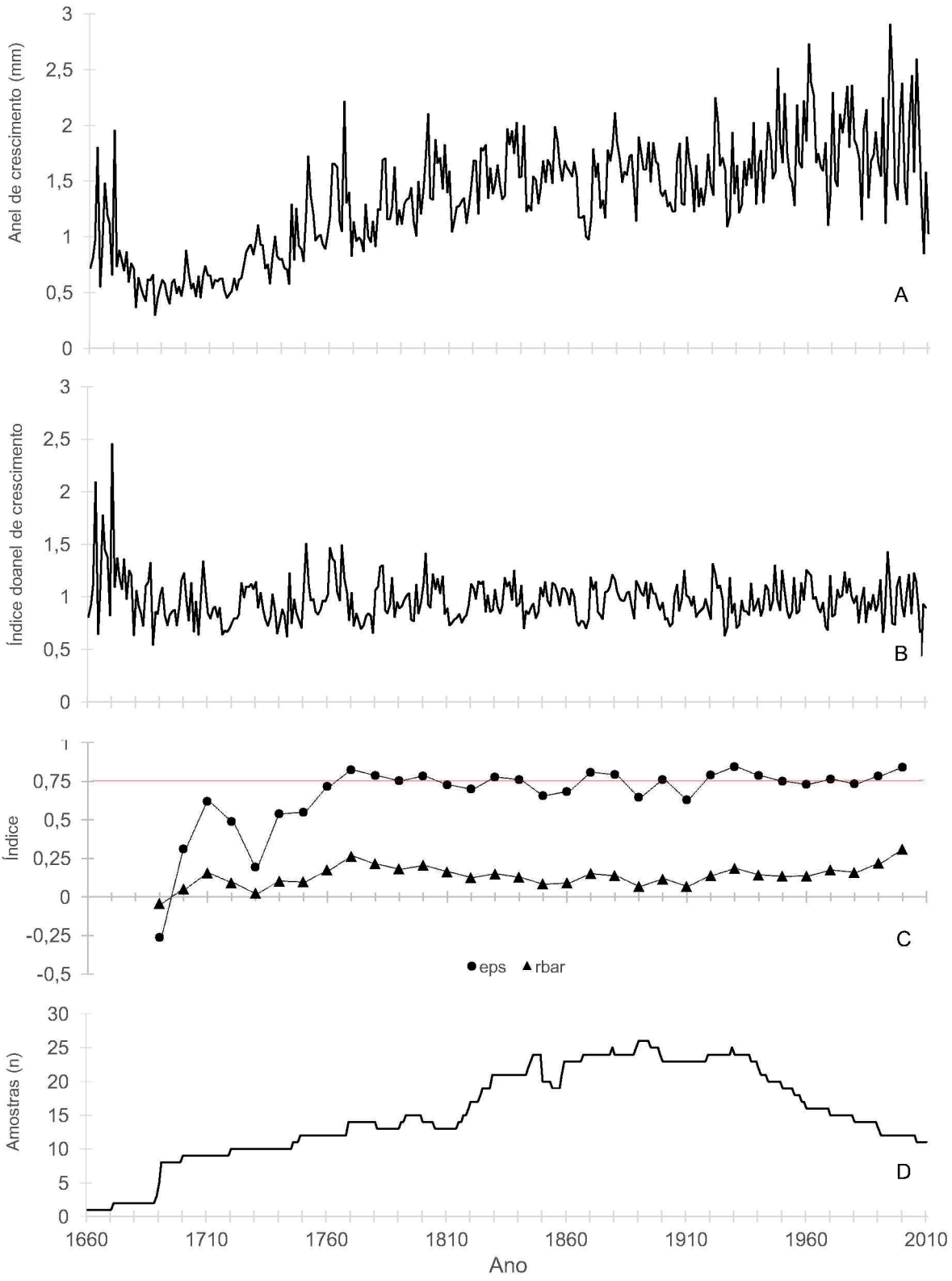
Pode-se verificar que, tanto na (FIGURA 1.5) como na (FIGURA 1.6), as cronologias possuem uma maior variação dos índices de largura dos anéis de crescimento no início da série temporal, faixa esta que possui um número reduzido de amostras sincronizadas. Além disso, é possível identificar em ambas as séries brutas de largura do anel de crescimento (FIGURAS 1.5 e 1.6 A) que, por volta de 1870, há uma modificação na tendência dos dados.

Quanto à análise dos dados referentes à precipitação (série histórica de 64 anos), os dois ambientes apresentam correlações similares (FIGURA 1.7). Entretanto, na encosta a precipitação de dezembro (prévia a estação de crescimento) apresenta correlação negativa significativa. Já para o fim do período corrente na planície, verificam-se correlações positivas (não significativas) divergentes das obtidas na encosta, para o mesmo período.

As correlações do crescimento com a cota mínima do rio Tibagi (série histórica de 30 anos) interferem ou se correlacionam mais fortemente com o crescimento das árvores de encosta, tanto positiva quanto negativamente (FIGURA 1.7). O mês de janeiro, do ano corrente, é o que apresenta maior sensibilidade à variável analisada. Os dados de planície apresentam uma tendência similar aos de encosta sem, no entanto, apresentarem correlações significativas.

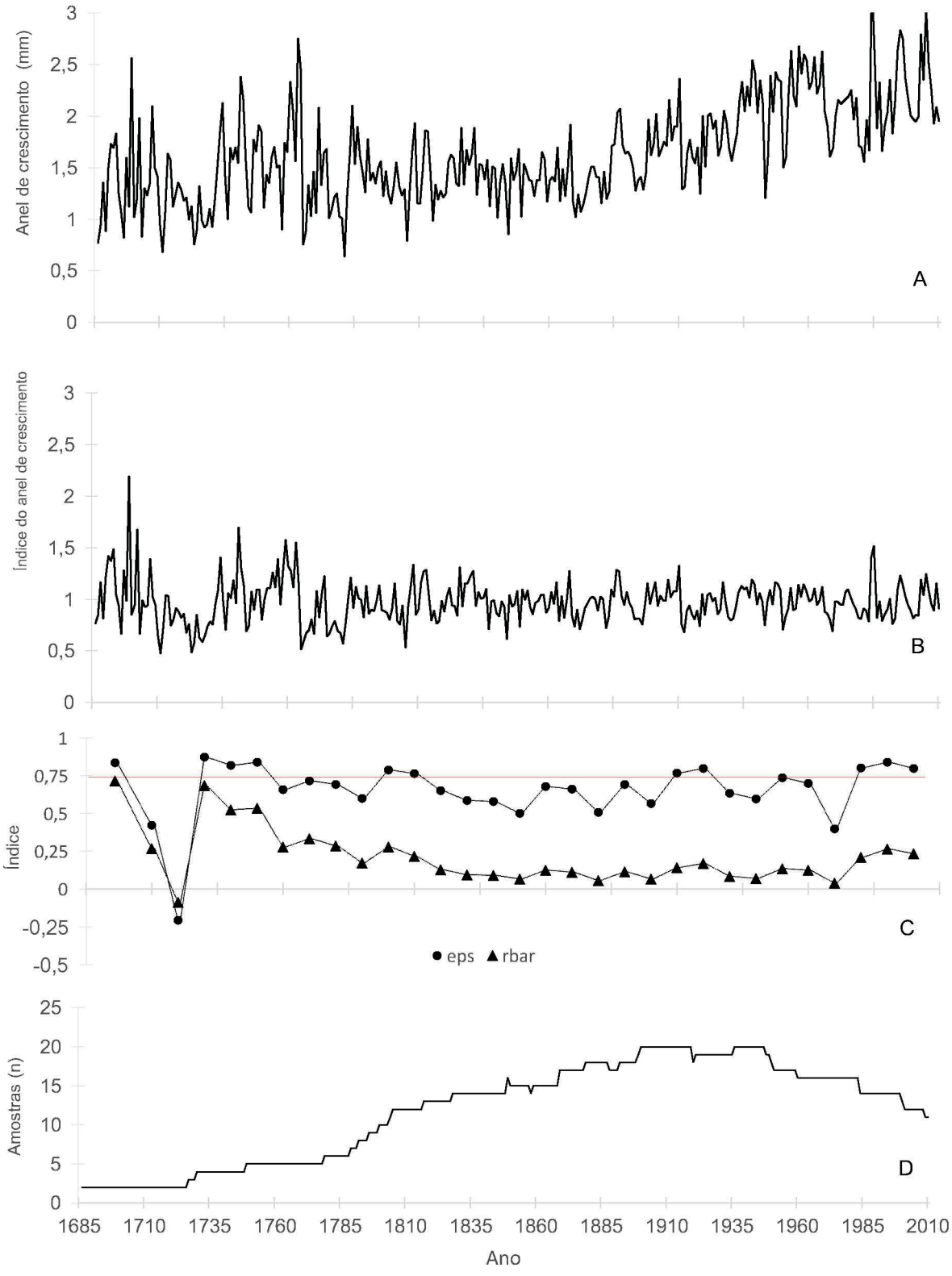
De modo geral, a variável cota máxima do rio Tibagi tem a mesma tendência de correlação para os dois ambientes. Os meses de setembro e janeiro, do ano anterior (prévio a estação de crescimento), são os meses que mais influenciam positivamente o crescimento do ano corrente. A partir daí o nível máximo da cota do rio indica correlações negativas e não significativas. Posteriormente, estas correlações são predominantemente negativas e não significativas.

FIGURA 1.5 - DESENVOLVIMENTO DA CRONOLOGIA DO AMBIENTE DE ENCOSTA. DADOS REFERENTES A LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (A), A CRONOLOGIA (B), A ESTIMATIVA DE EPS (*EXPRESSED POPULATION SIGNAL*) E RBAR (C) E O CONJUNTO DE AMOSTRAS QUE COMPÕEM A CRONOLOGIA EM CADA PERÍODO (D)



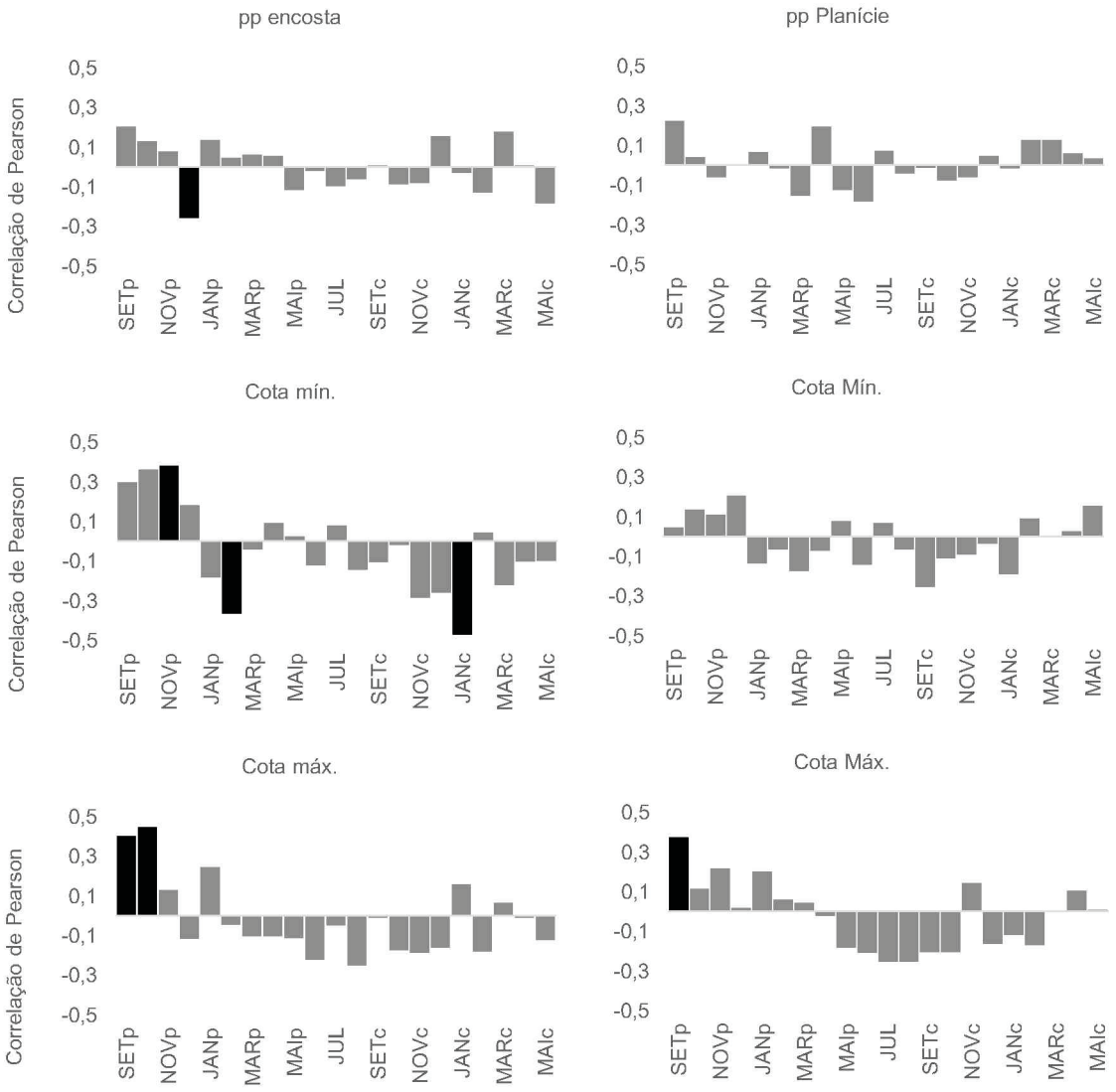
FONTE: o autor (2017).

FIGURA 1.6 - DESENVOLVIMENTO DA CRONOLOGIA DO AMBIENTE DE PLANÍCIE. DADOS REFERENTES A LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (A), A CRONOLOGIA (B), A ESTIMATIVA DE EPS (*EXPRESSED POPULATION SIGNAL*) E RBAR (C) E O CONJUNTO DE AMOSTRAS QUE COMPÕEM A CRONOLOGIA EM CADA PERÍODO (D)



FONTE: o autor (2017).

FIGURA 1.7 - CORRELAÇÕES ENTRE AS CRONOLOGIAS DE ENCOSTA E PLANÍCIE E SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO, COTA MÁXIMA E COTA MÍNIMA DO RIO TIBAGI. P INDICA O PERÍODO PRÉVIO A ESTAÇÃO DE CRESCIMENTO E C INDICA O PERÍODO CORRENTE. AS BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS A 95%



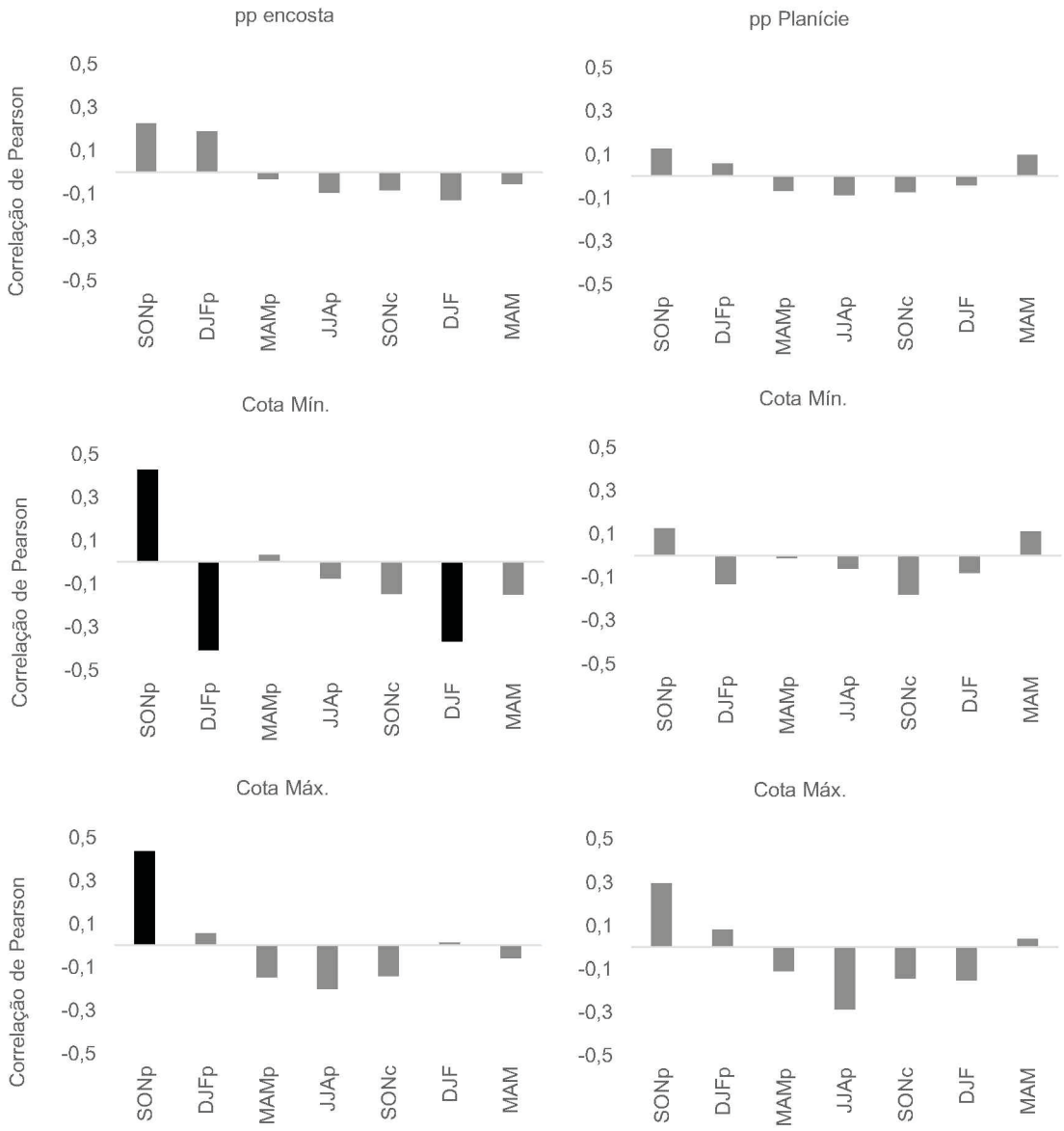
FONTE: o autor (2017).

A análise trimestral dos dados de precipitação (por estação do ano) permite verificar que, à exceção dos meses de março, abril e maio (MAM – correspondente ao outono), ao fim da estação de crescimento, a tendência das correlações para os dois ambientes é a mesma (FIGURA 1.8). Durante a primavera e o verão (prévio a estação de crescimento) as correlações são positivas na encosta e na planície. Posteriormente, estas correlações são predominantemente negativas e não significativas.

Os dados agrupados de cota mínima (FIGURA 1.8) indicam maior sensibilidade da cronologia dos indivíduos da encosta em relação às da planície. O comportamento das correlações com cota mínima do rio é similar àquelas verificadas com a precipitação, exceto para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro do ano anterior de crescimento.

Na encosta, a cota máxima do rio (FIGURA 1.8) indica correlação positiva e significativa para a primavera que antecede a estação de crescimento.

FIGURA 1.8 - CORRELAÇÕES ENTRE AS CRONOLOGIAS DE ENCOSTA E PLANÍCIE E SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO, COTA MÁXIMA E COTA MÍNIMA DO RIO TIBAGI, AGRUPADAS POR ESTAÇÃO. P INDICA O PERÍODO PRÉVIO A ESTAÇÃO DE CRESCIMENTO E C INDICA O PERÍODO CORRENTE. AS BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS A 95%



FONTE: o autor (2017).

A tendência observada nos valores de correlação da encosta é também verificada na planície, com exceção do período MAM do ano corrente (outono). Além disso, para os dois ambientes, o comportamento é muito similar àquele encontrado com os de precipitação, guardadas as devidas proporções.

A análise das correlações mensais de temperatura mínima (série histórica de 34 anos), anterior e corrente à estação de crescimento, indica que, de modo geral, o crescimento dos indivíduos na encosta está correlacionado positivamente até julho do ano anterior de crescimento e posteriormente estas correlações tornam-se negativas (FIGURA 1.9). O mês de maio do ano corrente é o que apresenta a maior correlação negativa e significativa. Já na planície, as correlações são positivas em sua maioria, com um período negativo de maio anterior a setembro corrente.

As correlações com temperatura média (série histórica de 46 anos) apresentam tendência similar para os dois ambientes (FIGURA 1.9). Na encosta, a temperatura média de maio corrente é a que mais se correlaciona negativa e significativamente com o crescimento, enquanto que na planície, o mês de janeiro do ano anterior de crescimento apresenta correlação positiva e significativa com o crescimento.

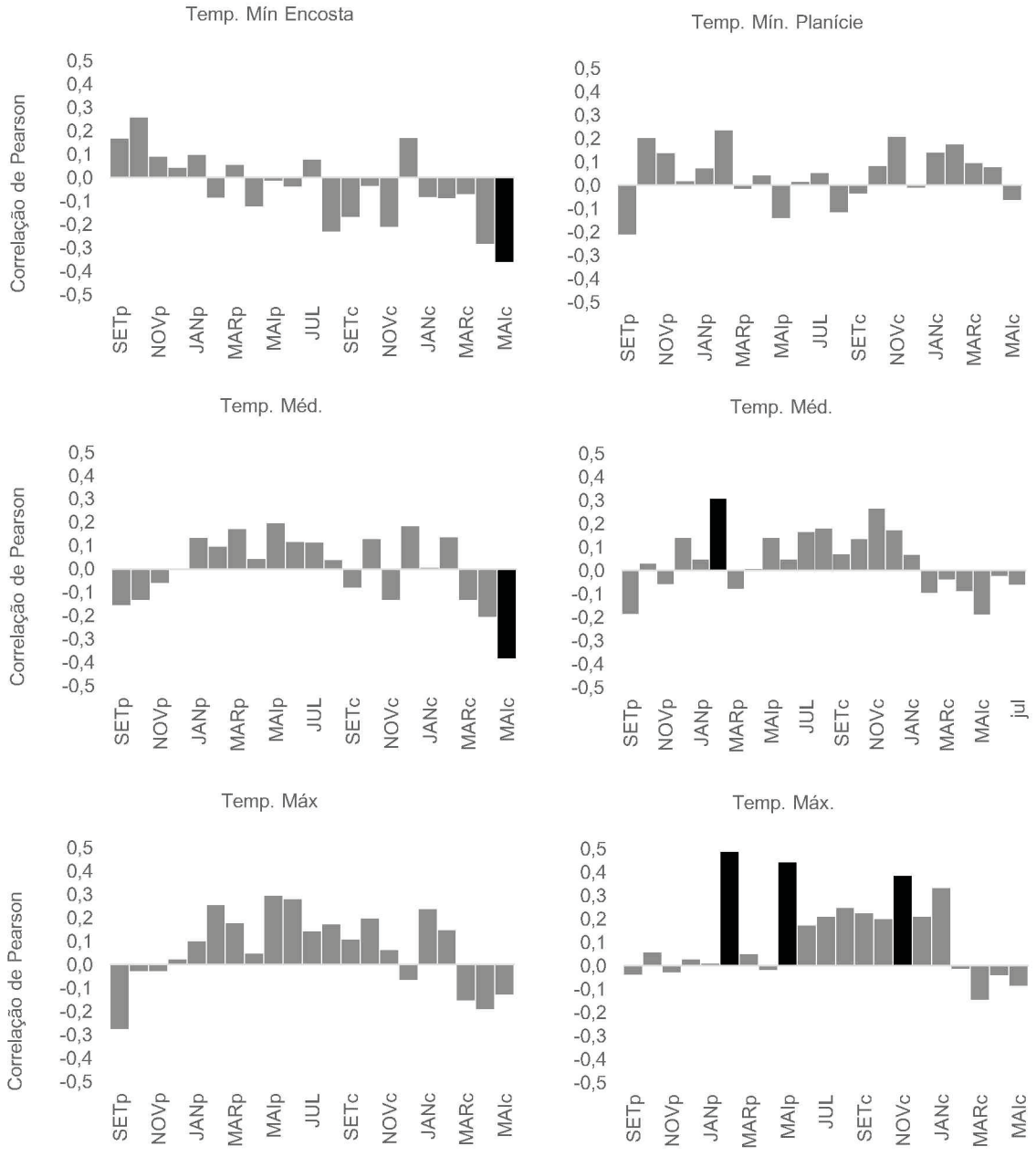
Tanto para a encosta quanto para a planície, as correlações com temperatura máxima (série histórica de 34 anos) apresentam o mesmo comportamento, com a ressalva de que na planície verifica-se uma maior e mais significativa correlação com o crescimento no final do ano anterior à estação de crescimento até a metade do período corrente (FIGURA 1.9).

Quando a análise das correlações considera o agrupamento dos meses por estação do ano (FIGURA 1.10), os dados de temperatura mínima, na encosta, apresentam correlações decrescentes desde o ano anterior ao ano corrente de crescimento. As temperaturas mínimas dos meses MAM (março a maio), do ano corrente, são as que mais se correlacionam com o crescimento, ainda que de maneira negativa e significativa. Na planície o comportamento das correlações é distinto, mantendo-se praticamente durante todo o período com correlações positivas.

A temperatura média agrupada por estação segue praticamente o mesmo padrão nos dois ambientes. Na encosta a temperatura média de MAM do ano corrente se correlaciona de maneira negativa e significativa (FIGURA 1.10), tal como o verificado com a temperatura mínima.

As correlações do crescimento com a temperatura máxima também seguem a mesma tendência em ambas as condições ambientais (FIGURA 1.10). Entretanto, na planície verificou-se uma maior correlação positiva e significativa em duas estações, desde o verão do ano anterior (DJFp) até o verão do ano corrente (DJFc).

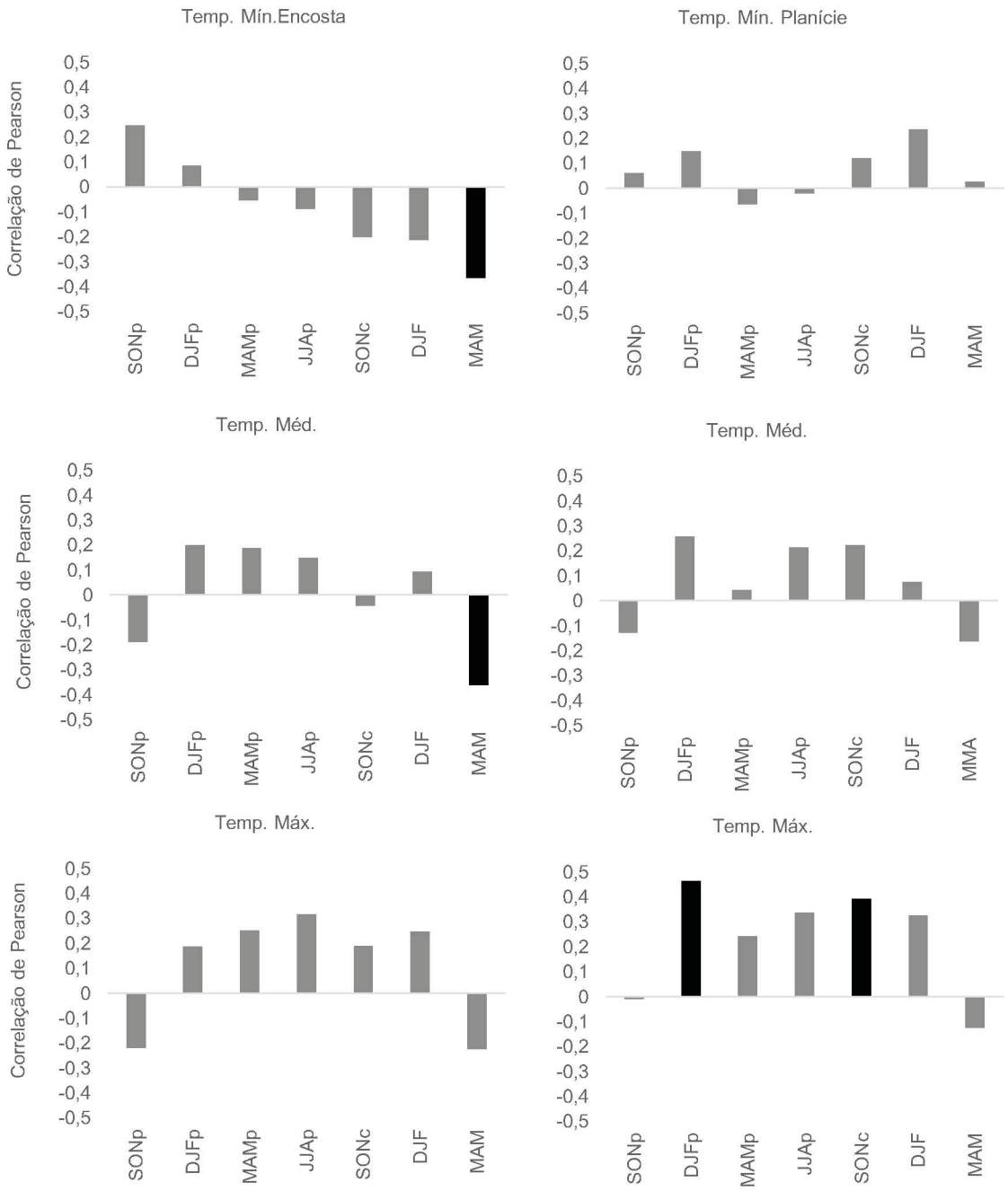
FIGURA 1.9 - CORRELAÇÕES ENTRE AS CRONOLOGIAS DE ENCOSTA E PLANÍCIE E SÉRIES HISTÓRICAS DE TEMPERATURA (MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA). P INDICA O PERÍODO PRÉVIO A ESTAÇÃO DE CRESCIMENTO E C INDICA O PERÍODO CORRENTE. AS BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS A 95%



FONTE: o autor (2017).

As correlações do crescimento com a temperatura máxima também seguem a mesma tendência em ambas as condições ambientais (FIGURA 1.10). Entretanto, na planície verificou-se uma maior correlação positiva e significativa em duas estações, desde o verão do ano anterior (DJFp) até o verão do ano corrente (DJFc).

FIGURA 1.10 - CORRELAÇÕES ENTRE AS CRONOLOGIAS DE ENCOSTA E PLANÍCIE E SÉRIES HISTÓRICAS DE TEMPERATURA (MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA), AGRUPADAS POR ESTAÇÃO. P INDICA O PERÍODO PRÉVIO A ESTAÇÃO DE CRESCIMENTO E C INDICA O PERÍODO CORRENTE. AS BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS A 95%.

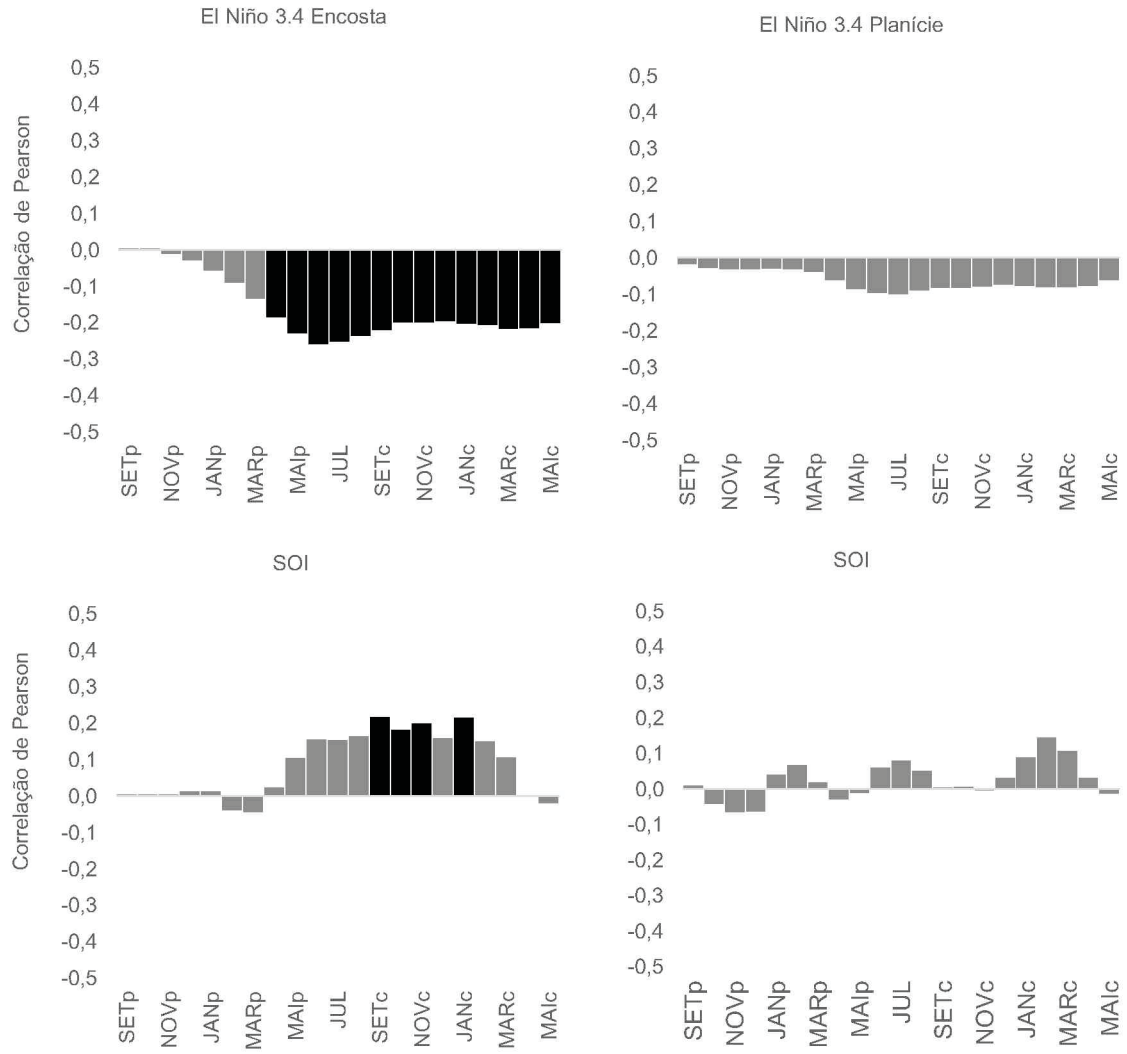


FONTE: o autor (2017).

As correlações com dados globais do El-Niño (série histórica de 137 anos – 1871-2007) e do Índice de Oscilação do Sul (SOI) (série histórica de 144 anos – 1866-2009) apresentaram comportamento bastante distinto, nos dois ambientes.

As correlações de crescimento com o El-Niño são negativas para todo o período avaliado, nos dois ambientes. Verifica-se que os efeitos deste evento são mais expressivos na encosta, uma vez que as correlações são negativas e significativas para mais de 65% dos meses do ano (FIGURA 1.11).

FIGURA 1.11 - CORRELAÇÕES ENTRE AS CRONOLOGIAS DE ENCOSTA E PLANÍCIE E SÉRIES HISTÓRICAS DE EL-NIÑO (REGIÃO 3.4) E ÍNDICE DE OSCILAÇÃO DO SUL (SOI). P INDICA O PERÍODO PRÉVIO A ESTAÇÃO DE CRESCIMENTO E C INDICA O PERÍODO CORRENTE. AS BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS A 95%



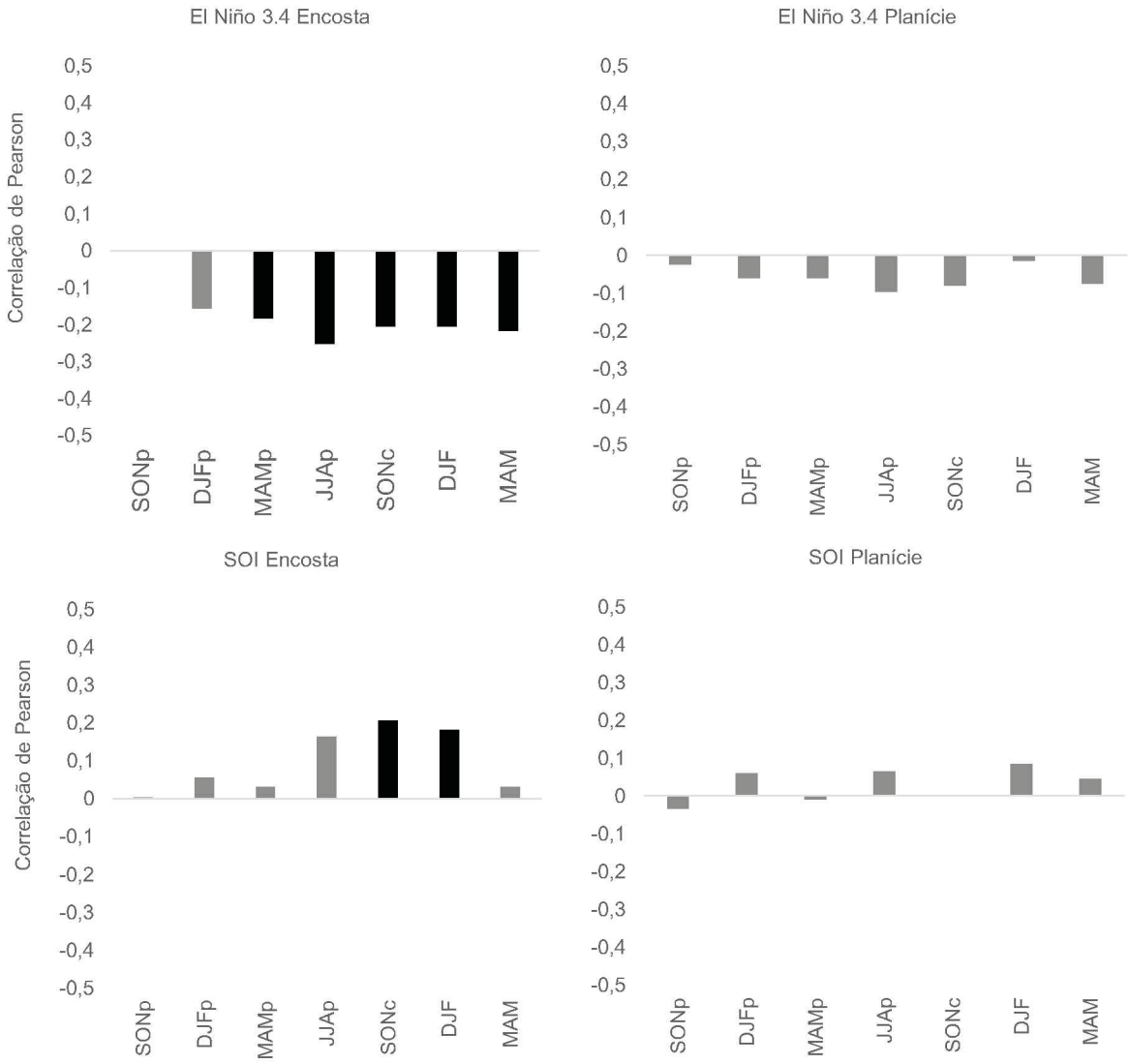
FONTE: o autor (2017).

Já o Índice de Oscilação do Sul (SOI) indica uma influência positiva, principalmente para os exemplares de encosta, sendo mais evidente para o

crescimento a partir de maio quando correlacionado com o evento do ano anterior (FIGURA 1.11). Na planície, os dados variam ao longo do período, sem esboçar uma maior influência ou correlação significativa. O comportamento observado nos dados mensais se repete nos dados agrupados por estação (verificar anexos A e B).

O agrupamento dos dados de El-Niño indica que na encosta o crescimento é mais sensível aos efeitos deste evento climático planetário, ainda que em ambas as situações as correlações sejam negativas para todo o período considerado (FIGURA 1.12).

FIGURA 1.12 - CORRELAÇÕES ENTRE AS CRONOLOGIAS DE ENCOSTA E PLANÍCIE E SÉRIES HISTÓRICAS DE EL-NIÑO (REGIÃO 3.4) E ÍNDICE DE OSCILAÇÃO DO SUL (SOI), AGRUPADAS POR ESTAÇÃO. P INDICA O PERÍODO PRÉVIO A ESTAÇÃO DE CRESCIMENTO E C INDICA O PERÍODO CORRENTE. AS BARRAS EM NEGRITO INDICAM VALORES ESTATISTICAMENTE SIGNIFICATIVOS A 95%



FONTE: o autor (2017).

O período de primavera (SONc) e verão (DJF) do ano corrente se correlaciona de maneira positiva e significativa com o crescimento das árvores de encosta com SOI. Nos dois ambientes predominam correlações positivas (FIGURA 1.12), mas, na planície não há resposta significativa para nenhuma estação/ agrupamento de meses.

4 DISCUSSÃO

Os anéis de crescimento foram sincronizados seguindo as premissas indicadas por Holmes (1983). Esta análise foi feita individualmente em cada árvore, e, na sequência, a partir de um ranqueamento de resultados, a sincronia foi testada entre as árvores. Ainda que os valores sejam notoriamente distintos das sincronias obtidas em áreas com uma sazonalidade climática bem demarcada, o resultado das intercorrelações é satisfatório e atende a significância estatística esperada. O valor de intercorrelação está próximo daquele encontrado em outros trabalhos realizados na região Sul do Brasil, bem como em outras áreas subtropicais (LONGHI-SANTOS, 2013). A sensibilidade média dos dados, acima de 0,3, indica que a variabilidade interanual dos anéis de crescimento pode estar relacionada a sensibilidade climática (FRITTS, 1976).

Após o incêndio florestal ocorrido em 1963, considerado o maior incêndio florestal do país, onde pelo menos 10% do território paranaense foi queimado (NUNES, 2013), em alguns discos do lenho foi verificado um comportamento muito distinto das demais, seja no número de camadas formadas, nos marcadores dos anéis de crescimento e/ou na espessura de cada camada. E isso pode ser resultado de uma liberação de concorrência (competição) lateral repentina, seguida da volta desta concorrência pela regeneração natural. Assim, optou-se por manter os trechos bem sincronizados e cortar as séries nos pontos mais problemáticos. Em alguns discos é possível identificar as cicatrizes, propriamente ditas, bem como o tecido cicatricial formados em decorrência deste incêndio. Por outro lado, em outras nenhuma mácula e/ou desorganização do tecido é registrada, podendo este fato estar relacionado à espessura da casca que a espécie desenvolve, estratégia verificada, especialmente, em espécies de Savana (LAWES et al. 2011), frequentemente submetidas a incêndios naturais ou de origem antrópica.

O critério estabelecido por Wigley et al. (1984) para verificar a qualidade interna de cada cronologia, assume que um valor de EPS adequado é alcançado quando ultrapassa 0,85 para o período avaliado (neste caso, janelas de 20 a 10 anos), ainda que faça a ressalva de que este valor é apenas um guia.

Piraino et al. (2015) relatam que este valor dificilmente é alcançado em áreas florestais áridas, e adapta esta estimativa para um mínimo de 0,75. Os valores médios

de EPS verificados para as cronologias desenvolvidas para encosta e planície estão abaixo desses mínimos sugeridos (0,66 e 0,65, respectivamente). Ao longo das cronologias (encosta: 1660-2010; planície: 1686-2010) é possível verificar trechos com valores superiores a 0,75, entretanto, caberia uma discussão mais ampla se este critério é eficaz em regiões de clima subtropical.

O valor médio de rbar foi de 0,14 para a cronologia da encosta e 0,21 para a cronologia da planície, variando de -0,04 a 0,31 e -0,09 a 0,71, respectivamente. A variação temporal dos valores de rbar apresenta a mesma tendência dos dados de EPS, porém, a média para cada ambiente é similar a verificada em cronologias construídas em outras regiões (MARTIN-BENITO; BEECKMAN; CAÑELLAS, 2013; PUCHA-COFREP; PETERS; BRÄUNING, 2015).

A análise dos dados brutos da cronologia, composta pela largura dos anéis de crescimento, indica uma mudança nas taxas de crescimento tanto na encosta quanto na planície, por volta do ano de 1870. Vale lembrar que neste mesmo período, caracterizado pela expansão e ocupação do território paranaense, foram fundadas diversas colônias e tropas passaram a invernar na região (BIGG-WHITHER, 2001) o que poderia justificar esta mudança no incremento das árvores, por uma eventual diminuição de concorrência lateral, pela supressão seletiva de indivíduos e/ou redução de densidade de indivíduos (para diferentes fins).

A sensibilidade média dos dados (que representa a variação intra-anual do crescimento e uma possível resposta ao clima) pode variar de 0,10 – 0,19 e é classificada como de sensibilidade baixa, 0,20-0,29 sensibilidade intermediária e acima de 0,30 é classificada como sensível (GRISSINO-MAYER, 2001). As cronologias desenvolvidas para a encosta e planície apresentam valores superiores a 0,30, indicando que parte da variabilidade dos dados está relacionada aos fatores climáticos.

De modo geral, o comportamento verificado nas duas cronologias, em relação à precipitação mensal, já era esperado. Speer (2010) trata da Lei dos Fatores Limitantes como uma das premissas para estudos dendrocronológicos. Considerando que a região da área de estudo possui chuvas bem distribuídas durante o ano, a precipitação, isoladamente, não se enquadraria como um fator limitante ao crescimento destes indivíduos. Independentemente das espécies utilizadas, outros trabalhos (OLIVEIRA, 2007; ANDREACCI, 2012; LONGHI-SANTOS, 2013; MIRANDA, 2015) corroboram estes resultados.

Por outro lado, quando os dados de cotas (mínima e máxima) do rio Tibagi são analisados, é possível verificar que as árvores da encosta respondem a esta variação (elevação ou rebaixamento do lençol freático) muito mais que as de planície. Fritts (1976) sugere que a escolha do sítio de coleta pode selecionar árvores sensitivas (aquelas que respondem mais rapidamente a uma variação ambiental) e complacentes (aquelas que se encontram em uma condição ambiental mais favorável e as respostas a variações são menos acentuadas) (CERNUSAK; ENGLISH, 2014) o que neste caso pode ser representado por encosta e planície, respectivamente. Os extremos de cotas mínimas fazem com que haja um rebaixamento do nível de lençol freático e isso pode ocasionar um estresse nas plantas (PAROLIN et al., 2010). Ainda que o lençol freático rebaixe nas duas condições geomorfológicas, na encosta a variação será muito mais abrupta. A mesma lógica pode ser aplicada para a cota máxima, mas de maneira inversa (figuras 1.4 e 1.5). Cotas máximas podem gerar estresse às plantas de planície, uma vez que podem permanecer durante muito mais tempo, que os indivíduos de encosta, em condição de privação e/ou redução de oxigênio (KREUZWIESER; RENNENBERG, 2014).

Precipitação e temperatura são consideradas duas das variáveis mais importantes no crescimento das árvores em florestas temperadas (SCHWEINGRUBER, 1996), podendo ativar ou não o ritmo e a atividade cambial (BEGUM et al., 2013) associadas a fatores endógenos da planta (HÉRAULT et al., 2011). Neste estudo, a planície parece responder positivamente às temperaturas máximas, principalmente no inverno e na primavera, período de retomada do crescimento. Na encosta, a relação do crescimento com temperaturas mínimas é negativa no período em que se verifica, para um grande número de espécies, a redução nas taxas de crescimento. Essas variações na temperatura, segundo Raven et al. (2007), influenciam diretamente a duração da estação de crescimento para cada planta.

Na mesma região deste estudo, Adenesky (2014) avaliou a correlação do crescimento de *Araucaria angustifolia* e verificou comportamentos distintos dos apresentados neste trabalho, tanto com os dados de precipitação quanto com os de temperatura. Este pode ser um indicativo de que Angiospermas e Gimnospermas possam ter estratégias ecológicas de crescimento diferentes frente a um estímulo climático numa mesma região, considerando o fato de que possuem estruturas

anatômicas distintas (EISERHARDT et al., 2015) e necessidades hídricas diferenciadas (LARCHER, 2004).

Na região tropical, a atuação dos eventos El-Niño e SOI, no crescimento das plantas, parece ser muito mais marcante que em regiões subtropicais (VENEGAS-GONZÁLEZ et al., 2016). Ainda assim, foi possível verificar que a sensibilidade das árvores é distinta em função da forma do relevo em que se encontra. Estas variáveis parecem reforçar a característica de que na planície temos árvores aparentemente menos sensíveis a esses eventos/fatores do que nas de encosta (Figuras 1.8 e 1.9). Na encosta a atuação do El-niño se intensifica a partir do outono até o inverno e a partir deste ponto, quando se verifica um enfraquecimento deste evento, o Índice de Oscilação do Sul começa a atuar.

A existência de longas séries cronológicas para esta região abre a possibilidade para que dados desta natureza possam ser utilizados como *proxies* climáticos. Na mesma região foram datadas árvores de *A. angustifolia* com idades superiores a 300 anos (ADENESKY, 2014) - uma vez que, segundo Oliveira (2007), poucos são os dados climáticos instrumentais ou *proxies* de longo prazo nas regiões tropicais e subtropicais.

5 CONCLUSÕES

Os indivíduos de peroba-rosa *Aspidosperma polyneuron* amostrados neste trabalho representam alguns dos exemplares mais velhos já datados em sua área de ocorrência natural no sul do país, com idades superiores a 300 anos (exemplares de, pelo menos, 344 anos na encosta e 327 anos na planície).

As idades médias dos indivíduos de encosta e planície são de 225 e 223, respectivamente, indicando não haver diferença expressiva na faixa etária dos indivíduos analisados.

As cronologias construídas para a encosta e planície são as mais extensas estabelecidas para a espécie na região, as quais são estatisticamente significativas, atendem os princípios dendrocronológicos e apresentam comportamentos distintos.

Os parâmetros estatísticos utilizados para verificar a qualidade da cronologia indicam que a rigidez proposta para EPS, por exemplo, pode não ser aplicável em cronologias desenvolvidas em regiões de clima subtropical. Talvez, com o desenvolvimento de novas cronologias para espécies em climas subtropicais, a rigidez proposta para EPS tenha que ser revisitada, preconizando-se valores distintos e apropriados para cada região bioclimática.

De modo geral, a cronologia desenvolvida para a encosta é a que apresenta maior sensibilidade às variações climáticas, regionais e/ou globais. Este comportamento permite verificar que as árvores de planície são menos sensíveis (complacentes) e as de encostas, por outro lado, mais sensíveis às variáveis ambientais testadas.

A espécie estudada reúne características suficientes para o desenvolvimento de estudos dendroecológicos, e desponta como mais uma opção junto à *Araucaria angustifolia*, que, até o momento, é uma das poucas espécies longevas com cronologias estabelecidas para esta região do país.

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.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema de informações hidrológicas**. Curitiba, 2016 em < http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 12 mai. 2016.

ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. em áreas de Florestas Ombrófilas Mista e Densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ALVARADO, J. R., **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios,Peru**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

BEGUM, S. et al. Regulation of cambial activity in relation to environmental conditions: understanding the role of temperature in wood formation of trees. **Physiologia Plantarum**, v. 147, n. 1, p. 46-54, 2013.

BIGG-WHITER, T. P. **Novo caminho no Brasil meridional: a província do Paraná: três anos em suas florestas e campos 1872/1875**. Imprensa Oficial do Paraná, 2001.

BLASING T.J.; SOLOMON A.; DUNVICK D.N. Response function revisited. **Tree-Ring Bull**, v.44, p.1–15, 1984.

BONINSEGNA, J. A.; ARGOLLO, J.; ARAVENA, J. C.; BARICHIVICH, J.; CHRISTIE, D.; FERRERO, M. E.; LARA, A.; LE QUESNE, C.; LUCKMAN, B. H.; MASIOKAS, M.; MORALES, M.; OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F.; SRUR, A.; VILLALBA, R. Dendroclimatologicalreconstructions in South America: a review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3-4, p. 210–228, 2009.

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, n. 1, p. 256-267, 2006.

BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. Basic chronology statistics and assessment. In: Cook ER, Kairiukstis LA (eds) **Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences**. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 137–152, 1990.

BRIFFA, K.R. Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. **Analysis of climate variability, applications of statistical techniques** (ed. by H. von Storch and A. Navarra), pp. 77–94. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1995.

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

CERNUSAK, L. A.; ENGLISH, N. B. Beyond tree-ring widths: stable isotopes sharpen the focus on climate responses of temperate forest trees. **Tree physiology**, v. 35, n. 1, p. 1-3, 2015.

COOK, E. R. **A time series approach to tree-ring standardization**. Ph.D Dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona, 1985.

DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V. R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on Swietenia macrophylla King and Cedrela odorata L. (Meliaceae) in the Central Amazon. **Trees**, Heidelberg, v. 17, n. 3, p. 244-250, 2003.

EISERHARDT, W. L. et al. Climate-driven extinctions shape the phylogenetic structure of temperate tree floras. **Ecology Letters**, v. 18, n. 3, p. 263-272, 2015.

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

FRITTS, H. C.; SWETNAM, T. W. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. **Advances in ecological research**, v. 19, p. 111-188, 1989.

GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research,** v. 57, n. 2, p.205-221, 2001.

HERAULT, B. et al. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. **Journal of ecology**, v. 99, n. 6, p. 1431-1440, 2011.

HOLMES, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bull**, v.43, p.69–78, 1983.

KREUZWIESER, J.; RENNENBERG, H. Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 10, p. 2245-2259, 2014.

LAWES, M.J.; RICHARDS, A.; DATHE, J.; MIDGLEY, J.J. Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia. **Plant Ecology**, n. 212, p. 2057–2069, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004.

LISI, C.S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B.; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity and phenology of tree species from a Seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil. **IAWA Journal**, v.29, p. 189-207, 2008.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de Sebastiania commersoniana (Baill.) L.B.Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LU, X.; CAMARERO, J.J.; WANG, Y.; LIANG, E.; ECKSTEIN, D. How Rhododendron shrubs respond to climate on the southeastern Tibetan Plateau: prospects for shrub-based dendrochronology. **Boreas** v.44, p. 760–768, 2015.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MARTIN-BENITO, Dario; BEECKMAN, Hans; CAÑELLAS, Isabel. Influence of drought on tree rings and tracheid features of Pinus nigra and Pinus sylvestris in a mesic Mediterranean forest. **European Journal of Forest Research**, v. 132, n. 1, p. 33-45, 2013.

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.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Download Climate Timeseries.** Curitiba, 2016 em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/>. Acesso: 17 nov. 2016.

NUNES, J. L. A. **1963: o Paraná em chamas**. Londrina, 2013.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PAROLIN, P. et al. Drought responses of flood-tolerant trees in Amazonian floodplains. **Annals of botany**, v. 105, n. 1, p. 129-139, 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.

PUCHA-COFREP, D.; PETERS, T.; BRÄUNING, A. Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. **Global and Planetary Change**, v. 133, p. 65-78, 2015.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, 7a. ed. Coord. Trad. J.E.Kraus. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007.

RIBEIRO, J. E. L. S. et al. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA-DFID. 800 p. 1999.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. 2000. Curitiba, 2014 em: <http://delta-intkey.com/wood/pt/www/gutcabra.htm>. Acesso em: 14 fev. 2014.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACK, G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 24, p. 75-92, 2002.

ROIG, F. A. **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, 2000.

ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees Struct. Funct.**, v. 25, p. 3–16, 2011.

SCHWEINGRUBER, F. H. Tree-rings and environment dendroecology. Vienna: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 p. 1996.

SPEER, J. H. **Fundamentals of tree-ring research**. University of Arizona Press, 2010.

STIPP, N. A. F. Principais tipos de solos da bacia do rio Tibagi. In: **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina, p. 39-43. 2002.

STOKES M.A.; SMILEY T.L. **An introduction to tree-ring dating**. University of Arizona Press, Tucson, 1968.

TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate** n.14, v.8, p. 169 – 701, 2001.

TOMAZELLO FILHO, M.; ROIG, F. A.; ZEVALLOS POLLITO, P. A. Dendrocronología y dendroecología tropical: marco histórico y experiencias exitosas em los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, La Paz, v. 44, n. 2, p. 73-82, 2009.

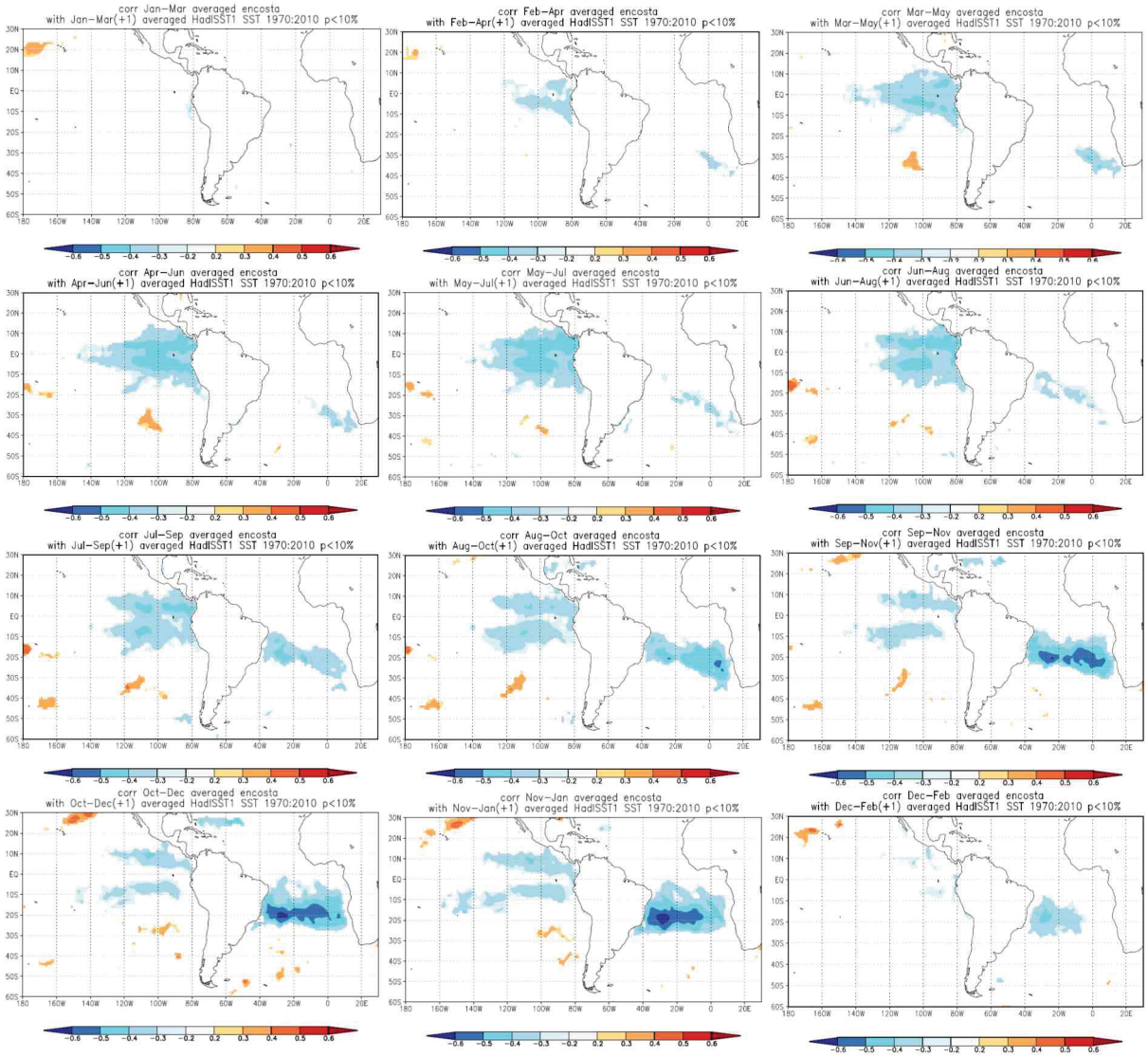
VENEGAS-GONZÁLEZ, A. et al. Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 1-2, p. 233-245, 2016.

WIGLEY, T.M.L., BRIFFA, K.R.; JONES, D. On the average value of correlated time series with application in dendroclimatology and hydrometereology. **J. Clim. Appl. Meteorol**., v.23,n. 2, p. 201–213, 1984.

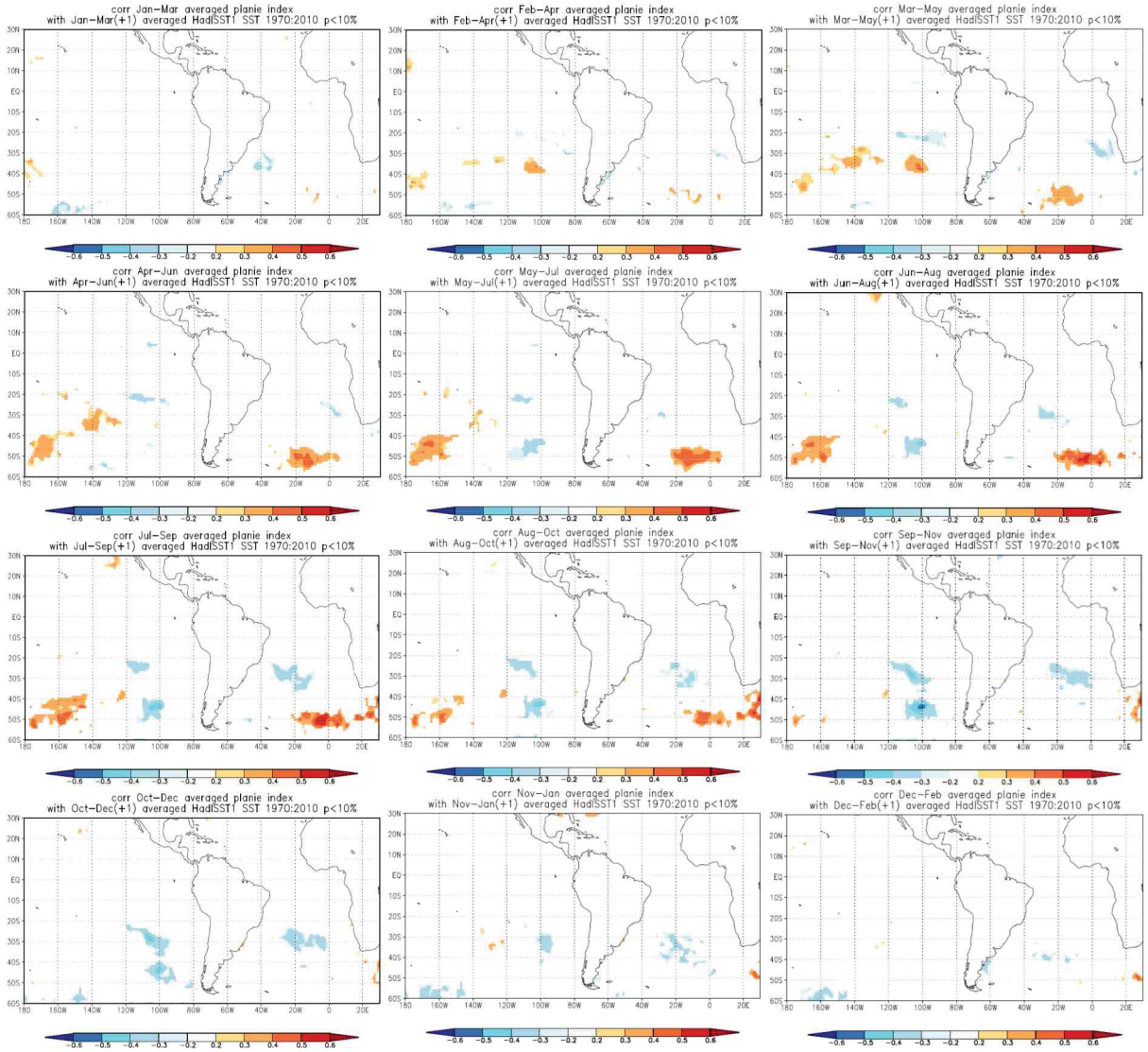
WOODSON, R.E. Studies in the Apocynaceae VIII: an interim revision of the genus *Aspidosperma* Mart. & Zucc. **Ann. Missouri Bot. Gard**. v.38, n.1, p.119-204, 1951.

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

ANEXO A - EVOLUÇÃO DA CORRELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES DE ENCOSTA E EL-NIÑO 3.4.



ANEXO B - EVOLUÇÃO DA CORRELAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS ÁRVORES DE PLANÍCIE E EL-NIÑO 3.4



CAPÍTULO 2 – DINÂMICA E CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Aspidosperma polyneuron*

RESUMO

A dinâmica de uma floresta ou mesmo de uma espécie está intimamente ligada às condições e aos recursos disponíveis em um determinado momento. A interação entre estes fatores pode resultar em facilitações e/ou restrições no crescimento de uma árvore. Assim, neste capítulo buscou-se avaliar o crescimento diametral do tronco de árvores de *Aspidosperma polyneuron* com ênfase nas estratégias de crescimento da espécie em dois ambientes geomorfologicamente distintos (planície e encosta). A partir da análise dos anéis de crescimento pôde-se verificar que esta espécie, apesar de apresentar idades consideravelmente avançadas, ainda não atingiu seu crescimento máximo nas duas condições ambientais. O recrutamento dos indivíduos se deu em momentos distintos na dinâmica florestal, e, assim, cada indivíduo assume um comportamento de crescimento diferenciado. De modo geral, o crescimento evidenciado para a espécie é comum ao observado em florestas tropicais ou subtropicais. A análise do incremento periódico das últimas décadas e a área de projeção horizontal das copas indica que na planície há uma tendência de redução do crescimento com o aumento da área de copa. Por outro lado, na encosta o comportamento é totalmente aleatório.

Palavras-chave: Recursos ambientais. Classes diamétricas. Incremento periódico.

ABSTRACT

The dynamics of a forest or even a species is closely linked with the conditions and resources available at a given time. The interaction between these factors may result in facilitations or constraints on the growth of a tree. Thus, in this chapter we sought to verify the diameter growth of *Aspidosperma polyneuron* with emphasis on the growth strategies of the species in two geomorphologically distinct environments (floodplain and hillside). From the analysis of the growth rings, we verified that the species, in spite of the considerably advanced age, has not yet reached its maximum growth in both conditions. The recruitment of trees took place at different moments in the forest dynamics, and thus each individual assumes a differentiated growth behavior. In general, the growth observed for the species is common to that of tropical or subtropical forests. The analysis of the periodic increment of the last decades and the area of horizontal projection of the crowns indicates that in the plain there is a tendency of reduction of the growth with the increase of the area of canopy. On the other hand, on the hillside the behavior is totally random.

Keywords: Environmental resources. Diameter classes. Periodical increment.

1 INTRODUÇÃO

As condições e os recursos ambientais são reguladores do comportamento que as plantas apresentarão durante sua vida em um determinado local e tempo (TOWNSEND et al., 2010). As facilitações ou restrições verificadas ao longo dos anos ficam, de alguma maneira, registradas nas plantas, seja em anéis de crescimento, posição no estrato florestal ou na plasticidade das espécies (e indivíduos) em ocupar ambientes diversos, contrariando algumas limitações.

Na competição por recursos ambientais, o posicionamento privilegiado de um organismo resulta no sucesso de seu estabelecimento. Por outro lado, de nada adianta que os recursos estejam disponíveis, mas as condições ambientais não sejam favoráveis ao crescimento. Há um mínimo que precisa estar assegurado para que não haja comprometimento dos processos fisiológicos nas plantas (SPEER, 2010). A temperatura, a umidade relativa e outras condições físicas e químicas induzem a uma série de respostas fisiológicas que determinam se o ambiente físico é habitável ou não (TOWNSEND et al., 2010).

O grupo ecológico ao qual uma espécie pertence, permite conhecer parte da história das árvores em uma floresta e auxilia no entendimento autoecológico. As estratégias ecológicas de plantas pioneiras e de não-pioneiras são distintas (WHITMORE, 1989), mas não são exclusivas.

Os anéis de crescimento são registros fiéis das condições de crescimento e dos recursos ambientais disponíveis em um dado momento da vida de uma planta. Neste sentido, este trabalho buscou analisar o crescimento diamétrico de *Aspidosperma polyneuron* - peroba rosa - em uma área de transição entre Floresta Ombrófila Mista e Floresta Estacional Semidecidual, no Sul do Brasil procurando responder as seguintes questões: (i) haveria diferenças no crescimento diamétrico entre indivíduos de encosta e planície?; (ii) a estratégia de crescimento dentro de um mesmo ambiente é comum a todos os indivíduos?; (iii) existiria uma constância no crescimento diamétrico das árvores ao longo do seu ciclo?; (iv) a área de copa das árvores reflete o incremento diamétrico das últimas décadas de crescimento? (v) estariam as árvores em estágio senil de desenvolvimento?

2 MATERIAL E MÉTODOS

As informações pormenorizadas referentes à *Localização da área*, *Espécie estudada* e *Coleta e preparo das amostras* foram apresentadas no Capítulo 1.

2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DOS DADOS

Os anéis de crescimento identificados e medidos em cada um desses raios foram sincronizados com o auxílio do programa COFECHA (HOLMES, 1983), visando o controle das análises e verificação de eventuais erros na datação dos anéis de crescimento das árvores, intra e inter-indivíduos.

Das 40 árvores inicialmente analisadas e consideradas no estudo, apenas uma foi totalmente descartada, em razão da presença de uma grande injúria, resultante do incêndio florestal ocorrido no ano de 1963 (NUNES, 2013), comprometendo parte significativa da amostra.

Na ocasião do corte do material, algumas variáveis biométricas foram coletadas, a exemplo de altura e diâmetro de copa. A partir dos dados de diâmetro de copa (COSTA et al., 2015), calculou-se a Área de Projeção Horizontal de Copa (APHC). De forma simplificada, a copa - área fotossintetizante - é fonte de energia utilizada por todos os compartimentos e deste modo é um importante aspecto a ser considerado no estudo da estrutura e crescimento das árvores (BATISTA et al., 2014).

Foram construídas curvas de produção a partir do incremento corrente anual (ICA) médio de cada ano para cada árvore, nos dois ambientes analisados. Para a comparação das curvas de produção, estágio de desenvolvimento das árvores, e para minimizar os efeitos da idade, os dados foram analisados a partir da idade biológica e não cronológica, onde todos os indivíduos partem de um ponto comum.

A partir das curvas de produção dos indivíduos de encosta e de planície, foi calculado o tempo que um indivíduo leva para passar de uma determinada classe diamétrica para outra (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006). Foi considerado um intervalo de 10 cm por classe e uma análise de agrupamento (*Cluster*) com o método do vizinho mais próximo e distância euclidiana, utilizada para verificar a formação de grupos, ou não, a partir do tempo de passagem para as primeiras 4 classes de diâmetro consideradas. Esta análise foi realizada no software *Statgraphics Centurion XVII.* Foi

considerada uma linha de corte arbitrária (MCCUNE; GRACE, 2002), para separação de grupos a distância de 0,6.

Os dados das curvas de produção foram utilizados para o cálculo do Incremento Periódico (IP), considerando-se um intervalo de 10 anos, onde foi verificada a variação dos dados ao longo do tempo, bem como a correlação do incremento periódico com a APHC das árvores de encosta e de planície. Neste caso, foi considerado o tempo cronológico dos dados, sendo os dados pareados pela última década considerada. Os testes de correlação de *Pearson* foram realizados no software *Microsoft Excel.*

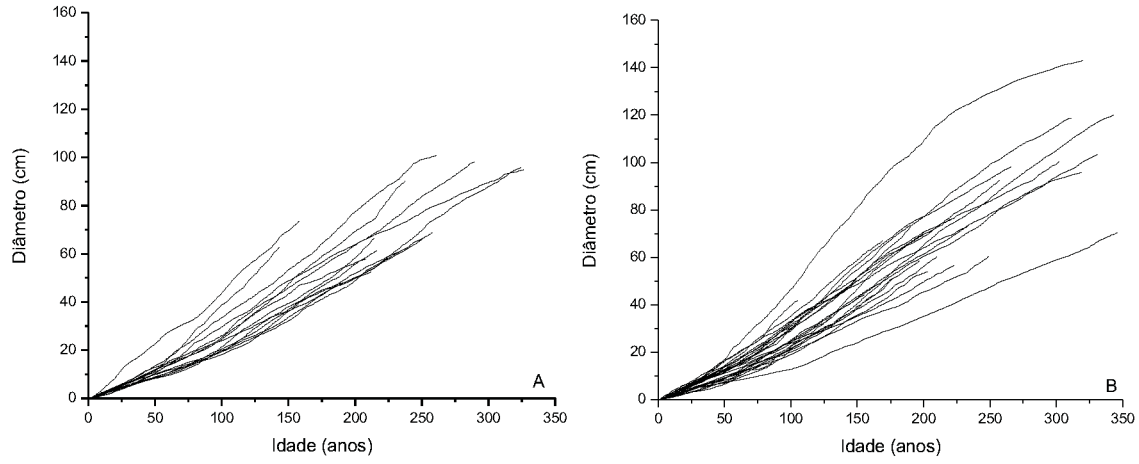
Cabe ressaltar que os dados referentes ao último período de passagem de classe não foram considerados, uma vez que não se tem segurança de quanto tempo ainda cada indivíduo permaneceria naquela classe.

3 RESULTADOS

As trajetórias de crescimento das árvores, tanto de planície quanto de encosta, indicam que a espécie ainda não teria atingido seu máximo crescimento em diâmetro (FIGURA 2.1). O crescimento acumulado tende em muitos casos para um comportamento linear, ainda que na encosta (FIGURA 2.1 B) uma árvore já apresente pontos de inflexão e de tangencia bem definidos, mas sem assíntota.

A idade avançada de alguns indivíduos não resulta em uma redução nas taxas de crescimento, tampouco taxas constantes, em ambos os casos. Além disso, verifica-se uma maior amplitude de idades para um mesmo diâmetro nos indivíduos da encosta do que naqueles da planície.

FIGURA 2.1 - CURVAS DE CRESCIMENTO ACUMULADO EM DIÂMETRO *VERSUS* IDADE de *Aspidosperma polyneuron*. EM A, CURVAS DE CRESCIMENTO ACUMULADO DOS INDIVÍDUOS DE PLANÍCIE E EM B, INDIVÍDUOS DE ENCOSTA



FONTE: o autor (2017).

O tempo de passagem de uma classe de diâmetro para outra varia entre as árvores da planície. Enquanto uma árvore permanece na primeira classe de diâmetro (0-9,9 cm) 20 anos (46p), outra permanece por 61 anos (19p), conforme a (TABELA 2.1). O menor tempo de passagem de uma classe a outra foi de 15 anos (árvore 47p, 9ª classe) e o maior tempo foi de 61 anos (19p, 1ª classe), respectivamente na fase tardia e fase inicial de crescimento.

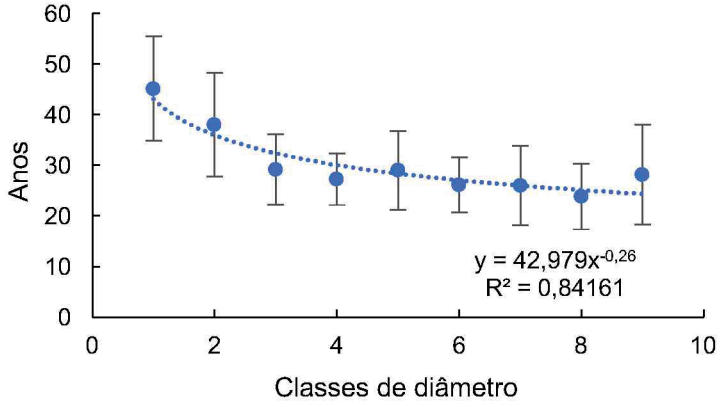
Verifica-se que uma árvore que tenha passado um maior tempo em uma determinada classe, não necessariamente passará também um maior tempo na classe subsequente. A mesma lógica se aplica para aqueles indivíduos que

inicialmente mudaram de classe rapidamente e não mantiveram essa constância ao longo de sua trajetória de crescimento.

Em uma mesma classe final de crescimento, por exemplo 50-59,9 cm, pode-se verificar que as árvores permaneceram nesta classe por períodos variados, sendo representada por árvores de 137 (7p) a 230 anos (43p), indicando que não houve uma relação evidente entre diâmetro e idade das árvores.

De modo geral, os indivíduos de planície tendem estabilizar este tempo de passagem de classes a partir da 4ª classe diamétrica (30-39,9 cm), num comportamento de J invertido (FIGURA 2.2). As duas primeiras classes são as que, em média, apresentam o maior tempo de permanência das árvores.

FIGURA 2.2 - RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PASSAGEM E CLASSES DIAMÉTRICAS* PARA *Aspidosperma polyneuron* EM PLANÍCIE



FONTE: o autor (2017).
*Classes diamétricas de acordo com a TABELA 2.1

Os indivíduos de encosta apresentam variação similar aos de planície, com árvores permanecendo na primeira classe de 30 a 73 anos, o que indica um recrutamento sob condições variadas entre as árvores de um mesmo ambiente, (TABELA 2.2).

Percebe-se, em média, que ao longo da trajetória de crescimento algumas árvores permanecem muito tempo nas primeiras classes, diminuem o tempo nas classes intermediárias e voltam a permanecer um tempo maior nas classes mais avançadas. O tempo mínimo de permanência de uma árvore em uma classe foi de 13 anos (47d) e o máximo 73 anos (4d). Na classe onde verificou-se o menor tempo de passagem de classes, contrasta períodos de até 4 vezes o mínimo de permanência. Além disso, os indivíduos de encosta possuem dimensões maiores que os de planície.

TABELA 2.1 - TEMPO DE PASSAGEM, EM ANOS, POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA *Aspidosperma polyneuron* DE PLANÍCIE. MED: TEMPO MÉDIO; MÍN: TEMPO MÍNIMO; MÁX: TEMPO MÁXIMO; DESV: DESVIO PADRÃO.

Classes (cm)	2p	5p	7p	19p	21p	22p	23p	40p	42p	43p	44p	45p	46p	47p	Med	Mín	Máx	Desv
(1) 0-9.9	42	54	38	61	57	37	47	43	42	55	48	47	20	41	45	20	**61**	10.3
(2) 10-19.9	23	44	28	34	43	41	25	40	38	50	48	54	22	43	38	22	54	10.2
(3) 20-29.9	24	37	16	24	30	28	27	27	42	33	29	40	24	27	29	16	42	6.9
(4) 30-39.9	27	22	20	32	27	24	28	28	41	27	30	28	25	22	27	20	41	5.1
(5) 40-49.9	25	28	19	29	41	30	25	35	29	32	44	32	17	20	29	17	44	7.8
(6) 50-59.9	25	25	16	21	28	28	31		35	33		27	21	23	26	16	35	5.4
(7) 60-69.9	19				23	30	40						20	24	26	19	40	7.9
(8) 70-79.9	19				24	21	35							20	24	19	35	6.5
(9) 80-89.9	25				32	27	42							15	28	**15**	42	9.9
(10) 90-99.9	25														25	25	25	
Soma	***254***	***210***	***137***	***201***	***305***	***266***	***300***	***173***	***227***	***230***	***199***	***228***	***149***	***235***	***298***			

FONTE: o autor (2017).

TABELA 2.2 - TEMPO DE PASSAGEM, EM ANOS, POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA *Aspidosperma polyneuron* DE ENCOSTA. MED: TEMPO MÉDIO; MÍN: TEMPO MÍNIMO; MÁX: TEMPO MÁXIMO; DESV: DESVIO PADRÃO.

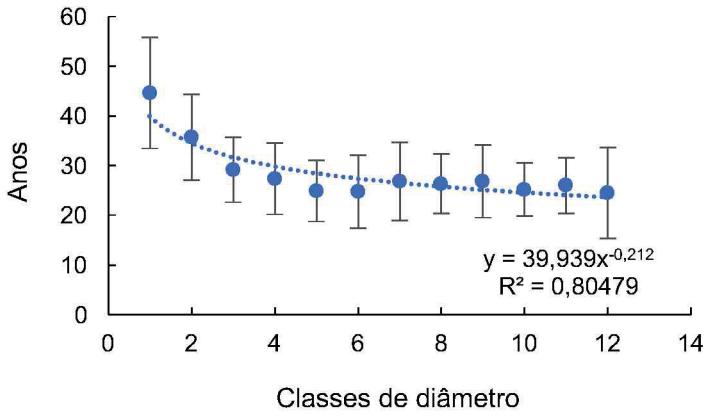
Classes (cm)	3d	4d	5d	7d	8d	16d	17d	18d	20d	23d	31d	32d	33d	34d	37d	38d	39d	41d	42d	45d	46d	47d	48d	per1	per2	Méd	Mín	Máx	Desv
(1) 0-9.9	41	73	36	59	38	53	51	53	48	33	62	40	58	36	35	52	37	57	41	36	30	32	39	34	42	44.6	30	73	11.2
(2) 10-19.9	32	55	38	33	44	41	51	44	45	33	34	35	32	31	28	32	49	26	27	35	29	20	34	25	41	35.8	20	55	8.6
(3) 20-29.9	23	47	26	32	29		35	35	29	26	30	24	28	26	21	31	40	39	26	27	31	17	25	23	30	29.2	17	47	6.6
(4) 30-39.9	24	44		30	30		44	30	29	25	21	19	19	24	25	26	40	29	27	27	28	19	26	17	26	27.3	17	44	7.2
(5) 40-49.9	28	38		29			34	25	22	21	21	16	17	29	20	27	33	21	32	23	26	15	21		25	24.9	15	38	6.1
(6) 50-59.9		46		25			31			22	20	21	20	21	22	29			30	23	25	13	20		29	24.8	13	46	7.3
(7) 60-69.9		40								19	20	22	23	29		33			38	28	33	15	19		30	26.8	15	40	7.8
(8) 70-79.9											29	31				25				34	24	16	21		31	26.4	16	34	6.0
(9) 80-89.9											23	30				31				37	24	15	21		34	26.9	15	37	7.4
(10) 90-99.9											25									30		17	24		30	25.2	17	30	5.4
(11) 100-109.9											25											21	32			26.0	21	32	5.6
(12) 110-119.9											31											18				24.5	18	31	9.2
(13) 120-129.9																						33				33.0	33	33	
(14) 130-139.9																						47				47.0	47	47	
Soma	***148***	***343***	***100***	***208***	***141***	***94***	***246***	***187***	***173***	***179***	***341***	***238***	***197***	***196***	***151***	***286***	***199***	***172***	***221***	***300***	***250***	***298***	***282***	***99***	***318***				

FONTE: o autor (2017).

Em média o tempo médio de passagem dos indivíduos de planície é maior do que nos de encosta, pelo menos até a 3ª classe, porém, os indivíduos de encosta apresentam, geralmente, um tempo médio de passagem maior.

Assim como na condição de planície, o tempo de permanência nas classes apresenta comportamento de J invertido (FIGURA 2.3). Há uma tendência de estabilização do tempo de passagem a partir da 4ª classe de diâmetro analisada.

FIGURA 2.3. RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE PASSAGEM E CLASSES DIAMÉTRICAS* PARA *Aspidosperma polyneuron* EM ENCOSTA



FONTE: o autor (2017).
*Classes de diâmetro de acordo com a TABELA 2.2

Com exceção da primeira classe, de modo geral, o desvio padrão indica que a dispersão dos dados está próxima da média do tempo de passagem para praticamente todas as classes.

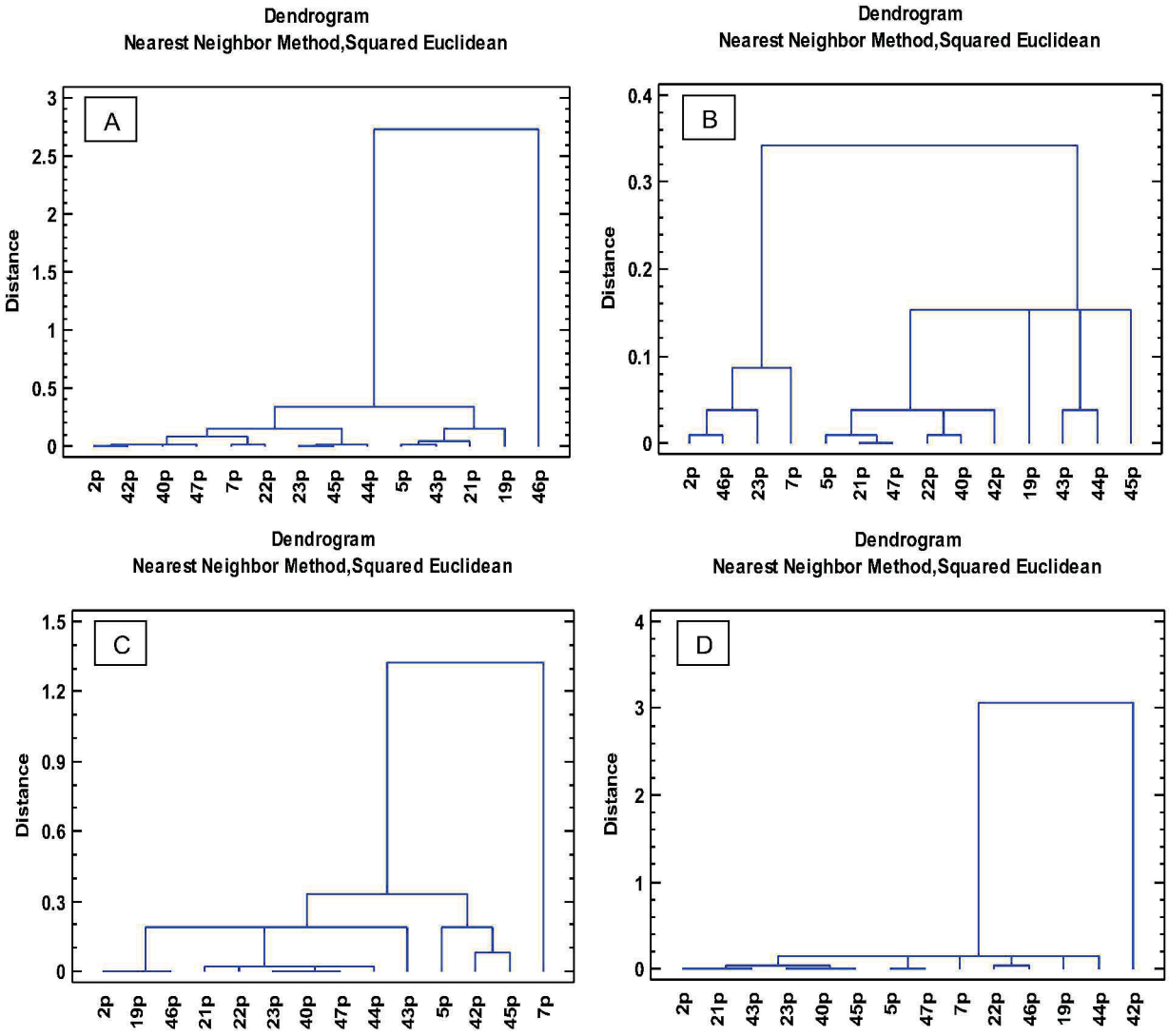
A partir de uma análise de agrupamentos foi possível verificar se o tempo que cada árvore permanece numa classe forma ou não grupos. Foram analisadas as 4 primeiras classes diamétricas das árvores de planície, conforme verificado na figura 2.4.

Na primeira situação (FIGURA 2.4 A), a árvore 46p (20 anos) se diferencia isoladamente das demais no tempo de passagem da primeira classe. Na segunda classe (FIGURA 2.4 B), não há diferenciação no tempo de passagem de classe, considerando a linha de corte determinada previamente. A árvore 7p (16 anos) é a que apresenta menor tempo de passagem na terceira classe e não agrupa com as demais árvores (FIGURA 2.4 C). Na última classe diamétrica considerada, a árvore 42p (41 anos) tem um tempo de passagem de classe distinto das demais,

permanecendo praticamente mais do que o dobro do tempo que muitas árvores nesta classe diamétrica.

Em 3 das 4 classes analisadas, pelo menos uma árvore apresentou comportamento distinto das demais, seja pelo breve período de permanência na classe ou pela demora em superá-la.

FIGURA 2.4 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTO CONSIDERANDO O TEMPO DE PASSAGEM DE *Aspidosperma polyneuron* EM PLANÍCIE PARA 4 CLASSES: A) 0-9,9 CM; B) 10-19,9 CM; C) 20-29,9 CM; D) 30-39,9 CM



FONTE: o autor (2017).

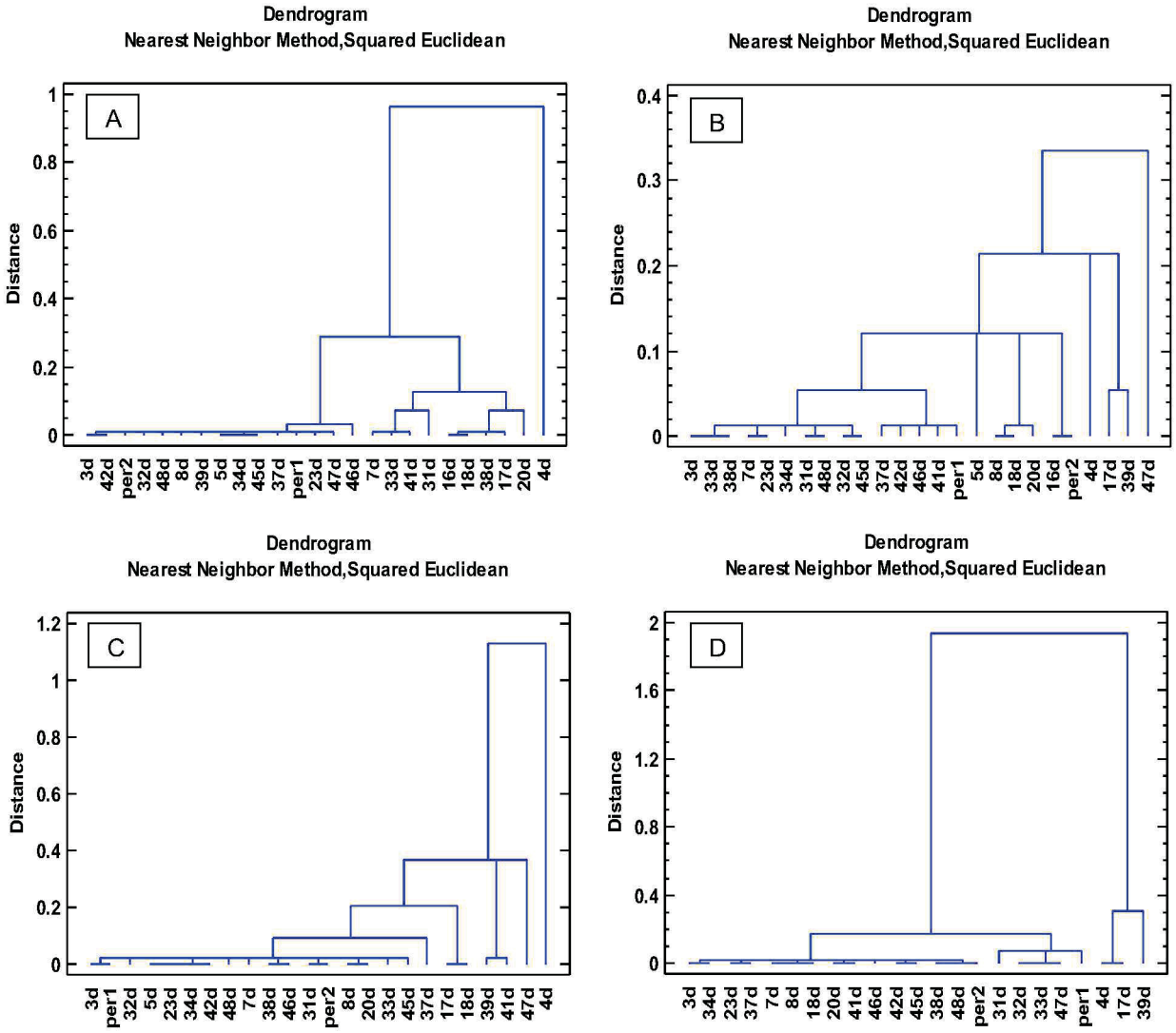
O crescimento diamétrico das árvores de encosta seguem a mesma tendência das árvores de planície, não havendo distinção de grupos para o tempo de passagem na segunda classe estudada (FIGURA 2.5 B). Verifica-se na (FIGURA 2.5 A) que a árvore 4d (73 anos) é a que permanece durante um maior tempo na primeira classe

diamétrica e não se agrupa às demais, apresentando um comportamento distinto na dinâmica de crescimento diamétrico.

A árvore 4d (47 anos) também apresenta comportamento distinto na terceira classe diamétrica (20-29,9cm), permanecendo mais que o dobro do tempo que outras árvores nesta mesma classe.

Na (FIGURA 2.5 D), as árvores 4d, 17d, 39d (44, 44 e 40 anos) apresentam comportamento semelhante e se agrupam em detrimento das demais árvores. Nos 3 casos em que há formação de grupos, a partir da linha de corte estabelecida, a árvore 4d apresenta comportamento distinto, com o maior tempo de passagem em cada classe, num forte indicativo de estar em uma posição diferenciada no estrato florestal.

FIGURA 2.5 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTO CONSIDERANDO O TEMPO DE PASSAGEM DE *Aspidosperma polyneuron* EM ENCOSTA PARA 4 CLASSES: A) 0-9,9 CM; B) 10-19,9 CM; C) 20-29,9 CM; D) 30-39,9 CM



FONTE: o autor (2017).

Ao longo das décadas, verifica-se que as taxas de incremento periódico tendem a decrescer nas árvores crescendo em condição de planície. Em média, as taxas de incremento periódico máximo representam duas vezes o incremento periódico mínimo. Além disso, as árvores de planície apresentam taxas de incremento periódico menores na fase inicial de crescimento, ficando acima da média por um período a partir dos 120 anos, em todos os casos (periódico, máximo, mínimo e amplitude) (FIGURA 2.6).

A análise do último período de Incremento Periódico (IP) para as árvores de planície e a APHC (Área de projeção horizontal de copa) indica que a relação não se dá de maneira direta. Altas taxas de incremento periódico não representam uma maior área de copa (FIGURA 2.6). Verificou-se uma tendência de que quanto maior a área de copa menores são as taxas de IP, mas há, por outro lado, ganho em área basal dado o diâmetro dos indivíduos.

No último período avaliado do incremento periódico para as árvores de planície, considerando o ponto comum das séries o ano de corte, há correlação entre o IP e a APHC (TABELA 2.3), em praticamente todos os cenários analisados. Os valores máximos e mínimos também apresentam correlações com APHC, e uma indicação de correlações mais fortes com valores mínimos.

TABELA 2.3 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE INCREMENTO PERIÓDICO (IP, IP MÁXIMO, IP MÍNIMO, AMPLITUDE DE IP) E ÁREA DE PROJEÇÃO HORIZONTAL DE COPA (APHC), ALTURA DE COPA (HC) E IDADE DAS ÁRVORES DE *Aspidosperma polyneuron* EM PLANÍCIE

Incremento Periódico						
	IP	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*
IP	1					
Mín.	0.44	1				
Máx.	***0.79***	0.51	1			
APHC	***0.50***	***0.54***	0.42	1		
HC	-0.01	-0.13	0.07	0.25	1	
Idade	-0.45	-0.59	-0.32	-0.14	***0.46***	1

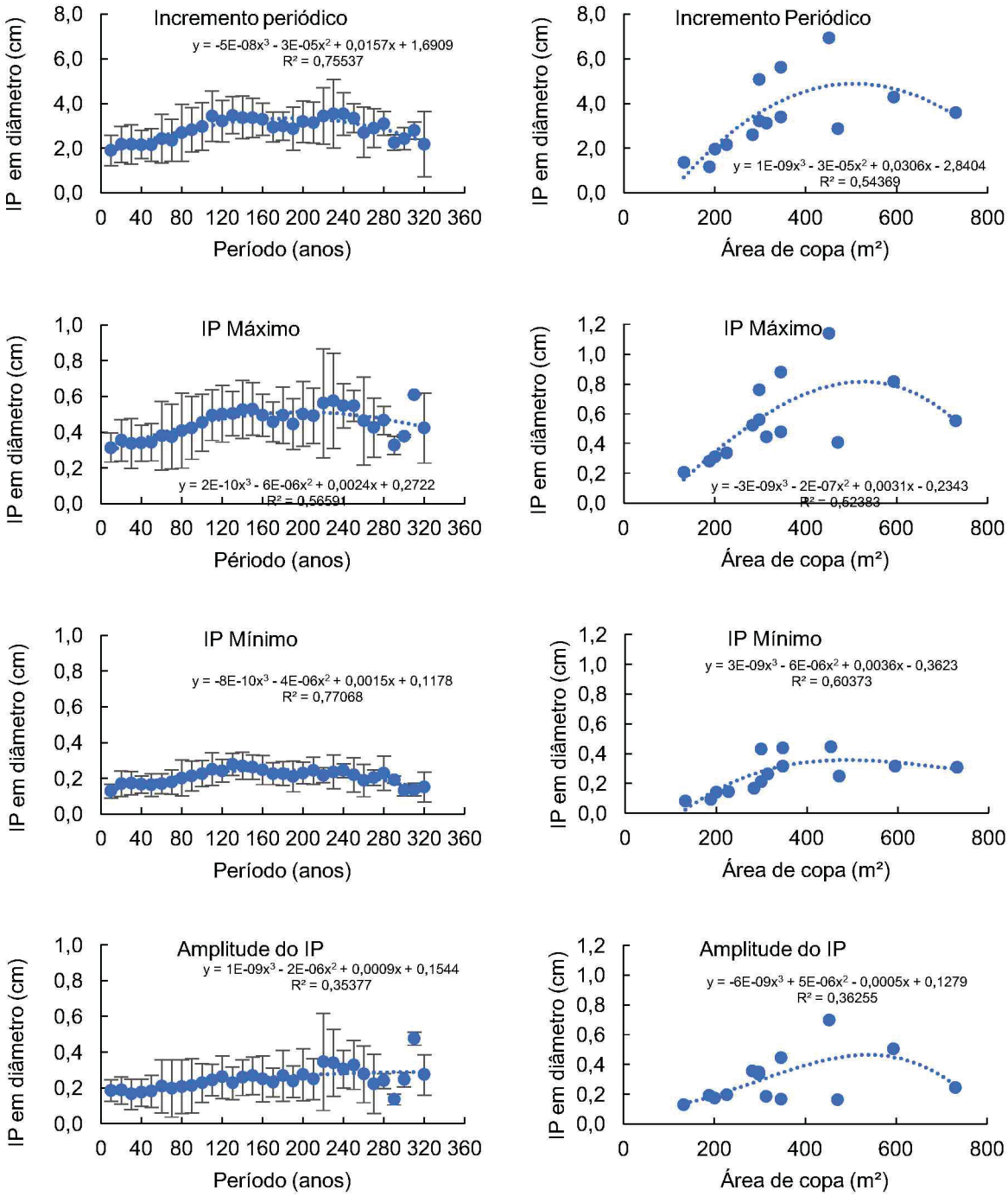
Incremento Periódico Máximo						
	IP	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*
IP	1					
Mín.	0.35	1				
Máx.	***0.67***	0.24	1			
APHC	***0.50***	***0.42***	0.20	1		
HC	0.00	-0.26	0.15	0.25	1	
Idade	-0.41	-0.65	-0.19	-0.14	***0.46***	1

Incremento Periódico Mínimo						
	IP	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*
IP	1					
Mín.	0.356	1				
Máx.	***0.72***	0.457	1			
APHC	***0.55***	***0.71***	0.344	1		
HC	-0.03	-0.02	-0.14	0.2535	1	
Idade	-0.47	-0.22	-0.6	-0.139	***0.46***	1

Amplitude do Incremento Periódico						
	IP	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*
IP	1					
Mín.	0.14	1				
Máx	***0.63***	0.42	1			
APHC	***0.39***	0.07	0.07	1		
HC	0.03	0.03	0.12	0.253	1	
Idade	-0.3	-0.4	-0.13	-0.139	***0.46***	1

FONTE: o autor (2017).

FIGURA 2.6 - GRÁFICOS DE MÉDIA DO INCREMENTO PERIÓDICO (TOTAL, MÁXIMO, MÍNIMO E AMPLITUDE) POR DÉCADA (À ESQUERDA) E A RELAÇÃO ENTRE INCREMENTO PERIÓDICO (TOTAL, MÁXIMO MÍNIMO E AMPLITUDE) E ÁREA DE COPA (M²) PARA AS ÁRVORES DE *Aspidosperma polyneuron* DE PLANÍCIE

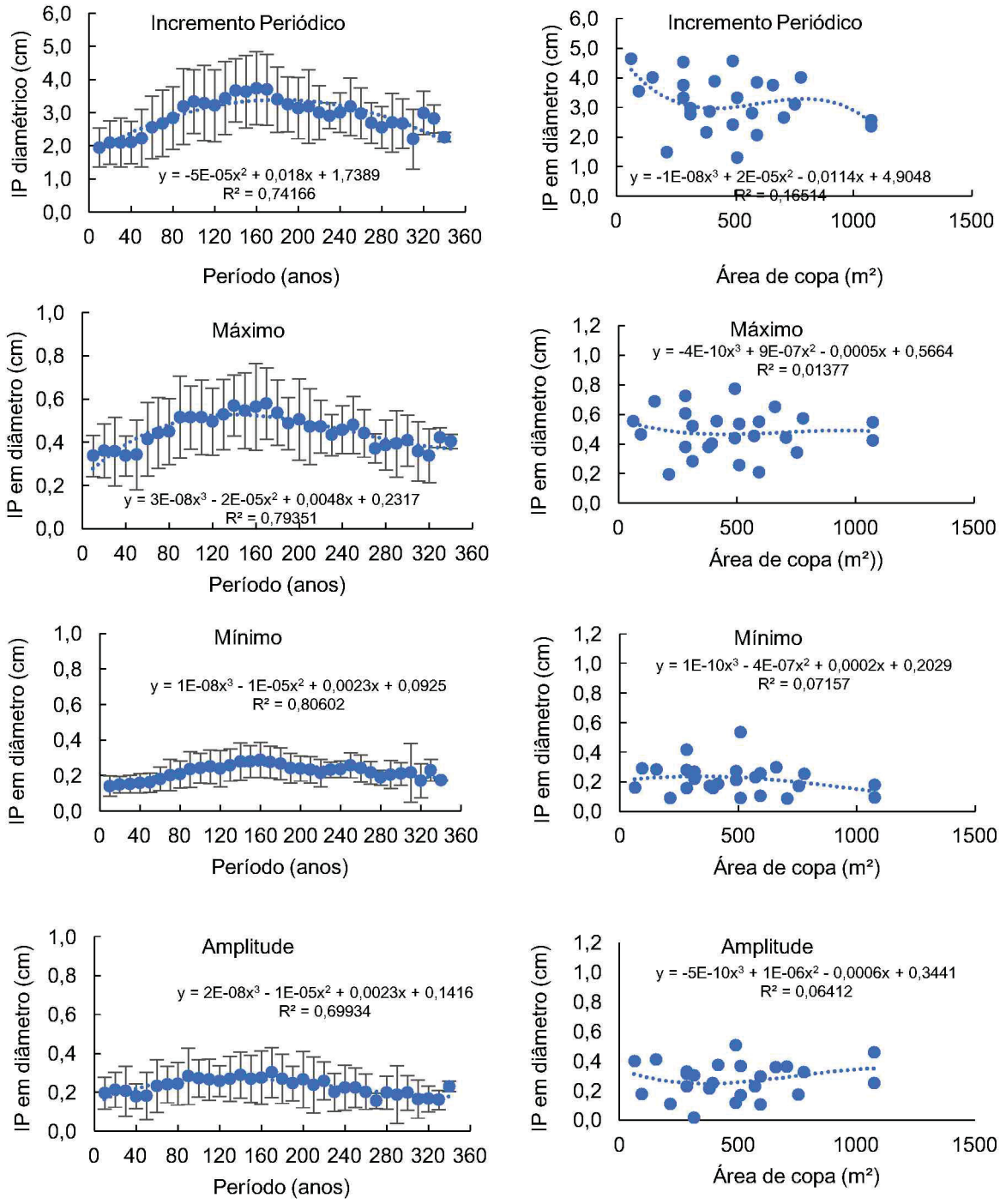


FONTE: o autor (2017).

As árvores de encosta apresentam taxas médias de IP decadal menores na fase inicial do crescimento, considerando o tempo biológico, do que na fase juvenil e adulta. Ainda assim, percebe-se que há, em média, uma redução das taxas de incremento a partir dos 160 anos.

Diferentemente das tendências verificadas com as árvores de planície, as árvores de encosta não apresentam nenhuma tendência na relação entre o incremento periódico (em todos os casos) e a área de projeção de copa (FIGURA 2.7).

FIGURA 2.7 - GRÁFICOS DE MÉDIA DO INCREMENTO PERIÓDICO (TOTAL, MÁXIMO, MÍNIMO E AMPLITUDE) POR DÉCADA À ESQUERDA E A RELAÇÃO ENTRE INCREMENTO PERIÓDICO (TOTAL, MÁXIMO MÍNIMO E AMPLITUDE) E ÁREA DE COPA (M²) PARA AS ÁRVORES DE *Aspidosperma polyneuron* DE ENCOSTA



FONTE: o autor (2017).

A análise das correlações entre APHC e IP não indica fortes correlações entre as variáveis (TABELA 2.4). O comportamento é distinto para cada situação estudada e diferente do verificado com os dados de planície.

TABELA 2.4 - CORRELAÇÕES DE PEARSON ENTRE INCREMENTO PERIÓDICO (IP, IP MÁXIMO, IP MÍNIMO, AMPLITUDE DE IP) E ÁREA DE PROJEÇÃO HORIZONTAL DE COPA (APHC), ALTURA DE COPA (HC) E IDADE DAS ÁRVORES DE *Aspidosperma polyneuron* EM ENCOSTA

Incremento Periódico							Incremento Periódico Máximo						
	IP	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*		*IP*	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*
IP	1						IP	1					
Mín.	0.32	1					Mín.	0.18	1				
Máx.	0.01	0.17	1				Máx.	0.10	0.24	1			
APHC	***-0.27***	0.03	-0.06	1			APHC	***-0.04***	-0.06	-0.11	1		
HC	0.11	-0.16	-0.13	0.18	1		HC	0.21	-0.13	-0.10	0.18	1	
Idade	-0.65	-0.33	-0.05	***0.42***	0.13	1	Idade	-0.42	-0.43	-0.31	***0.42***	0.13	1
Incremento Periódico Mínimo							Amplitude do Incremento Periódico						
	IP	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*		*IP*	*Mín.*	*Máx.*	*APHC*	*HC*	*Idade*
IP	1						IP	1					
Mín.	0.13	1					Mín.	0.54	1				
Máx.	0.06	0.21	1				Máx.	0.34	0.41	1			
APHC	***-0.22***	-0.13	-0.10	1			APHC	***0.15***	-0.16	-0.13	1		
HC	0.05	-0.23	-0.11	0.18	1		HC	0.31	0.16	-0.04	0.18	1	
Idade	-0.15	-0.18	0.17	***0.42***	0.13	1	Idade	-0.33	-0.48	-0.40	***0.42***	0.13	1

FONTE: o autor (2017).

Pode-se verificar que a APHC das árvores de encosta possui correlação com a idades dos indivíduos analisados, ainda que não representem forte correlação.

4 DISCUSSÃO

A trajetória de crescimento das árvores de planície e encosta apresentam comportamentos particulares para cada situação. Ainda que as idades possam ser consideradas avançadas para árvores da floresta subtropical brasileira, tendo por base as idades já verificadas (SEITZ; KANNINEN, 1989; OLIVEIRA, 2007; ANDREACCI, 2012; STEPKA, 2012; KANIESKI, 2013; LONGHI-SANTOS, 2013; ADENESKY-FILHO, 2014; MIRANDA, 2015), não garante a elas uma condição de maturidade que certamente seria atingida por outras espécies num período muito mais curto. Fichtler et al. (2003) sugerem que em áreas tropicais, de modo geral, as árvores possuem longevidade de 200 a 300 anos, idade já superada pelas perobas analisadas neste trabalho.

A dinâmica de crescimento entre os ambientes é variada, o que talvez já se pudesse esperar, considerando o fato de que planície e encosta são ambientes bastante distintos. Imagina-se que na planície, em razão da dinâmica fluvial, os processos sejam muito mais intensos e expressivos (BARDDAL et al., 2004; CURCIO, 2006; SCHÖNGART, 2008), o que poderia resultar numa variação do crescimento muito mais marcada. Todavia, percebe-se uma menor amplitude de variação, seja ela em diâmetro ou idade. Essa menor variação no crescimento das árvores de planície pode ser parte da plasticidade da espécie em ocupar um ambiente sujeito a inundações periódicas (MINER et al., 2005; VALLADARES et al., 2007), diferentes daquelas que ocorrem em regiões tropicais (SCHÖNGART et al., 2005), mas que, aparentemente, também determinam limitações no crescimento.

Na encosta a variação de diâmetros em uma mesma idade é muito mais acentuada, bem como o número superior de indivíduos com idades avançadas. Enquanto na planície o fator limitante (FRITTS, 1976; CHAPIN et al., 1987; SPEER, 2010) ao crescimento possa ser atribuído a periodicidade e duração de inundações (considerando o fato de esta planície ser de um rio com padrão de leito controlado), na encosta a falta e/ou redução nas taxas de precipitação poderia ser o fator limitante, embora a área esteja inserida num contexto de distribuição regular de chuvas (como visto no primeiro capítulo. A profundidade dos solos e do lençol freático (VALLADARES et al., 2007), a classe de solo e os aspectos nutricionais (CARDOSO et al. 2012) e a matriz pedológica da encosta, podem ser os fatores chave na variação do crescimento destas árvores (BRIENEN et al. 2006).

Nos dois ambientes analisados, apenas uma árvore apresenta uma curva de crescimento com pontos que permitem identificar o estágio de desenvolvimento biológico dos indivíduos (RICHARDS, 1959; ASSMANN, 1970; FRITTS, 1976; PRODAN et al., 1997). Para todo o restante, o crescimento tende a ser linear, indicando que as árvores estavam em plena atividade fisiológica e biológica, sem indícios de senilidade ou redução de taxas de crescimento, o que poderia ser esperado para os indivíduos mais velhos, conforme verificado por Rodrigues (2016), ao analisar o crescimento de araucárias centenárias.

Espera-se que espécies florestais não-pioneiras apresentem idades mais avançadas que espécies pioneiras, bem como taxas de crescimento distintas (BUDOWSKI, 1965). Entretanto, poucos são os trabalhos que tratam das idades de indivíduos não-pioneiros em regiões subtropicais (SEITZ; KANNINEN, 1989; RIGOZO et al. 2004; OLIVEIRA, 2007; ADENESKY 2014).

As espécies florestais, de regiões subtropicais ou não, podem ser classificadas em diferentes grupos ecológicos (BUDOWSKI, 1965; SWAINE E WHITMORE, 1988), e essa classificação implica em informações sobre o crescimento das plantas e a condição em que se estabelecem em uma floresta. O fato de pertencerem a um mesmo grupo ecológico, não garante que o crescimento de árvores de uma mesma espécie, em ambientes distintos, se dê da mesma maneira e sob as mesmas condições.

Assim, pôde-se verificar que as árvores analisadas em planície e encosta, possuem particularidades no crescimento, em função do tempo de passagem em uma determinada classe diamétrica. Brienen et al. (2006), indicam que essas diferenças no crescimento persistem durante longos períodos, e que o crescimento inicial parece ser determinante no sucesso do crescimento das árvores, além de indicar em que condições elas cresceram. Essas variações também foram encontradas por Rodrigues (2016), que considera as condições de maior competição em florestas nativas (intra e interespecífica) como justificativa para tal comportamento.

O recrutamento das árvores se deu em períodos e sob condições ambientais diversas, dos quais não se tem total controle, mas a partir da análise da largura dos anéis de crescimento pode-se verificar quais árvores foram recrutadas em condições mais ou menos favoráveis para o crescimento diamétrico (GRAU et al., 2003), indicando que os processos de recrutamento e estabelecimento de indivíduos numa floresta é muito dinâmico.

Longhi-Santos (2013) verificou que indivíduos de dossel e subosque de *Gymnanthes klotzschiana,* em uma planície de inundação, possuem estratégias de crescimento distintas. Árvores de subosque investem inicialmente mais em crescimento em altura do que em diâmetro. Por outro lado, as de dossel investem mais em diâmetro do que em altura, uma vez que já se estabeleceram e estão em uma posição mais favorável no estrato florestal. Adenesky (2014) verificou comportamento similar analisando o crescimento de indivíduos de *Araucaria angustifolia* no Sul do Brasil, com mais de 350 anos.

O que se percebe nos indivíduos de peroba é que apesar de serem todos indivíduos emergentes, alguns permaneceram muito mais tempo que outros nas primeiras classes diamétricas, indicando que as condições ambientais nas quais foram recrutados apresentavam restrições. A competição lateral (disputa por recursos) (BEGON et al., 2007) e a disponibilidade lumínica (condição ambiental) (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006) são fatores preponderantes no crescimento das plantas e por não serem fatores estáticos, permitem que ao longo da vida as plantas possam se adaptar a uma liberação de concorrência lateral ou uma posição mais favorável no estrato florestal. Esse comportamento pôde ser constatado tanto na planície quanto na encosta, uma vez que o período que as árvores passaram em cada classe não foi, necessariamente, o mesmo (TABELAS 2.1 e 2.2).

Em ambas as condições de crescimento há uma tendência de redução do tempo médio de passagem de classes diamétricas, na forma de um J invertido, sendo este comportamento verificado para outros parâmetros biométricos em florestas nativas. Essa tendência indica, indiretamente, que as taxas de crescimento na fase inicial de crescimento das árvores foram baixas, comportamento inverso ao verificado por Stepka (2012), Curto (2015) e Rodrigues (2016), ao analisarem o crescimento de *Araucaria angustifolia*. Assim, verifica-se que, apesar de serem todas árvores emergentes no estrato florestal, cada uma desenvolveu uma trajetória específica, até que essas variações fossem minimizadas ao longo do tempo, pelo alcance de uma posição sociológica na estrutura da floresta mais favorável ao crescimento.

Na análise de agrupamento (FIGURAS 2.4 e 2.5) fica evidente essa mudança no crescimento ao longo do tempo ou ao menos nas 4 primeiras classes diamétricas analisadas, uma vez que a cada classe uma nova formação de grupos se faz. Evidentemente, que em alguns casos, como o da árvore 4D, o crescimento é distinto em várias classes, num indicativo de que as condições ambientais (BEGON et al.,

2007; TOWNSEND et al., 2010) ainda não foram totalmente favoráveis, a ponto de o tempo de passagem ser próximo ao tempo das demais árvores.

Em espécies pioneiras, espera-se que as árvores apresentem altas taxas de crescimento no período inicial e deste modo o tempo de passagem de uma classe a outra é mais curto, com reflexos nas propriedades físico-químico-mecânicas da madeira (BUDOWSKI, 1965; SWAINE; WHITMORE, 1988; MULLER-LANDAU, 2004; LARJAVAARA; MULLER-LANDAU, 2010) Por outro lado, em espécies não-pioneiras, na fase inicial as taxas de crescimento tendem a ser menores, e na fase intermediária atingem o máximo de crescimento, para então voltar a decair. Verifica-se esse comportamento não apenas para *Aspidosperma polyneuron*, mas também para outras espécies em florestas, como apontado por Alder (1992), analisando o crescimento de espécies nativas tropicais. Nos dois ambientes é possível verificar essa tendência, ainda que os pontos de maior incremento periódico se deem mais cedo na planície (aproximadamente aos 130 anos) do que na encosta (aproximadamente aos 160 anos).

O crescimento diamétrico das árvores está diretamente ligado à atividade do câmbio, que é o responsável pela formação do xilema e floema secundários (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006; RAVEN et al., 2007) e é sensivelmente influenciado pelas condições climáticas (BURGER; RICHTER, 1991). Além disso, a copa é um fator preponderante no desenvolvimento diamétrico das árvores, uma vez que nela é que são fotossintetizados os carboidratos utilizados por todos os componentes da árvore (LARCHER, 2004; TAIZ; ZAIGER, 2009), o que nos leva a pensar que quanto maior a área de copa de uma árvore, maior será seu crescimento.

Tanto na Planície quanto na encosta, não se verifica essa possível relação entre copa e crescimento, em contraponto ao citado por Nutto (2001). Enquanto na planície parece haver uma menor variação nos dados e uma tendência mais clara de que há um decréscimo no incremento periódico com o aumento da área de copa, na encosta a dispersão dos dados indica que não há nenhuma relação clara entre essas variáveis.

As correlações apresentadas nas (TABELAS 2.3 e 2.4) permitem verificar que os processos que ocorrem na planície são mais regulares e com correlações mais fortes, mesmo em se tratando de um ambiente altamente sujeito a inundações e

deposição de sedimentos diversos (SCHNITZLER, 1997; CURCIO, 2006; LONGHI-SANTOS, 2013).

A dinâmica de crescimento na encosta não apresenta um padrão ou tendência clara, entretanto, chama atenção para o fato de que há correlação entre APHC e a idade dos indivíduos analisados. Num primeiro momento não se verifica uma lógica para essa correlação, uma vez que não há relação evidente entre idade e diâmetro dos indivíduos, o que permitiria afirmar que indivíduos mais velhos, seriam os de maiores diâmetros e consequentemente de maior APHC.

5 CONCLUSÕES

Os indivíduos de *Aspidosperma polyneuron* apresentam crescimento diamétrico similar nos dois ambientes analisados, numa tendência linear, e que ainda não teriam atingido seu máximo crescimento, mesmo com idades consideradas tão avançadas. A amplitude de diâmetros em uma mesma idade é maior na encosta do que na planície, numa presumível resposta à dinâmica de uma planície aluvial.

O recrutamento das árvores se deu em momentos distintos, sugerindo que distintas também foram as estratégias de crescimento impostas aos indivíduos, em um mesmo ambiente.

A dinâmica florestal imposta sobre cada um dos indivíduos faz com que assumam comportamentos diferenciados, e apresentem taxas de crescimento e/ou períodos de permanência em classes diamétricas de acordo com os recursos e condições ambientais disponíveis.

Há correlação entre o incremento periódico das últimas décadas e área de projeção horizontal de copa para as árvores de planície, onde verifica-se também uma tendência de redução do incremento periódico com o aumento da área de copa. Na encosta o comportamento é totalmente aleatório e não há correlação entre essas variáveis, entretanto verificou-se correlação entre a idade dos indivíduos e a altura de copa, sem necessariamente uma resposta biológica para isso.

De modo geral, os indivíduos analisados apresentam o mesmo comportamento esperado para florestas tropicais, constatando-se baixas taxas de crescimento na fase inicial, o máximo de crescimento na fase intermediária e consequente redução destas na fase final. Neste caso em particular, não se pode afirmar que as árvores estejam na fase final de crescimento, uma vez que não há indícios na curva de produção de que isto esteja acontecendo, porém, as taxas de incremento periódico indicam uma redução no incremento diamétrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENESKY-FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ALDER, D. Simple methods for calculating minimum diameter and sustainable yield in mixed tropical forest. In: MILLER, F. R.; ADAM, K. L. **Wise management of tropical forests**. Oxford: Oxford Forest Institute, 1992. p. 189-200.

ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. em áreas de Florestas Ombrófilas Mista e Densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV. 2006.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study – Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands**. Oxford/ New York/ Toronto/ Sydney/ Braunschweig: Pergamon Press, 1970. 506p.

BARDDAL, M. L. et al. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. do; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

BEGON, M; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J. L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Artmed Editora, 2007.

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, n. 1, p. 256-267, 2006.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; DURING, H. J. Autocorrelated growth of tropical forest trees: Unraveling patterns and quantifying consequences. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 179-190, 2006.

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

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.

CARDOSO, F. C. G. et al. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 269-281, 2012.

CHAPIN, F. Stuart et al. Plant responses to multiple environmental factors. **Bioscience**, v. 37, n. 1, p. 49-57, 1987.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequiânea. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, p. 239-245, 2015.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 510 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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

FICHTLER, E.; DEBORAH, A. C.; MARTIN, W. Age and Long-term Growth of Trees in an Old-growth Tropical Rain Forest, Based on Analyses of Tree Rings and ^{14}C. **Biotropica,** v.35, n. 3, p. 306-317, 2003.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. Oxford: Elsevier Science, 1976.

GRAU, H. R.; EASDALE, T. A.; PAOLINI, L. Subtropical dendroecology—dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 177, n. 1, p. 131-143, 2003.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bull** v.43, p.69–78, 1983.

KANIESKI, M. R. **Estudo dendroecológico de Sebastiania commersoniana (Baill.) LB Sm. e RJ Downs e de arbóreas invasoras em uma floresta ombrófila mista aluvial, sul do Brasil**. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004.

LARJAVAARA, M.; MULLER-LANDAU, H. C. Rethinking the value of high wood density. **Functional Ecology**, v. 24, n. 4, p. 701-705, 2010.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de *Sebastiania commersoniana* (Baill.) L.B.Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013

MCCUNE, B; GRACE, J. B. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach: MjM software design, 2002.

MINER, B.G. et al. Ecological consequences of phenotypic plasticity. Trends in Ecology & Evolution, v. 20, n. 12, p. 685-692, 2005.

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.
MULLER-LANDAU, H. C. Interspecific and Inter-site Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees. **Biotropica**, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

NUNES, J. L. A. **1963: o Paraná em chamas**. Londrina, 2013.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2005.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze**: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. Biologia Vegetal. 7a. Coord. Trad, 2007.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Empirical Botany,** v. 10, p.290-300, 1959.

RIGOZO, N. R.; NORDEMANN, D. J. R.; ECHER, E.; VIEIRA, L. E. A. Search for Solar Periodicities in Tree-Ring Widths from Concórdia (S.C., Brazil). Pure and Applied Geophysics, v.161, p. 221-233, 2004.

RODRIGUES, A.L. Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SCHNITZLER, A. River Dynamics as a forest process: interaction between fluvial systems and alluvial forests in large european river plains. **The Botanical Review**, v. 63, n. 1, p. 40-64, 1997.

SCHÖNGART, J. et al. Wood growth patterns of Macrolobium acaciifolium (Benth.) Benth.(Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. **Oecologia**, v. 145, n. 3, p. 454-461, 2005.

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, p. 46-58, 2008.

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.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SPEER, J. H. **Fundamentals of tree-ring research**. University of Arizona Press, 2010.

SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, Dordrecht, v. 75, n. 1 e 2, p. 81-86, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Artmed, 2009.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em ecologia. Artmed, 2010.

VALLADARES, F.; GIANOLI, E.; GÓMEZ, J. M. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. **New Phytologist**, v. 176, n. 4, p. 749-763, 2007.

WHITMORE, T.C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, Washington, v. 70, n. 3, p. 536–538, 1989

CAPÍTULO 3 - MACRO E MICRONUTRIENTES NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO: UMA NOVA PERSPECTIVA NA ANÁLISE DO AMBIENTE FLORESTAL

RESUMO

A interação entre fatores bióticos e abióticos na formação e desenvolvimento dos anéis de crescimento, pode resultar numa composição química diferenciada a cada ano. Neste capítulo, buscou-se verificar a presença e distribuição de alguns macro e micronutrientes nos anéis de crescimento do lenho de *Aspidosperma polyneuron*. Foram selecionadas árvores em duas condições geomorfológicas (planície e encosta) e delas retiradas amostras radiais do lenho, as quais foram posteriormente, analisadas com LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectrometry*). Verificou-se que a metodologia utilizada para a caracterização química dos anéis de crescimento é adequada e promissora. Há variações no conteúdo químico das árvores dentro de um mesmo ambiente para todos os elementos analisados e entre ambientes. Foram verificadas correlações significativas entre os nutrientes identificados e as variáveis ambientais consideradas. As correlações entre as séries radiais temporais de crescimento e de nutrientes são fracas e, em muitos casos, sem significância estatística. Entretanto, são verificados pontos de sincronismo entre as séries analisadas. O comportamento verificado para o Fósforo (P), tanto na planície quanto na encosta, indica que a alta mobilidade transversal do nutriente permite identificar a zona de transição entre cerne e alburno.

Palavras-chave: Dendroquímica. LIBS. Translocação de nutrientes.

ABSTRACT

The interaction between biotic and abiotic factors in the formation and development of growth rings may result in a differentiated chemical composition every year. In this chapter, we aimed to verify the distribution of some macro and micronutrients in the growth rings of *Aspidosperma polyneuron*. Trees were selected in two geomorphological conditions (floodplain and hillside) and radial samples were extracted from their wood, which were later analyzed with Laser Induced Breakdown Spectrometry (LIBS). We verified that the methodology used for the chemical characterization of the rings is appropriate and promising. There are variations in the chemical content of trees within the same environment for all elements analyzed and between environments. We also verified significant correlations between the identified nutrients and the considered variables. The correlations between time series of growth and nutrients are weak and, in many cases, not statistically significant. However, it is possible to find points of synchronism between the series. The behavior observed for Phosphorus indicates that a high radial mobility of the nutrient could identify a transition zone between heartwood and sapwood.

Keywords: Dendrochemistry. LIBS. Translocation of nutrients.

1 INTRODUÇÃO

Os anéis de crescimento são considerados verdadeiros arquivos, (OLIVEIRA, 2007) que refletem as condições ambientais históricas de um local. A partir deles é possível reconstruir o clima e identificar se os eventos extremos verificados na atualidade também aconteceram no passado (FRITTS, 1976; SCHWEINGRUBER, 1988). Em muitas regiões, os registros climáticos são escassos e a possibilidade de se obter *proxies* ambientais (SCHARNWEBER et al. 2016), a partir de amostras de árvores longevas, permite analisar no presente as evidências do passado.

A composição química elementar dos anéis de crescimento também pode ser considerada um *proxy* promissor (SCHARNWEBER et al. 2016) para a compreensão e reconstrução das condições e recursos disponíveis em uma floresta; não apenas na identificação de poluentes (HAGEMEYER, 1993; HAGEMEYER, 2000), mas, também, como ferramenta de monitoramento ambiental como um todo.

A possível mobilidade dos macro e micronutrientes, nos diferentes compartimentos de uma árvore, é apontada como uma das limitações - ainda em discussão -, em estudos dendroquímicos (MARTIN et al. 2003; SCHARNWEBER et al. 2016). Alguns nutrientes são muito móveis e migram de regiões de tecidos mais velhos para regiões de tecidos mais jovens (ARP; MANASC, 1988; VAGANOV et al. 2013). Entretanto, ainda que possa haver translocação de nutrientes de uma região a outra na árvore, verificar o padrão de distribuição destes ao longo da vida da árvore, fornece dados importantes acerca da ecologia da espécie e agregam informações em um campo da ciência ainda pouco explorado.

Diversas são as técnicas possíveis de serem utilizadas para determinar a presença de um elemento químico em uma amostra do lenho de árvores. Muitas delas requerem um esforço no preparo das amostras, como a espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) (KUANG et al., 2008; CHAGAS, 2013), a espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS) (NUNES, 2010), espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) (WATMOUGH; HUTCHINSON, 2002; VAGANOV et al., 2013), análise por fluorescência de raios X (XRF) (ARP; MANASC, 1988) e a análise de micro-fluorecência de raio X (μXRF) (SCHARNWEBER et al., 2016). Em alguns casos, essas técnicas podem limitar o número de análises realizadas e o número de elementos que podem ser identificados.

Boa parte destas técnicas, anteriormente citadas, permitem determinar a concentração dos nutrientes na amostra. Entretanto, torna-se imprescindível a busca por novas técnicas que simplifiquem e ampliem a possibilidade de amostrar vários pontos em uma mesma amostra de forma rápida e direta.

A espectrometria de emissão óptica em plasma induzido por laser, ou simplesmente LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectrometry*) é considerada uma técnica de química limpa e sustentável, de análise rápida e precisa, simples do ponto de vista de estrutura operacional, requerendo pouco ou nenhum pré-tratamento das amostras (NUNES, 2010; NUNES et al., 2010; SANTOS et al. 2012). Ainda que a análise com LIBS não determine a concentração dos elementos químicos presentes nas amostras, a intensidade de emissão ou áreas de pico indicam indiretamente a magnitude deste valor, uma vez que baixas intensidades de emissão representam, em último caso, baixas frações de massa.

Assim, a partir de amostras radiais do lenho de *Aspidosperma polyneuron* coletadas em dois ambientes naturais distintos geomorfologicamente, macro e micronutrientes foram investigados com LIBS, procurando verificar se: (i) poderiam ser verificadas variações na intensidade de emissão dos elementos químicos identificados, ao longo do tempo, dentro de um mesmo ambiente e entre ambientes distintos?; (ii) seria possível caracterizar cada ambiente por sua "assinatura química"?; (iii) as séries temporais radiais de anéis de crescimento e dos elementos químicos identificados poderiam estar correlacionadas?; (iv) haveria correlação entre as variáveis climáticas/ambientais e os elementos químicos identificados?; (v) seria possível identificar fases e/ou estágios de desenvolvimento das árvores a partir da variação química de determinados elementos nos dos anéis de crescimento? (vi) a metodologia utilizada é adequada para a análise do conteúdo químico dos anéis de crescimento do lenho de árvores?

2 MATERIAL E MÉTODOS

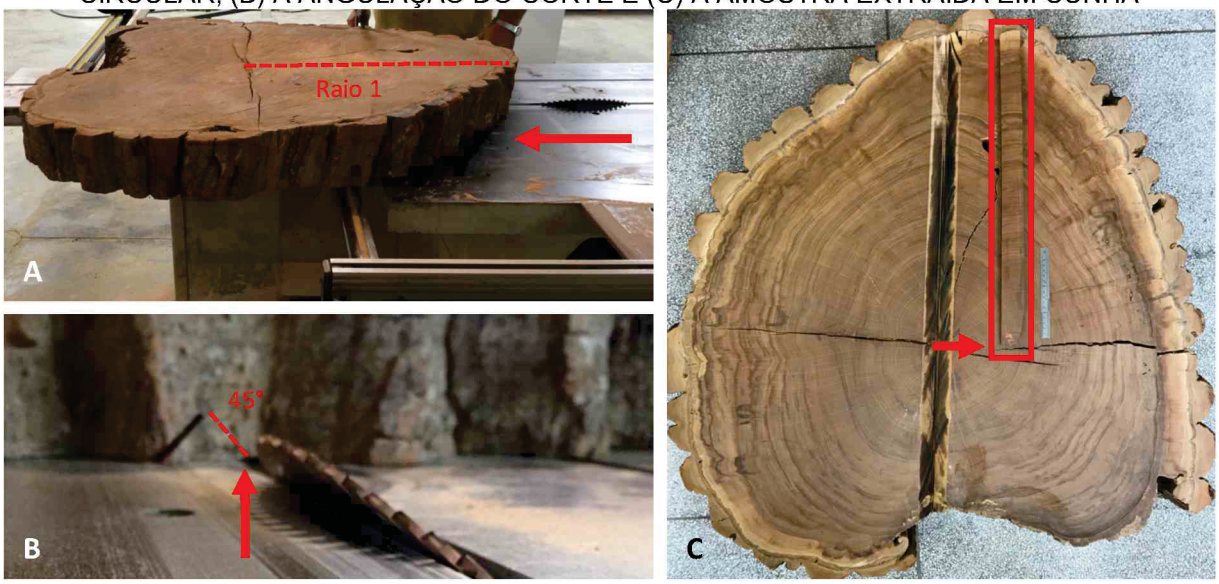
As informações pormenorizadas referentes à *Localização da área*, *Espécie* e *Coleta e preparo das amostras* foram descritas no Capítulo 1.

2.1 PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE DOS DADOS

A partir da sincronização dos dados, conforme descrito no Capítulo 1, foram selecionadas 8 árvores, sendo 4 de cada ambiente (planície e encosta), que apresentaram os maiores valores de intercorrelação intra-árvores.

Nestas 8 árvores, previamente selecionadas, foram identificados os raios com o maior número de anéis de crescimento, para que se fizesse a extração de amostras de menor dimensão (cunhas), compatíveis com os equipamentos e testes que seriam realizados na sequência. Assim os respectivos discos do lenho de peroba, alguns com mais de 1 metro de diâmetro, foram serrados com o auxílio de uma serra circular de bancada (FIGURA 3.1 A e B) obtendo-se amostras do lenho, em forma de cunha, com superfície transversal de 4,5 cm e 2 cm de profundidade (FIGURA 3.1 C).

FIGURA 3.1 - REPRESENTANÇÃO DA OBTENÇÃO DE AMOSTRAS DO LENHO DOS DISCOS DE *Aspidosperma polyneuron*, ONDE (A) O POSICIONAMENTO DO DISCO NA BANCADA DA SERRA CIRCULAR, (B) A ANGULAÇÃO DO CORTE E (C) A AMOSTRA EXTRAÍDA EM CUNHA



FONTE: o autor (2017).

Nas amostras radiais do lenho obtidas dos discos serrados foram realizadas marcações quinquenais no sentido casca-medula, as quais serviram de balizamento

para as análises de caracterização química dos anéis de crescimento por Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Induzido por Laser (LIBS).

As análises com LIBS foram realizadas em parceria com a equipe do Laboratório de Química Analítica "Henrique Bergamin Filho", do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), da Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba.

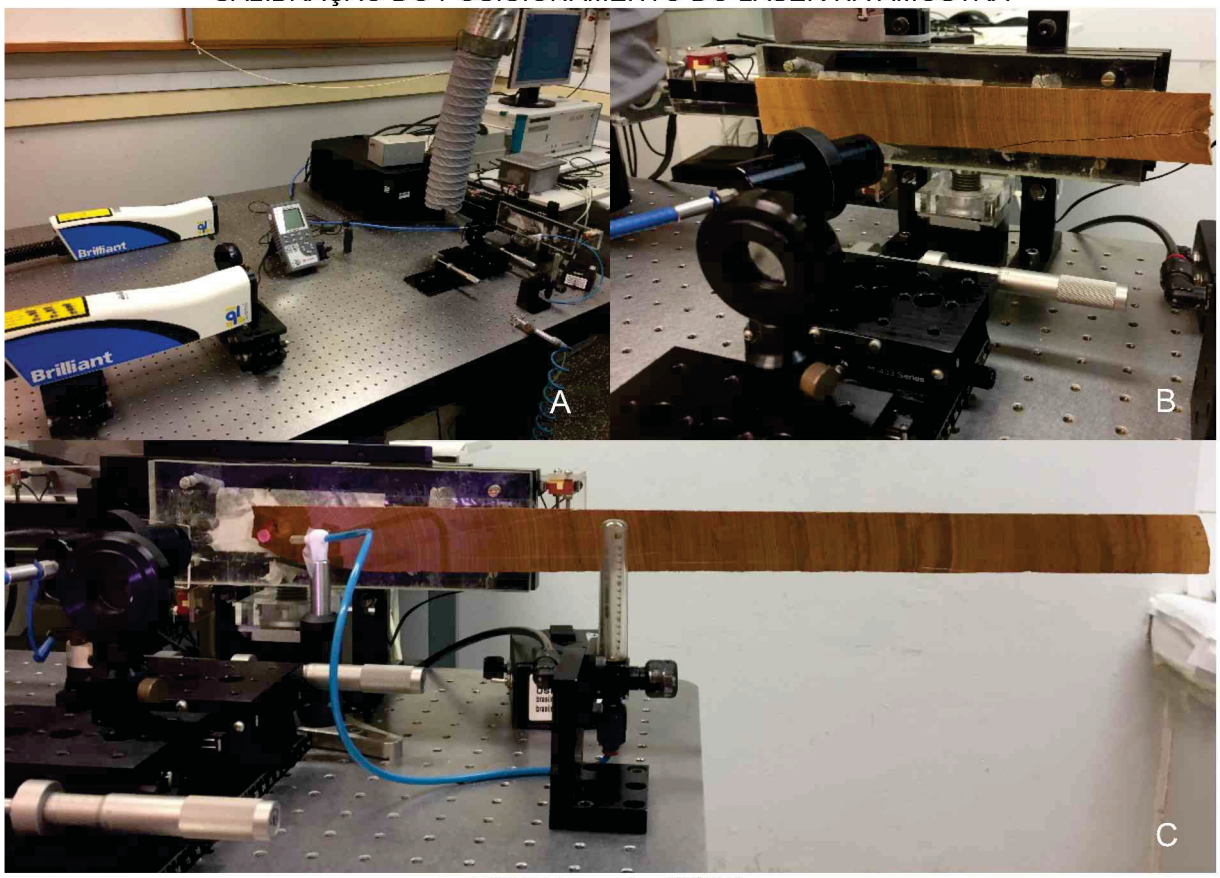
O sistema LIBS utilizado para a análise dos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron* é o mesmo descrito e utilizado por Nunes (2010) e Chagas (2013): um laser Q-Switched Nd:YAG (Brilliant, Quantel) operando no comprimento de onda fundamental (1064 nm), energia máxima de 365 ± 3 mJ, 5 ns de duração (FWHM), taxa de repetição de 10 Hz e espectrômetro modelo ESA3000 (LLA Instruments), sistema óptico com montagem Echelle e detector ICCD. Com este espectrômetro é possível adquirir sinais do espectro de emissão na região entre 200 e 780 nm, com poder de resolução entre 10000 e 20000 (região espectral do visível e do ultravioleta). Os pulsos do laser foram focalizados nas amostras por lentes de sílica fundida (2,54 cm de diâmetro e distância focal de 20 cm) e a emissão do plasma foi focalizada (lentes plano-convexas convergentes dede sílica fundida com distancia focal de 50 e 80 mm) na entrada da fibra óptica (1,5 m, 600 µm).

As condições de operação, validadas anteriormente (CHAGAS, 2013), foram de 30 pulsos por ponto, 230 mJ por pulso, 50 J/cm² de fluência, 17,5 cm de distância entre a lente de focalização do laser e a amostra, 2500 de amplificação, 2 µs de atraso e 5 µs de integração, em atmosfera de argônio. A energia dos pulsos do laser foi monitorada com um detector de energia equipado com sensor piroelétrico, FieldMax II-P Coherent (NUNES, 2010; CHAGAS 2013).

Os raios selecionados em cada uma das 8 árvores foram fixados em um porta-amostras que integra o sistema LIBS, com deslocamento manual em dois eixos (FIGURA 3.2). Como as amostras radiais possuem diferentes idades e foi estabelecido um intervalo de 5 anos (anéis) para cada ponto amostral, foram analisados de 30 a 69 pontos por raio. Em cada um destes pontos, foram realizados 3 disparos de 30 pulsos cada.

Os sinais de emissão dos elementos químicos foram analisados com uso do software *ESAWIN*, sendo, posteriormente, corrigidos conforme a metodologia utilizada por Nunes (2010), Carvalho (2011) e Chagas (2013), os quais são apresentados na (TABELA 3.1).

FIGURA 3.2 - SISTEMA LIBS (ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ÓPTICA EM PLASMA INDUZIDO POR LASER). A) SISTEMA COMPOSTO Nd: YAG LASER Brilliant, MEDIDOR DE ENERGIA, ESPECTOMETRO Echelle, TELESCÓPIO, PORTA AMOSTRAS, FLUXO DE ARGÔNIO E LENTE PLANO-CONVEXA; B) AMOSTRA FIXADA NO SUPORTE COM DESLIZE NOS DOIS EIXOS; C) CALIBRAÇÃO DO POSICIONAMENTO DO LASER NA AMOSTRA



FONTE: o autor (2017).

TABELA 3.1 - ELEMENTOS QUÍMICOS IDENTIFICADOS E LINHAS DE EMISSÃO SELECIONADAS

	Ca	Mg	P	B	Fe	Mn	Zn	Si	Al
Linha de emissão (nm)	315.887	285.213	213.619	249.773	259.942	257.61	206.2	288.161	308.216

FONTE: o autor (2017).

Ainda que com LIBS não seja possível determinar a concentração dos elementos químicos nos materiais analisados, a verificação da intensidade de emissão em uma linha do espectro eletromagnético é uma medida indireta deste valor. Assim, pode-se dizer que baixas intensidades de emissão indicam baixas frações de massa destes elementos.

Para verificar a variação dos dados ao longo do tempo, foi realizada uma Analise de Variância (ANOVA) de medidas repetidas para cada um dos elementos químicos identificados com LIBS. Esta análise considera um delineamento onde

múltiplas observações são realizadas em um único indivíduo ou réplica (GOTELLI; ELLISON, 2011). Neste caso, as árvores, por ambiente, foram consideradas réplicas. Além disso, foram realizadas correlações de *Spearman*, visando verificar a correlação entres os dados de cada elemento químico nos indivíduos de encosta e planície. A ANOVA de medidas repetidas foi executada através do software *OriginPro 8,* enquanto que as correlações de Spearman foram realizadas com o software *Statgraphics Centurion XVI.*

Análises de agrupamentos foram realizadas buscando verificar se as intensidades de emissão dos elementos químicos identificados se distinguem, assim como as árvores, em planície e encosta. Para estas análises foram considerados o método do vizinho mais próximo e uma distância Euclidiana quadrática. O ponto de corte dos agrupamentos realizados buscou preservar, pelo menos, 50% das ligações, considerando-se a maior distância verificada em todas as análises, para que assim todas os agrupamentos seguissem o mesmo critério de corte. A decisão do ponto de corte de um dendrograma é, muitas vezes, dependente de um critério arbitrário, cabendo ao pesquisador analisar, em função da natureza dos dados e com a homogeneidade dos grupos e do número de grupos (MCCUNE; GRACE, 2002). As análises de agrupamento foram realizadas no software *Statgraphics Centurion XVI.*

As demais correlações e análises de agrupamento testadas ao longo deste trabalho seguiram os mesmos critérios estabelecidos nos testes anteriores.

3 RESULTADOS

Através da análise do conteúdo químico das amostras dos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron* com LIBS, foi possível identificar 9 elementos químicos com bons sinais de intensidade de emissão. Na planície, as intensidades de emissão estão ordenadas da maior taxa de emissão para a menor da seguinte maneira: Mg> Fe> Ca> Si> Zn> Al> Mn> B> P. Na encosta o comportamento é similar, à exceção de uma inversão na intensidade de emissão de Ca e Si: Mg> Fe> Si> Ca> Zn> Al> Mn> B> P.

As variações verificadas ao longo do tempo para Ca indicam que há diferença significativa entres os dados, sendo que na encosta verifica-se uma mudança mais abrupta no padrão de emissão a partir de 1855 (FIGURA 3.3). A correlação entre os dados de intensidade de emissão para Ca na planície e na encosta é baixa e sem significância estatística (r= 0.129; p=0.3058).

Os dados de intensidade de emissão de Mg indicam uma inversão de picos no ano de 1835. Enquanto na planície esse período (ano) representa o ponto de menor emissão, na encosta é o de maior emissão (FIGURA 3.3). Aparentemente, há uma tendência, ainda que sutil, no aumento de intensidade de emissão de Mg no sentido medula-casca, para as árvores de encosta. Verifica-se que nos dois ambientes a variação dos dados foi significativa.

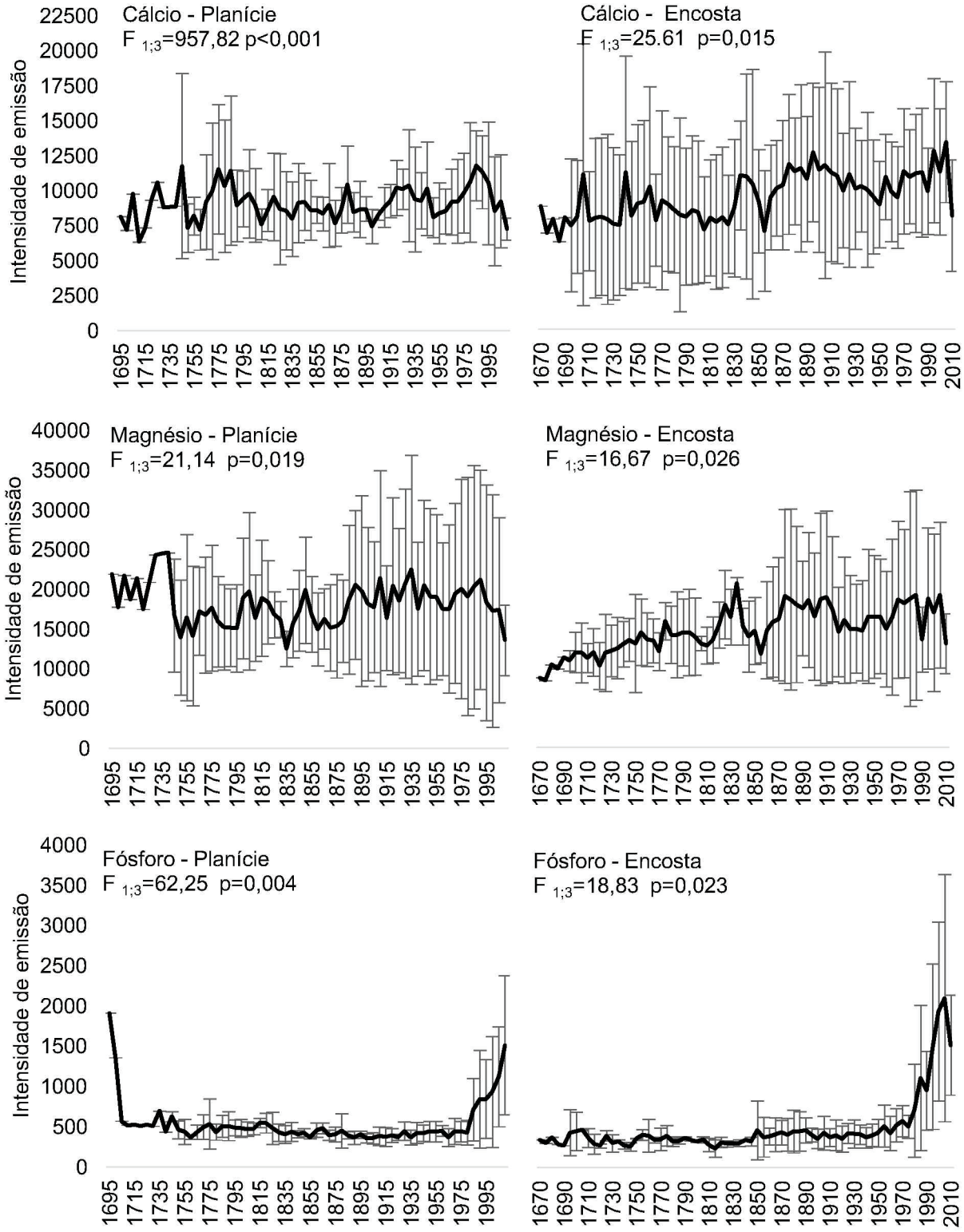
Dentre os macronutrientes, P é o que apresenta o menor valor de intensidade de emissão, nas duas condições ambientais avaliadas (FIGURA 3.3). Os dados apresentam pouca variação ao longo do tempo, estatisticamente significativa. Contudo, a partir de 1975 evidencia-se um aumento considerável na intensidade de emissão de fósforo.

Tanto para os dados de magnésio quanto aos de fósforo, as séries temporais de planície e encosta não possuem correlações significativas entre elas (r= -0.085, p= 0.4979 e r=0.0097, p=0.9386), respectivamente.

Os dados de intensidade de emissão de ferro apresentam comportamento contraditório entre os ambientes de planície e encosta (FIGURA 3.4). Enquanto na planície, o ano de 1835 foi um dos de menor intensidade, na encosta este foi um dos maiores. Neste caso, verifica-se uma correlação negativa e significativa entre os dados de Fe entre planície e encosta (r=-0.314, p= 0.013). Também na planície é

possível identificar picos de menor intensidade ocorrendo em intervalos de, aproximadamente, 40 anos entre 1795 e 1950.

FIGURA 3.3 - VARIAÇÃO TEMPORAL DOS MACRONUTRIENTES IDENTIFICADOS POR LIBS NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspisdosperma polyneuron*, EM AMBIENTE DE PLANÍCIE E ENCOSTA. AS LINHAS DE AMPLITUDE REPRESENTAM O DESVIO PADRÂO.



FONTE: o autor (2017).

Há uma tendência do aumento da intensidade de emissão de manganês, tanto na planície quanto na encosta. Esse comportamento crescente, no sentido medula-casca, inicia na encosta por volta de 1810 e na planície próximo a 1835 (FIGURA 3.4). A variação dos dados ao longo do tempo é estatisticamente significativa em cada um dos ambientes, havendo correlação significativa entre os dados (r= 0.4845, p< 0.001).

Os dados de silício ao longo do tempo, tanto na planície quanto na encosta apontam para uma tendência crescente, no sentido medula-casca, porém de maneira mais discreta que a do manganês (FIGURA 3.4). A variação dos dados é estatisticamente significativa, mas não a correlação entre os dados de encosta e planície (r= -0.0268, p= 0.8316).

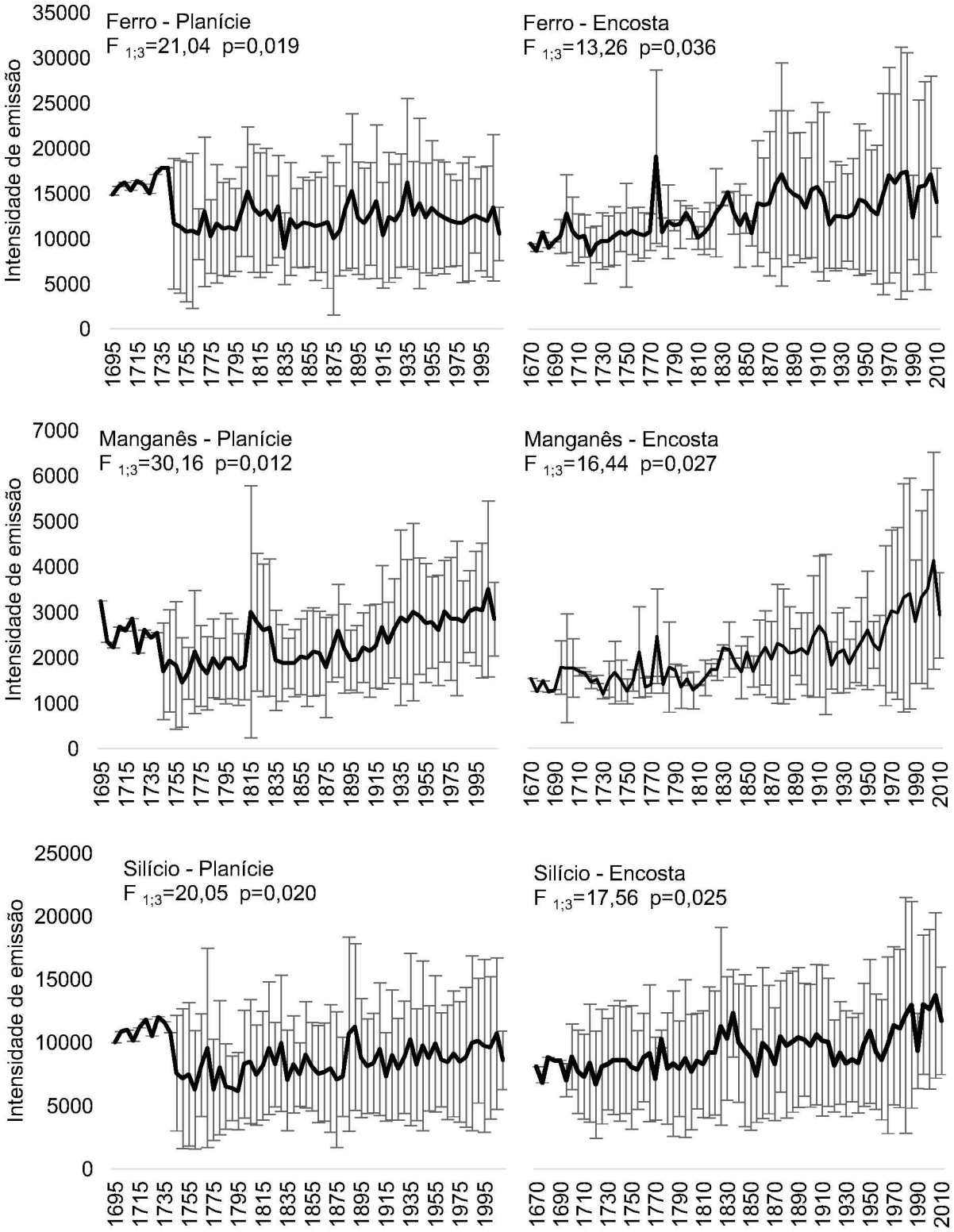
Boro apresenta uma tendência de aumento na intensidade de emissão no sentido medula-casca em ambas as situações. Na planície esse comportamento é verificado a partir de 1755, enquanto na encosta o ano de 1855 parece ter sido determinante na mudança do padrão de emissão (FIGURA 3.5). Repetindo o comportamento verificado com a série temporal de Fe na planície, há uma recorrência de picos a cada 40 anos aproximadamente, desde 1755. A variação verificada nos dados ao longo do tempo é estatisticamente significativa nas duas situações e há correlação significativa entre os dados de planície e encosta para este elemento químico (r= 0.4496, p<0.001).

Zinco é o elemento que apresenta a maior variação de intensidade de emissão na planície (FIGURA 3.5). Verifica-se uma queda considerável na emissão média do elemento em ambos os ambientes, seguindo-se com uma tendência de redução nesta intensidade no sentido medula-casca. Há uma forte correlação entre os dados verificados na planície e na encosta (r= 0.731, p< 0.001). Além disso, a variação dos dados verificada ao longo da série temporal é estatisticamente significativa.

O elemento-traço alumínio apresenta tendência sutil de aumento da intensidade de emissão, no sentido medula-casca, nos dois ambientes analisados (FIGURA 3.5). Em ambos os casos, o desvio padrão é consideravelmente alto, desde o início das séries temporais. A variação dos dados é significativa e não há correlação entre os dados de planície e encosta para este elemento.

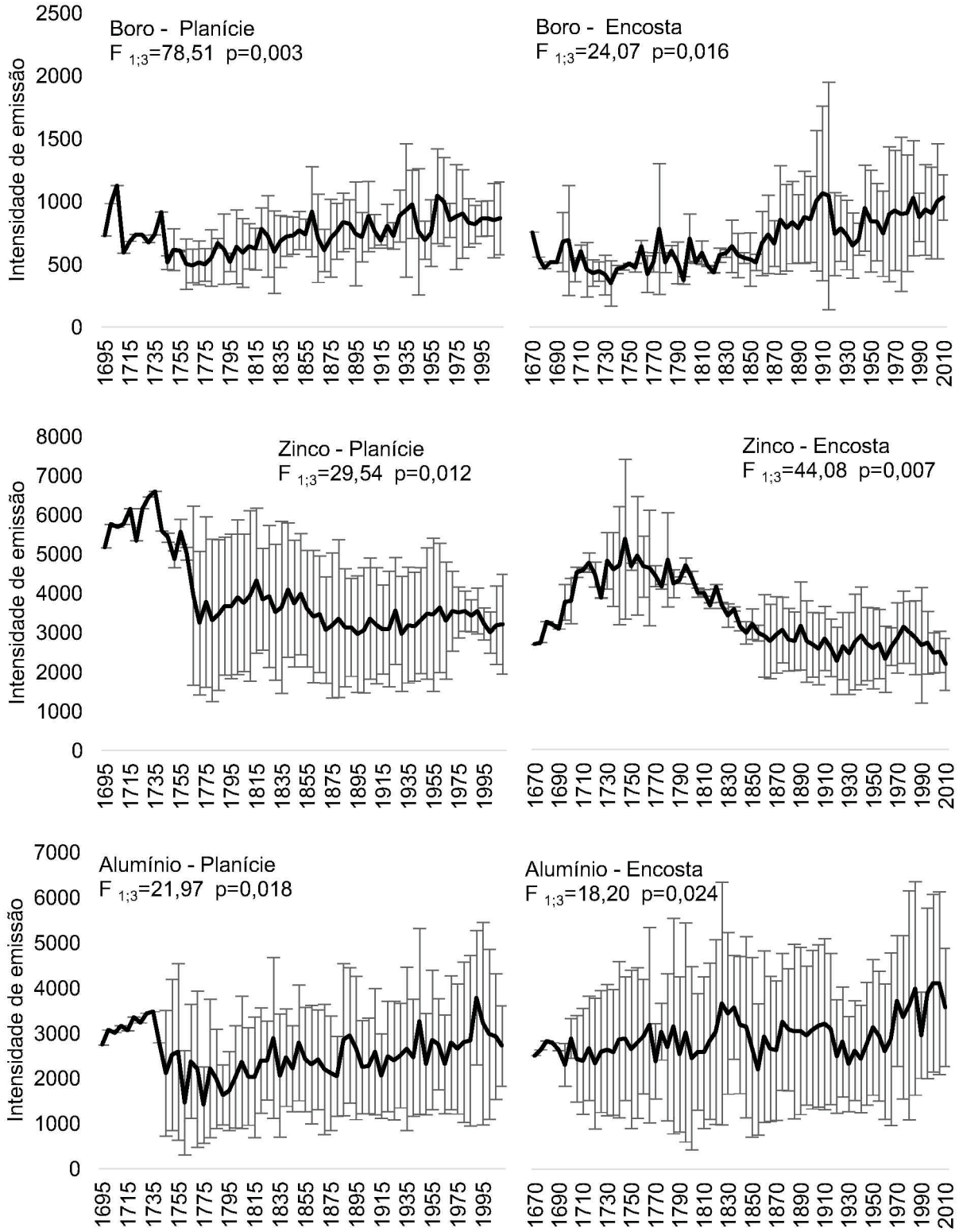
De modo geral, a intensidade de emissão dos elementos químicos analisados não diferencia os ambientes geomorfológicos considerados. Não há uma clara formação de grupos de planície e encosta, como a distribuição das árvores sugere.

FIGURA 3.4 - VARIAÇÃO TEMPORAL DOS MICRONUTRIENTES Fe, Mn e Si IDENTIFICADOS POR LIBS NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspisdosperma polyneuron*, EM AMBIENTE DE PLANÍCIE E ENCOSTA. AS LINHAS DE AMPLITUDE REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO



FONTE: o autor (2017).

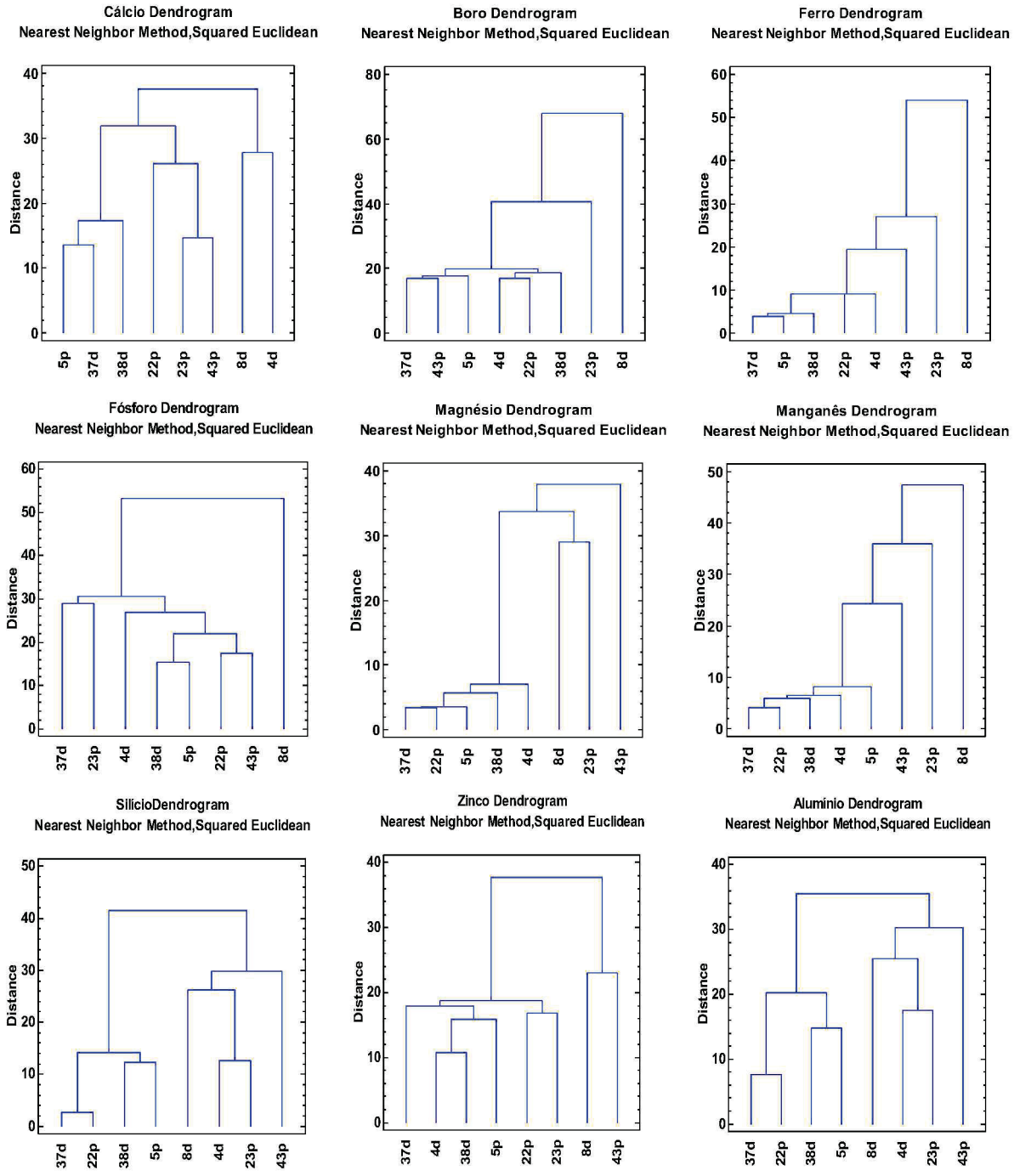
FIGURA 3.5 - VARIAÇÃO TEMPORAL DOS MICRONUTRIENTES B, Zn e Al IDENTIFICADOS POR LIBS NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspisdosperma polyneuron*, EM AMBIENTE DE PLANÍCIE E ENCOSTA. AS LINHAS DE AMPLITUDE REPRESENTAM O DESVIO PADRÃO.



FONTE: o autor (2017).

Verifica-se que pelo menos uma árvore apresenta comportamento distinto para mais da metade dos elementos considerados na análise de agrupamentos (FIGURA 3.6). Silício é o único elemento que sugere a formação de dois grupos, segundo as premissas anteriormente mencionadas, mas não há uma separação entre ambientes.

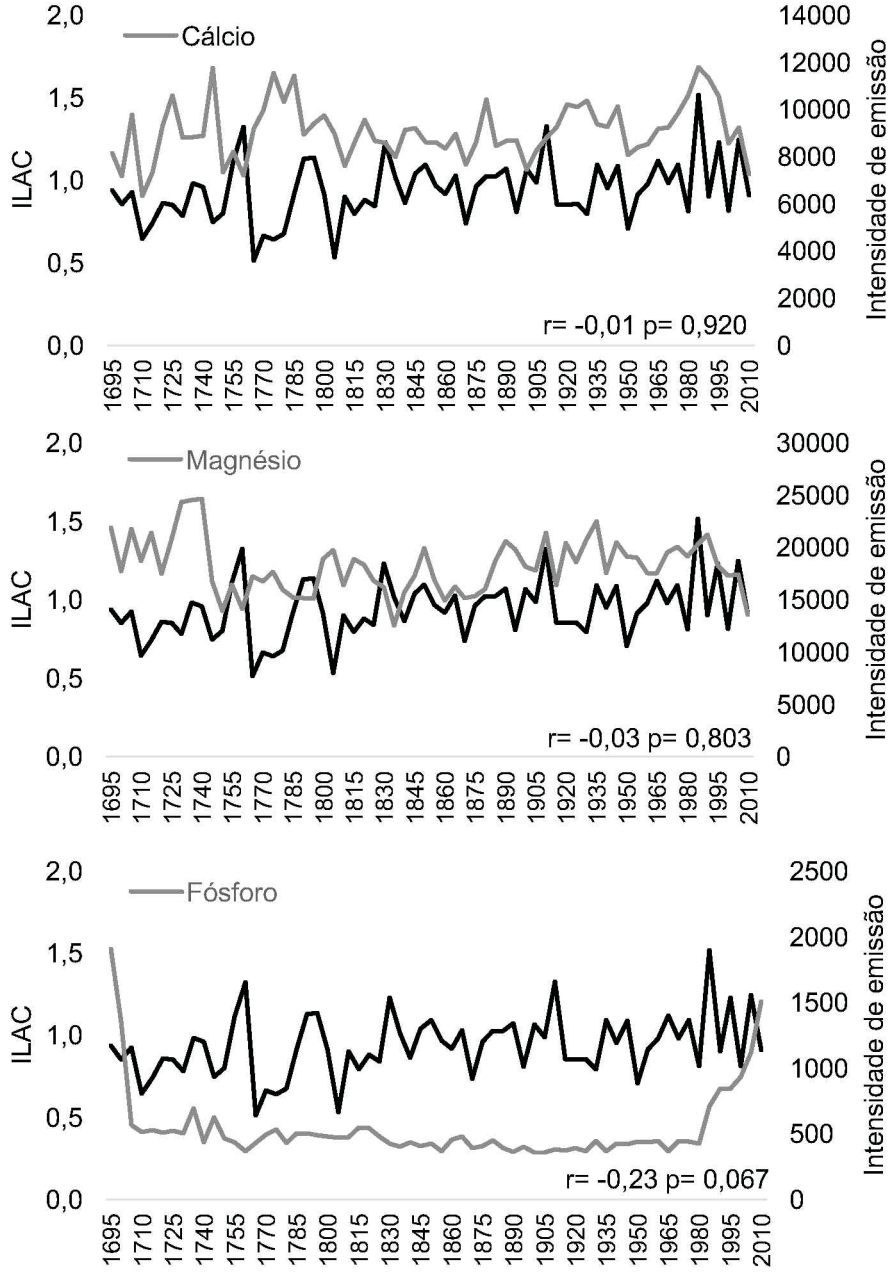
FIGURA 3.6 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS A PARTIR DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS ELEMENTOS QUÍMICOS IDENTIFICADOS NOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Aspidosperma polyneuron* EM AMBIENTE DE PLANÍCIE E ENCOSTA.



FONTE: o autor (2017).

A análise das séries temporais de crescimento, a partir do valor dos anéis de crescimento a cada 5 anos, e das séries temporais dos macronutrientes identificados nas 4 amostras do lenho de *Aspidosperma polyneuron* da planície, indica que de modo geral não há correlação significativa entre os dados (FIGURA 3.7).

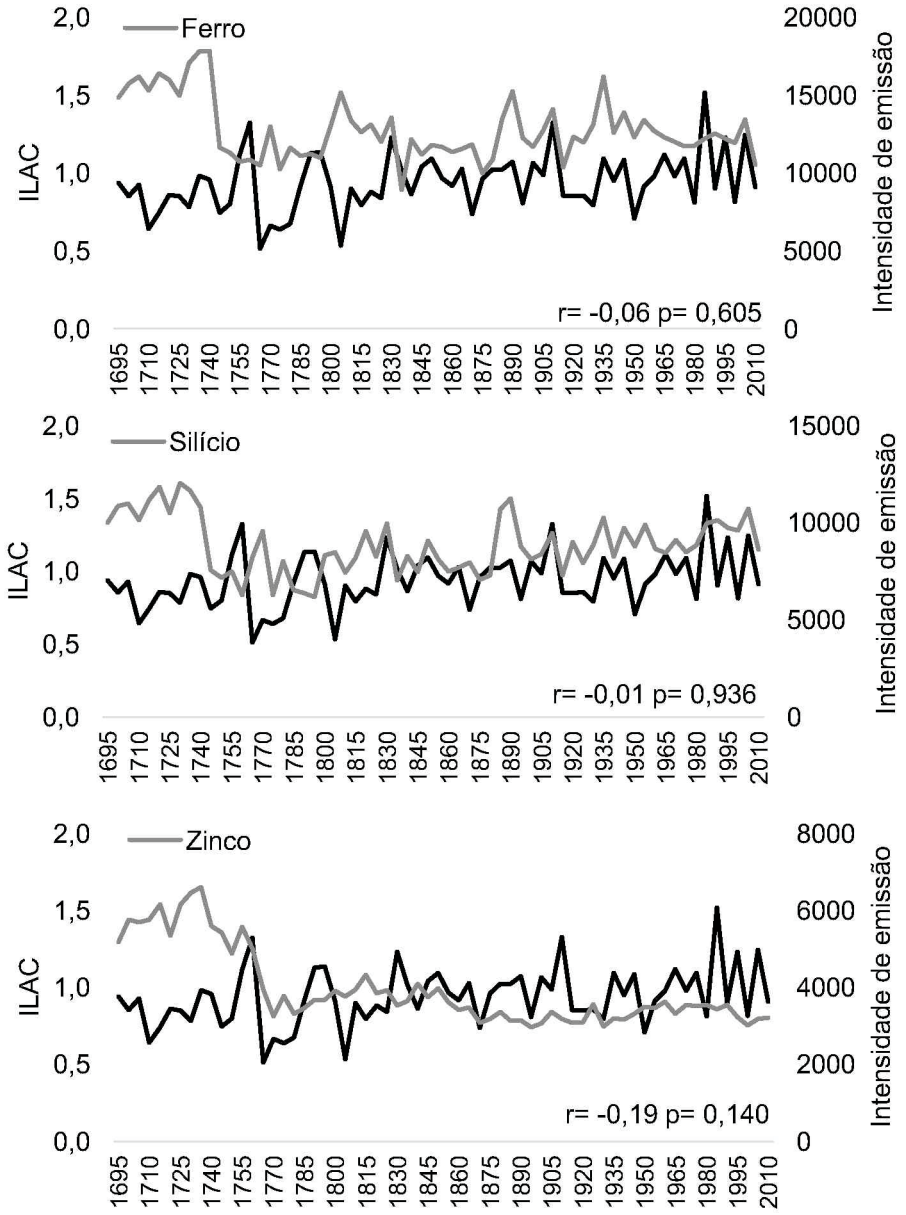
FIGURA 3.7 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO ÍNDICE DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (ILAC) E DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS MACRONUTRIENTES IDENTIFICADOS POR LIBS EM ÁRVORES DE PLANÍCIE.



FONTE: o autor (2017).

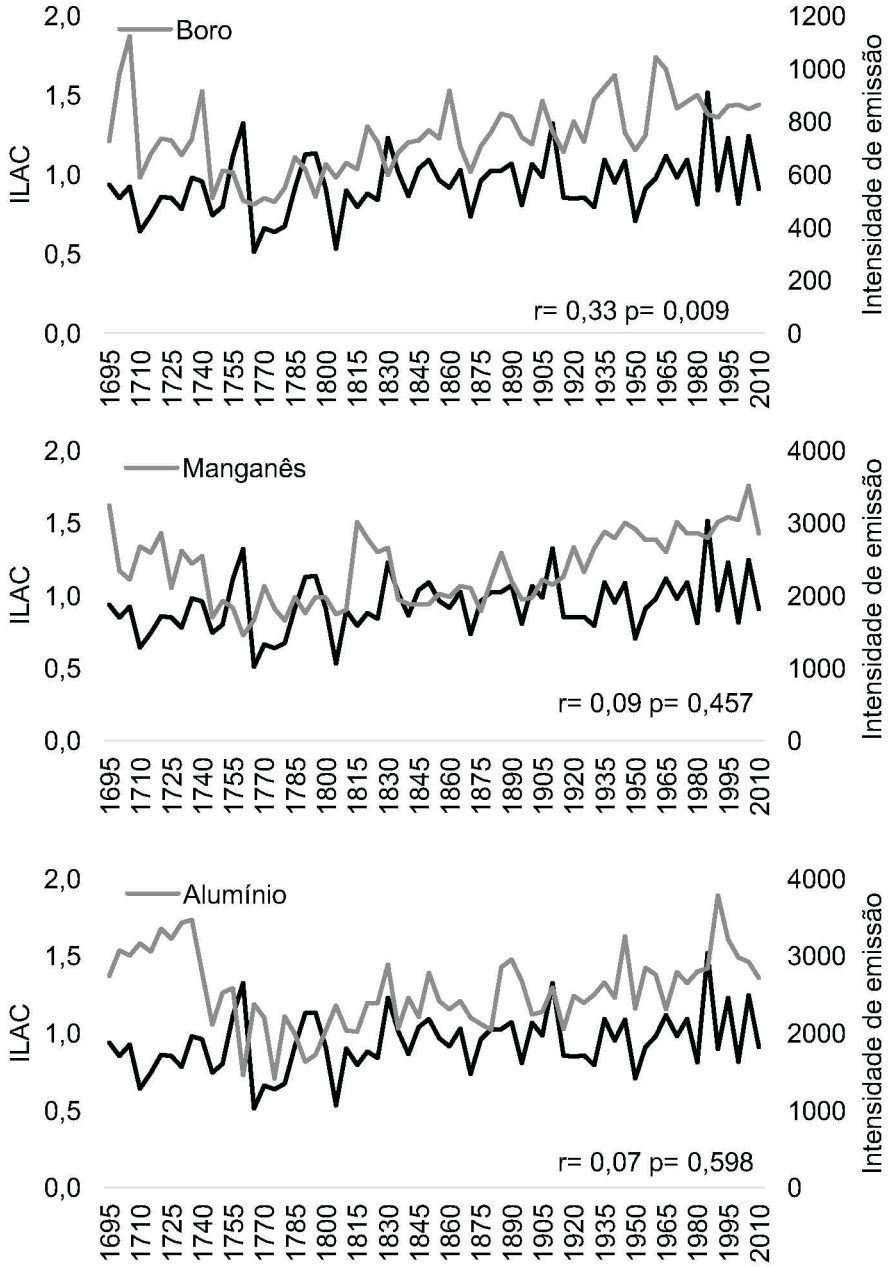
As correlações com micronutrientes (FIGURA 3.8) nas amostras de planície também não indicam correlações estatisticamente significativas entre os dados, à exceção é observada para o elemento boro (FIGURA 3.9) que possui correlação positiva e significativa com o índice de largura dos anéis de crescimento. Apesar de não haver correlação estatisticamente significativa entres os dados, há muitos pontos sincrônicos entre as séries temporais e de elementos químicos analisados.

FIGURA 3.8 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO ÍNDICE DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (ILAC) E DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS MICRONUTRIENTES Fe, Si E Zn IDENTIFICADOS POR LIBS EM ÁRVORES DE PLANÍCIE.



FONTE: o autor (2017).

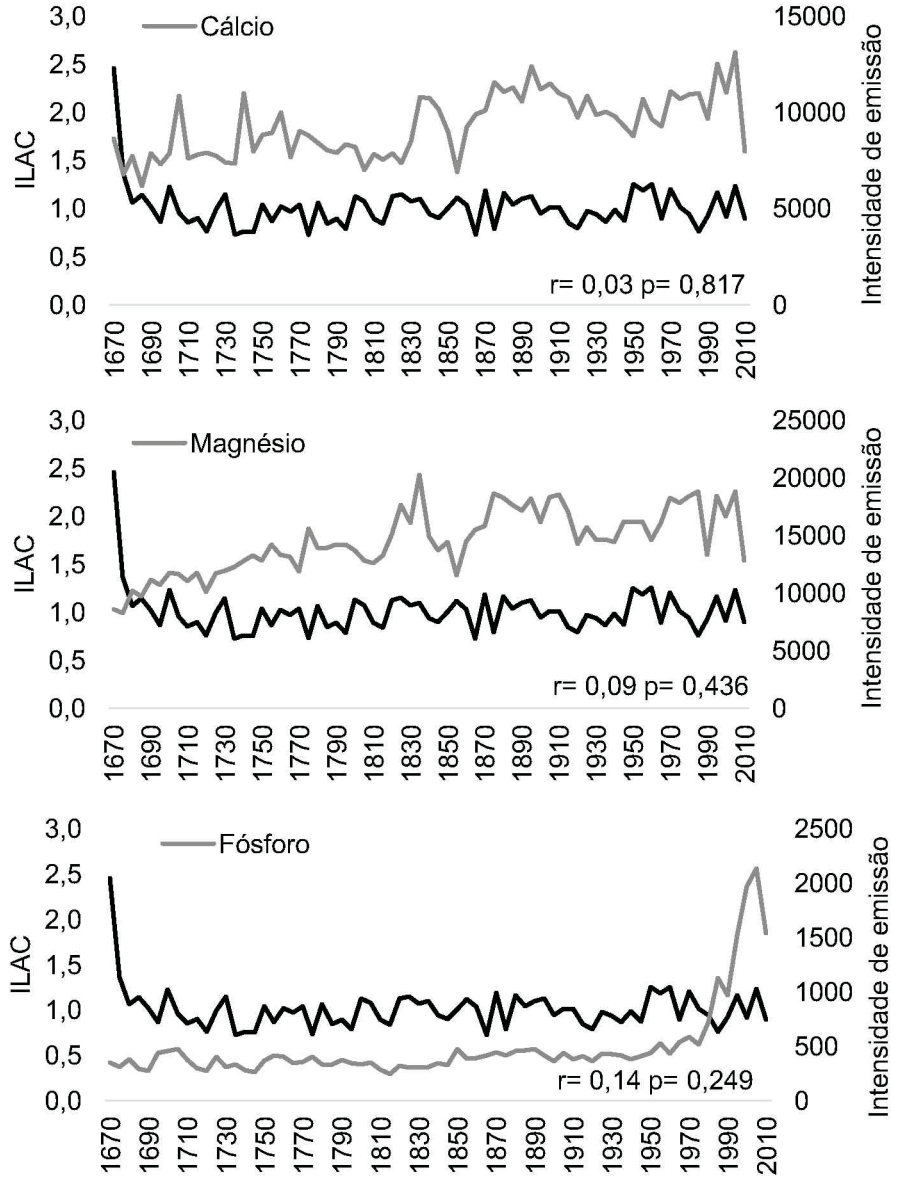
FIGURA 3.9 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO ÍNDICE DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (ILAC) E DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS MICRONUTRIENTES B, Mn E Al IDENTIFICADOS POR LIBS EM ÁRVORES DE PLANÍCIE.



FONTE: o autor (2017).

Na encosta, verifica-se que os pontos de sincronismos entre as séries temporais de crescimento e elementos químicos, tanto de macro quanto micronutrientes, são recorrentes em diferentes momentos de desenvolvimento das árvores (FIGURAS 3.10, 3.11, 3.12).

FIGURA 3.10 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO ÍNDICE DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (ILAC) E DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS MACRONUTRIENTES IDENTIFICADOS POR LIBS EM ÁRVORES DE ENCOSTA.

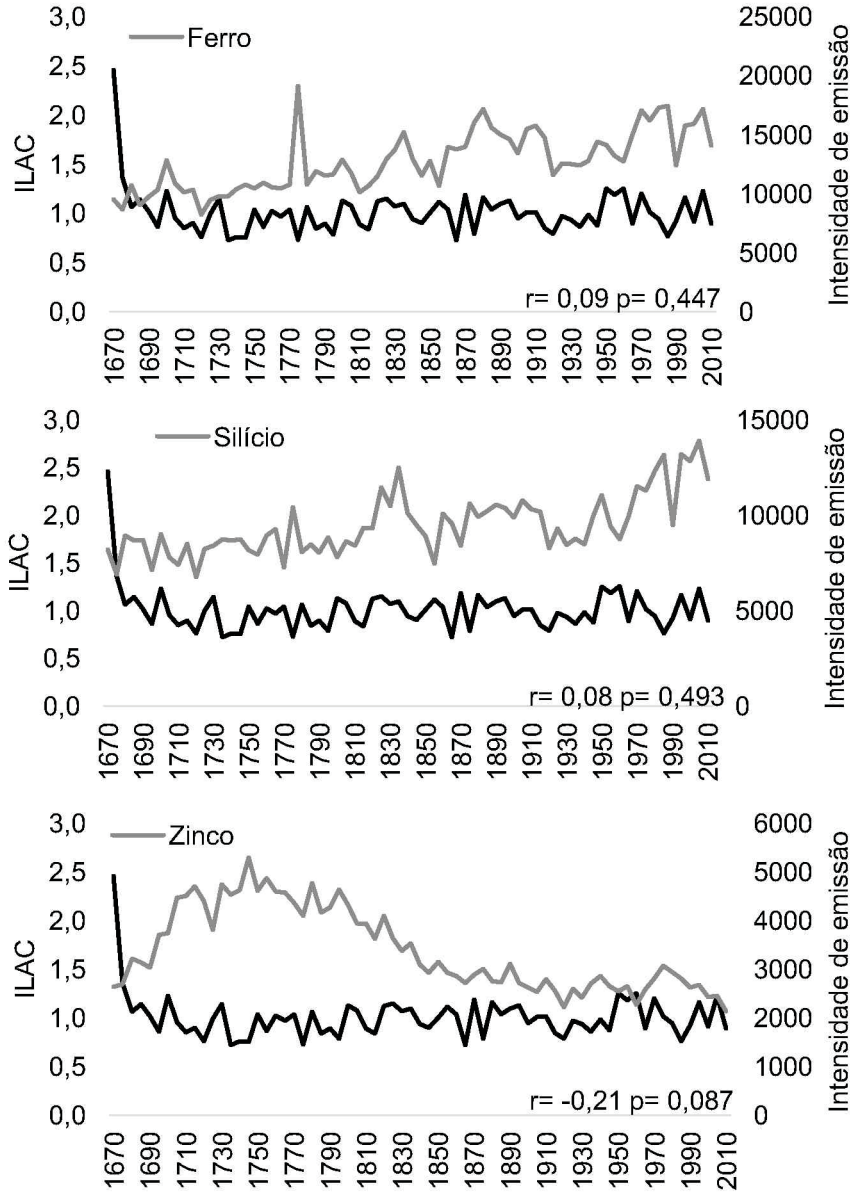


FONTE: o autor (2017).

As correlações realizadas com as amostras do lenho de árvores da encosta não indicam significância estatística para nenhum dos elementos químicos analisados. De maneira geral, essas correlações são fracas, nulas ou negativas, ainda que a tendência das curvas seja similar.

Zinco é o elemento químico que se destaca por apresentar a mais forte correlação negativa dentre os macros e micronutrientes analisados (FIGURA 3.11).

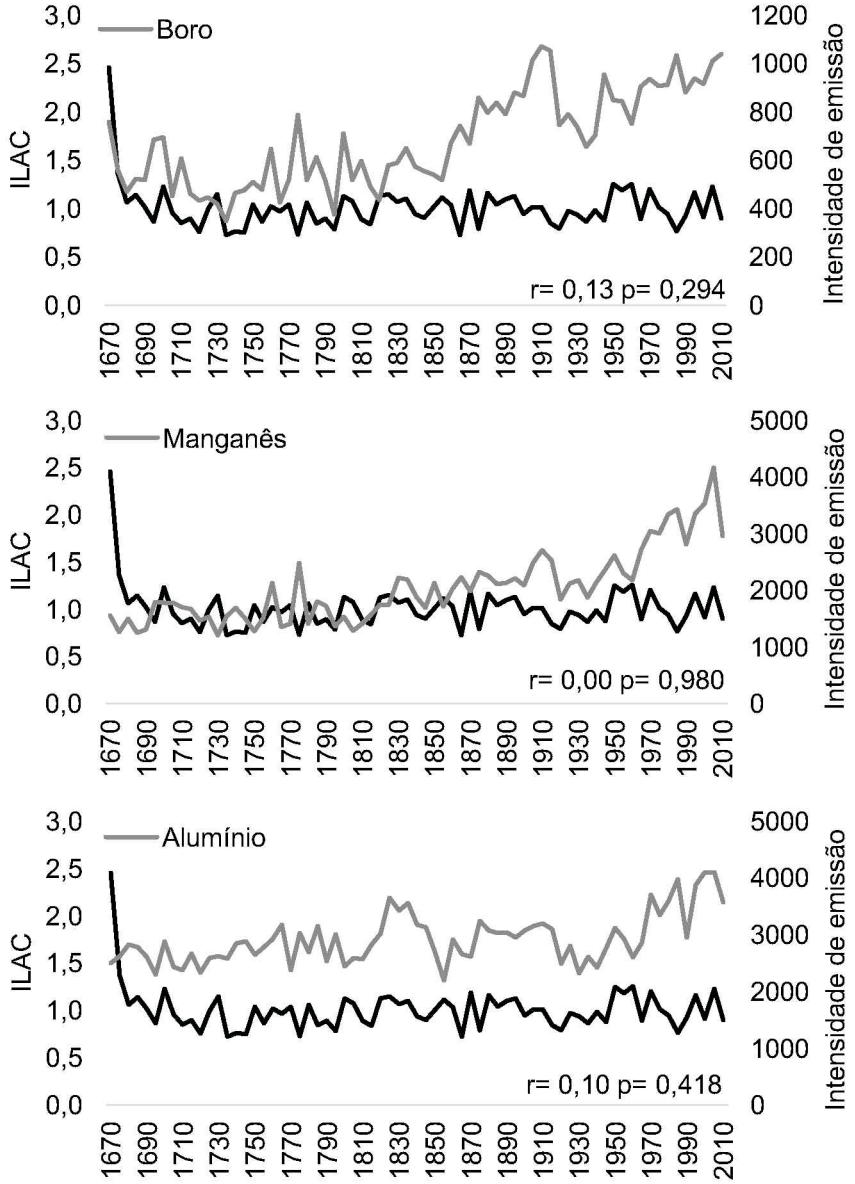
FIGURA 3.11 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO ÍNDICE DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (ILAC) E DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS MICRONUTRIENTES Fe, Si E Zn IDENTIFICADOS POR LIBS EM ÁRVORES DE ENCOSTA.



FONTE: o autor (2017).

Boro que na planície apresentou correlação positiva e significativa com a serie temporal de crescimento, não repete, por outro lado, o mesmo comportamento nos indivíduos da encosta (FIGURA 3.12), ainda que sejam verificadas, juntamente com P (FIGURA 3.10), as maiores correlações positivas dentre os elementos analisados na encosta.

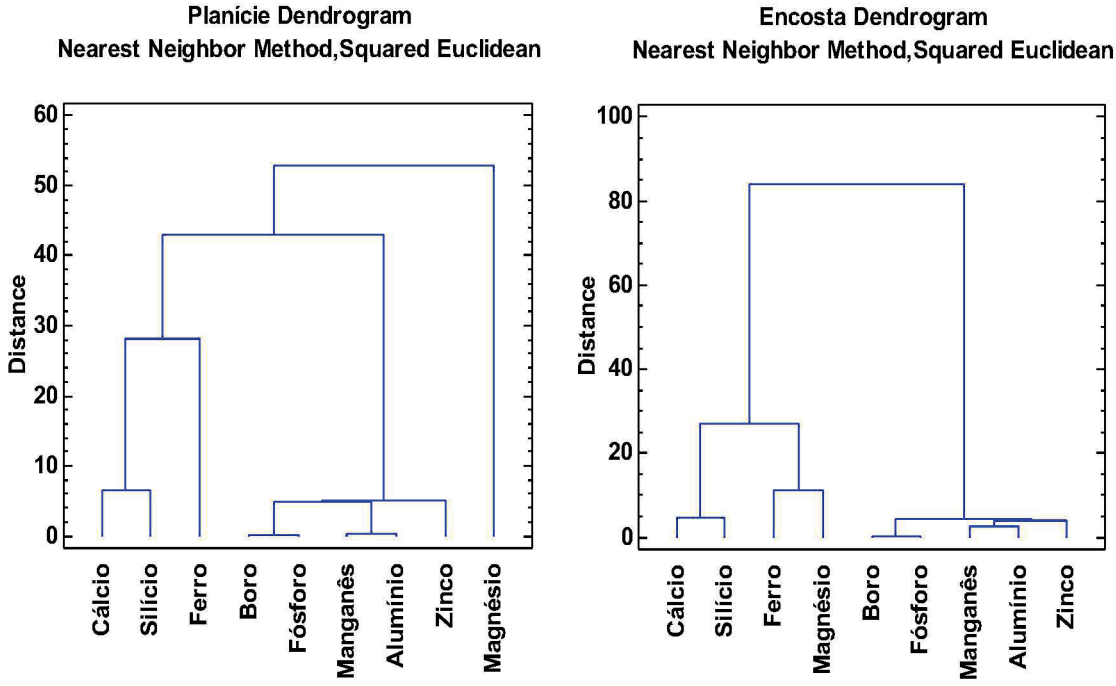
FIGURA 3.12 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DAS SÉRIES TEMPORAIS DO ÍNDICE DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO (ILAC) E DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS MICRONUTRIENTES B, Mn E Al IDENTIFICADOS POR LIBS EM ÁRVORES DE ENCOSTA.



FONTE: o autor (2017).

Na planície, magnésio é o único elemento que apresenta comportamento distinto e isola-se dos demais nutrientes. Considerando a premissa de manutenção de pelo menos 50% da ligação utilizada na análise de agrupamento, não há formação de outros grupos que respeitem a linha de corte (FIGURA 3.13). Já na encosta, a análise evidencia um grupo formado por elementos de maior intensidade de emissão (Mg> Fe> Si> Ca) e outro com elementos de menor intensidade de emissão (Zn> Al> Mn> B> P).

FIGURA 3.13 - ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS A PARTIR DA INTENSIDADE DE EMISSÃO DOS ELEMENTOS QUIMICOS IDENTIFICADOS POR LIBS NOS ANEIS DE CRESCIMENTO DE *Aspidosperma polyneuron* EM AMBIENTES DE PLANÍCIE E ENCOSTA.



FONTE: o autor (2017).

A partir da análise de correlação de *Spearman* entre os dados de índice de largura dos anéis de crescimento, variáveis ambientais e climáticas e os dados de intensidade de emissão dos elementos identificados por LIBS, foi possível identificar que na planície há correlação significativa entre os índices de crescimento e o elemento químico boro. Ainda que não apresente correlação significativa, boro tem uma forte correlação negativa com os dados de temperatura média (TABELA 3.2). Por outro lado, silício e alumínio, apresentam correlações positivas e estatisticamente significativas com os dados de temperatura média.

Verifica-se, também, fortes correlações entre os elementos químicos analisados, com destaque para as correlações de Fe - Si e Al – Si.

Para os dados de encosta (TABELA 3.3), não se verifica correlação dos índices de crescimento e a intensidade de emissão dos elementos químicos. Entretanto, foram identificadas correlações entre os dados químicos e variáveis climáticas: manganês, fósforo, silício e alumínio apresentaram forte correlação com dados de temperatura média; zinco apresentou correlação negativa com dados de *El niño*.

TABELA 3.2 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE *SPEARMAN* ENTRE OS DADOS DOS ÍNDICES DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS (pp = PRECIPITAÇÃO; °C Méd= TEMPERATURA MÉDIA; SOI= ÍNDICE DE OSCILAÇÃO DO SUL; °C Máx= TEMPERATURA MÁXIMA; °C Mín= TEMPERATURA MÍNIMA; C. Máx = COTA MÁXIMA; C. Mín= COTA MÍNIMA) E ELEMENTOS QUÍMICOS (Ca= CÁLCIO; B= BORO; Fe= FERRO; Mg= MAGNÉSIO; Mn= MANGANÊS; P= FÓSFORO; Si= SILÍCIO; Zn= ZINCO; Al= ALUMÍNIO) IDENTIFICADOS COM LIBS EM ÁRVORES *Aspidosperma polyneuron* EM PLANÍCIE

	Planície	pp	°C Méd	El niño	SOI	°C Máx	°C Mín	C. Máx	C. Mín	Ca	B	Fe	Mg	Mn	P	Si	Zn	Al
Ca	-0.013	0.451	0.426	0.077	-0.091	0.107	-0.464	0.086	0.143									
(p)	0.920	0.119	0.202	0.695	0.632	0.793	0.255	0.848	0.749									
B	**0.330**	0.363	-0.638	0.238	-0.235	-0.429	-0.179	-0.143	-0.143	0.096								
(p)	**0.009**	0.209	0.056	0.225	0.215	0.294	0.662	0.749	0.749	0.449								
Fe	-0.065	-0.242	0.462	-0.064	-0.085	0.321	0.214	0.086	0.143	-0.055	**0.316**							
(p)	0.605	0.402	0.166	0.746	0.654	0.431	0.600	0.848	0.749	0.661	**0.012**							
Mg	-0.032	0.297	0.067	-0.213	0.148	-0.071	-0.321	0.371	0.371	0.217	**0.396**	**0.724**						
(p)	0.803	0.304	0.841	0.277	0.433	0.861	0.431	0.406	0.406	0.085	**0.002**	**0.000**						
Mn	0.094	0.253	0.407	-0.137	0.161	0.000	0.464	0.257	-0.143	0.097	**0.570**	**0.446**	**0.455**					
(p)	0.457	0.381	0.222	0.484	0.396	1.000	0.255	0.565	0.749	0.440	**0.000**	**0.000**	**0.000**					
P	-0.231	-0.242	0.492	-0.290	0.338	0.214	0.643	-0.086	-0.200	0.147	-0.032	0.199	0.078	**0.298**				
(p)	0.067	0.402	0.140	0.139	0.073	0.600	0.115	0.848	0.655	0.242	0.798	0.115	0.535	**0.018**				
Si	-0.010	-0.110	**0.839**	-0.307	0.109	0.321	0.214	0.086	0.143	0.014	**0.456**	**0.854**	**0.737**	**0.607**	**0.283**			
(p)	0.936	0.703	**0.012**	0.117	0.563	0.431	0.600	0.848	0.749	0.914	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.025**			
Zn	-0.186	0.445	-0.280	-0.243	0.147	-0.286	-0.143	0.543	0.543	-0.128	**-0.309**	0.225	0.124	-0.191	**0.426**	0.116		
(p)	0.140	0.123	0.402	0.215	0.436	0.484	0.726	0.225	0.225	0.312	**0.014**	0.075	0.326	0.130	**0.001**	0.356		
Al	0.066	0.143	**0.784**	-0.321	0.112	0.000	0.000	0.600	0.029	-0.025	**0.480**	**0.638**	**0.593**	**0.582**	**0.280**	**0.873**	0.139	
(p)	0.598	0.621	**0.019**	0.102	0.554	1.000	1.000	0.180	0.949	0.844	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.026**	**0.000**	0.270	

FONTE: o autor (2017).

TABELA 3.3 - ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE *SPEARMAN* ENTRE OS DADOS DOS ÍNDICES DE LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO, VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E AMBIENTAIS (pp = PRECIPITAÇÃO; °C Méd= TEMPERATURA MÉDIA; SOI= ÍNDICE DE OSCILAÇÃO DO SUL; °C Máx= TEMPERATURA MÁXIMA; °C Mín= TEMPERATURA MÍNIMA; C. Máx = COTA MÁXIMA; C. Mín= COTA MÍNIMA) E ELEMENTOS QUÍMICOS (Ca= CÁLCIO; B= BORO; Fe= FERRO; Mg= MAGNÉSIO; Mn= MANGANÊS; P= FÓSFORO; Si= SILÍCIO; Zn= ZINCO; Al= ALUMÍNIO) IDENTIFICADOS COM LIBS EM ÁRVORES *Aspidosperma polyneuron* EM ENCOSTA

	Encosta	pp	°C méd	El niño	SOI	°C Máx	°C Mín	C. Máx	C. Mín	Ca	B	Fe	Mg	Mn	P	Si	Zn	Al
Ca	0.028	0.253	0.541	0.065	-0.255	0.464	0.000	-0.314	-0.600									
(p)	0.817	0.381	0.105	0.739	0.178	0.255	1.000	0.482	0.180									
B	0.127	-0.154	0.468	-0.109	0.178	0.714	0.143	-0.714	-0.714	**0.659**								
(p)	0.294	0.594	0.160	0.580	0.345	0.080	0.726	0.110	0.110	**0.000**								
Fe	0.092	0.039	0.274	-0.311	0.111	0.286	-0.536	-0.771	-0.200	**0.726**	**0.793**							
(p)	0.447	0.894	0.412	0.113	0.558	0.484	0.189	0.085	0.655	**0.000**	**0.000**							
Mg	0.094	-0.006	0.565	-0.315	0.025	0.571	-0.107	-0.486	-0.486	**0.768**	**0.693**	**0.906**						
(p)	0.436	0.985	0.090	0.108	0.896	0.162	0.793	0.277	0.277	**0.000**	**0.000**	**0.000**						
Mn	0.003	0.055	**0.669**	-0.284	0.234	0.464	-0.143	-0.714	-0.429	**0.708**	**0.856**	**0.861**	**0.783**					
(p)	0.980	0.849	**0.045**	0.148	0.217	0.255	0.726	0.110	0.338	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**					
P	0.140	-0.077	**0.699**	-0.247	0.085	0.393	0.393	-0.371	-0.429	**0.572**	**0.694**	**0.658**	**0.503**	**0.762**				
(p)	0.249	0.790	**0.036**	0.207	0.654	0.336	0.336	0.406	0.338	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**				
Si	0.083	-0.137	**0.723**	-0.362	0.196	0.679	0.000	-0.371	-0.657	**0.582**	**0.654**	**0.818**	**0.799**	**0.766**	**0.463**			
(p)	0.493	0.634	**0.030**	0.065	0.301	0.097	1.000	0.406	0.142	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**			
Zn	-0.208	0.407	-0.134	**-0.408**	0.010	0.000	-0.500	0.086	-0.029	**-0.483**	**-0.782**	**-0.521**	**-0.467**	**-0.662**	**-0.563**	**-0.476**		
(p)	0.087	0.159	0.688	**0.037**	0.958	1.000	0.221	0.848	0.949	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**		
Al	0.098	-0.082	**0.663**	-0.352	0.254	0.393	-0.321	-0.771	-0.486	**0.508**	**0.493**	**0.690**	**0.700**	**0.596**	**0.322**	**0.890**	**-0.255**	
(p)	0.418	0.775	**0.047**	0.073	0.179	0.336	0.431	0.085	0.277	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**0.008**	**0.000**	**0.035**	

FONTE: o autor (2017).

4 DISCUSSÃO

A aplicação de técnicas de análise que demandem menor preparo das amostras, sem prejuízo na qualidade e obtenção de dados é uma busca incansável. A utilização de LIBS na determinação do conteúdo químico de amostras de lenho de árvores se mostrou eficiente e promissor (KAISER et al., 2012) uma vez que a tendência observada na concentração de muitos nutrientes é similar ao comportamento encontrado nos dados de intensidade de emissão.

A mobilidade dos nutrientes é um dos fatores mais questionados nas análises temporais do conteúdo químico dos anéis de crescimento (POUSSART et al., 2006; SCHARNWEBER et al., 2016). Alguns dos nutrientes analisados nos anéis de *Aspidosperma polyneuron* são classificados como de alta mobilidade, como no caso do Magnésio, Fósforo e do Boro. Elementos como Cálcio, Silício, Manganês e Zinco são considerados moderadamente móveis, enquanto que o Ferro e Alumínio apresentam baixa mobilidade (McCLENAHEN et al., 1989; CUTTER; GUYETTE, 1993).

Ainda que a mobilidade dos nutrientes seja um assunto bastante controverso (SCHARNWEBER et al., 2016), talvez o único elemento que tenha, de fato, apresentando um comportamento migratório lateral no lenho tenha sido o Fósforo, evidenciando um aumento da sua intensidade de emissão a partir de 1975. Sabe-se que este elemento está associado à formação de tecidos mais jovens (ARP; MANASC, 1988), o que neste caso poderia representar a porção do lenho fisiologicamente ainda em atividade e, assim, haveria a possibilidade de afirmar que este elemento definiria a zona de transição entre a porção mais ativa do lenho (alburno) e a fisiologicamente menos ativa (cerne) (ANEXOS A e B). Cádmio (Cd) também já foi identificado como um indicador do limite entre cerne e alburno (HAGEMEYER, 2000), entretanto não foi identificado neste trabalho.

A tendência de aumento ou redução na intensidade de emissão dos nutrientes ao longo da série temporal pode estar associado a especificidade das espécies na afinidade com os nutrientes (POUSSART et al., 2000), a disponibilidade e condições dos nutrientes no ambiente (VAGANOV et al., 2013) e aos processos fisiológicos envolvidos na formação da madeira (ARP; MANASC, 1988).

Dos nove elementos analisados neste estudo, três apresentam comportamentos similares a outros trabalhos: Fósforo tende a um aumento na intensidade de emissão nas últimas décadas analisadas, o que indiretamente reflete um aumento na concentração (ARP; MANASC, 1988; VAGANOV et al. 2013); Zinco apresenta uma tendência decrescente no sentido medula-casca (ARP; MANASC, 1988); Alumínio tende a um aumento no sentido medula-casca (ARP; MANASC, 1988; KUANG et al., 2008).

A variação dos solos, geologia, latitude, clima etc, e consequentemente a mobilidade dos elementos em função destas variáveis citadas, e os reflexos na fisiologia das plantas (WATMOUGH et al., 1997), pode justificar a baixa semelhança entre a tendência verificada neste trabalho e outros conduzidos prioritariamente no hemisfério norte (ARP; MANASC, 1988; WATMOUGH et al., 2002; KUANG et al., 2008; VAGANOV et al. 2013; SCHARNWEBER et al., 2016).

Diferenças na proporção de cátions básicos e ácidos do solo podem resultar em diferenças na concentração elementar das séries temporais intraespécies (BEAUREGARD et al., 2010). Neste caso, a presença de diques de diabásio nas áreas de encosta (ADENESKY FILHO, 2014) e a possibilidade de maior disponibilidade de íons frente ao ambiente de planície, não se mostrou preponderante. Há, entretanto um comportamento distinto para uma única árvore (8d), a mais jovem (154 anos), que para boa parte dos elementos analisados (boro, ferro, fósforo, manganês) distingue-se das demais, independente da mobilidade do elemento.

O nível de correlação entre as séries cronológicas desenvolvidas para planície e encosta (Capítulo 1) e as séries temporais dos elementos químicos identificados com LIBS foram, majoritariamente, sem significância estatística (com exceção do Boro). São verificados muitos pontos sincrônicos entre as séries, tanto na encosta quanto na planície, reforçando que o crescimento, de fato, é resultado de uma complexa combinação de fatores endógenos e exógenos (FRITTS, 1976; COOK; KAIRIUKSTIS, 1990). Ainda que as correlações não sejam estatisticamente significativas, não invalidam a análise gráfica dos dados e utilização promissora da técnica na obtenção de novos *proxies* ambientais, sempre numa interpretação cuidadosa (SCHARNWEBER et al., 2016).

Planície e encosta possuem dinâmicas ambientais distintas, mas isso parece não influenciar, necessariamente, na composição química das árvores. Na planície, a deposição de sedimentos e nutrientes, como resultado de pulsos de inundação,

poderia justificar taxas de intensidade de emissão diferenciadas em relação aos indivíduos da encosta. Na encosta a disponibilização de íons em função da matriz geológica (diques de diabásio), também poderia resultar em intensidades de emissão distintas da planície, mas não foi evidenciado nas análises empregadas. O fato de não haver diferenças entre árvores de planície e encosta em função da composição elementar, pode ser uma resposta a lei do mínimo (Lei de Liebig) (SPEER, 2010), onde havendo o mínimo para o desenvolvimento das árvores, o excedente do conteúdo observado será proporcional a disponibilidade do nutriente no ambiente até que atinja níveis tóxicos e, neste caso, a disponibilidade não difere, substancialmente, entre ambientes.

Tradicionalmente estudos dendroquímicos visam identificar elementos químicos poluentes, metais pesados, ou elementos traços (WATMOUGH, 1999; MARTIN et al., 2003; PEARSON et al., 2005). Neste trabalho, não foram identificados estes elementos, algo positivo, considerando o histórico de mineração pelo qual a região passou durante décadas (PERDONCINI; SOARES, 1999). A região também abriga grandes indústrias do setor de polpa e papel, e não foram identificados possíveis resíduos relacionados à esta atividade nos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron*. Neste caso cabe ressaltar que ainda que nesta metodologia não tenha sido identificado nenhum elemento químico poluente, não significa que por outros métodos estes não possam, eventualmente, ser detectados.

A disponibilidade e incorporação dos nutrientes nos anéis de crescimento estão diretamente relacionadas às condições ambientais no momento de sua formação (PEARSON et al. 2005). Temperatura mais altas podem influenciar significativamente o crescimento relativo das árvores e, consequentemente, a incorporação de Silício e Cloro nas paredes celulares (VAGANOV et al., 2013). A concentração de Cálcio e Magnésio nos anéis de crescimento está ligada ao pH do solo (KUANG et al., 2008, VAGANOV et al., 2013). Mas estas relações não são diretas e exclusivas, uma vez que a incorporação de Ca também está ligada à precipitação (POUSSART et al., 2006), onde em anos mais secos há indicativos de menor incorporação de Ca na formação estrutural da madeira. Manganês e alumínio tendem a variar de acordo com o pH do solo (KUANG et al., 2008; BEAUREGARD et al., 2010), assim como Ca e Mg.

Algumas das observações citadas anteriormente são comuns aos dados verificados neste trabalho, ainda que as condições ambientais sejam muito distintas,

o que neste caso permite pensar que os processos se dão de maneira similar em ambientes distintos. O maior fator limitante do crescimento para as plantas na região subtropical brasileira é a temperatura (OLIVEIRA, 2007; ANDREACCI, 2012; LONGHI-SANTOS, 2013; MIRANDA, 2015) e, deste modo, talvez se justifiquem as correlações significativas verificadas dos nutrientes (principalmente na encosta) com dados de temperatura média. Maiores temperaturas médias podem resultar num maior incremento diamétrico, que por sua vez podem estar relacionados a incorporação dos nutrientes na madeira.

Para outros elementos, como Fe, Zn, B e P não há uma clara e significativa correlação com as variáveis ambientais, embora representem nutrientes direta e indiretamente envolvidos na fotossíntese e, consequentemente, na formação de novos tecidos, e B esteja relacionado à formação da parede celular (RAVEN et al., 2007; HÄNSCH; MENDEL, 2009).

Ainda que não fizesse parte dos objetivos deste trabalho, verificou-se altas correlações entre os nutrientes, tanto de planície quanto de encosta, reforçando a tese de antagonismos e sinergismo entre os elementos químicos (GUNES et al., 1998; STRATTON, 2011), muito embora a relação entre eles ainda precise ser melhor investigada.

5 CONCLUSÕES

A partir da análise por espectrometria de emissão óptica em plasma induzido por laser (LIBS) nos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron* conclui-se que:

A variação dos nutrientes verificadas ao longo do tempo indica - apesar das divergências relacionadas a mobilidade dos nutrientes nas árvores-, que fatores endógenos e exógenos interferem na incorporação dos elementos identificados. Foram verificadas variações no conteúdo químico das árvores dentro de um mesmo ambiente para todos os elementos analisados. Verificou-se também que a intensidade de emissão de cálcio e silício é diferente na planície e na encosta e que para o restante dos nutrientes a tendência é a mesma (Mg> Fe> **Ca> Si**> Zn> Al> Mn> B> P –planície e Mg> Fe> **Si> Ca**> Zn> Al> Mn> B> P – encosta).

De modo geral, não há uma assinatura química para cada ambiente, uma vez que as árvores não se agrupam de acordo com o local de coleta, ainda que estejam em condições geomorfológicas distintas.

As correlações entre as séries temporais de crescimento e de nutrientes são fracas e, em muitos casos, sem significância estatística. Entretanto, é possível verificar alguns sincronismos entre as séries para cada um dos elementos e ambientes. A melhor correlação foi verificada com o elemento Boro.

Foram verificadas correlações significativas entre os nutrientes identificados e as variáveis ambientais consideradas, sendo que a temperatura média é a variável mais correlacionada.

O comportamento verificado para Fósforo, tanto na planície quanto na encosta, indica que a alta mobilidade transversal do nutriente permite identificar a zona de transição entre cerne e alburno, uma vez que o elemento químico tem maior afinidade e migra para tecidos mais jovens. O período em que ocorre as maiores intensidades de emissão para P, coincidem visualmente com a área de transição de coloração entre cerne e alburno nas amostras avaliadas.

A metodologia utilizada é adequada e promissora para análise do conteúdo químico dos anéis de crescimento, uma vez que os resultados são similares aos encontrados na literatura a partir de metodologias que demandam um esforço muito maior no preparo das amostras, caso do ICP- MS e ICP OES, por exemplo. Mesmo não indicando a concentração dos nutrientes de maneira direta, as taxas de

intensidade de emissão dos nutrientes refletem as frações de massa presentes no material analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENESKY-FILHO, E. **Florística, fitossociologia e dendroecologia em encosta e planície do médio rio Tibagi, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil**. (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014

ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. em áreas de Florestas Ombrófilas Mista e Densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ARP, P.A., MANASC, J., 1988. Red spruce stands downwind from a coal-burning power generator: tree-ring analysis. **Can. J. For**. Res. 18, 251–264.

BEAUREGARD, S. L.; CÔTÉ, B.; HOULE, D. Application of compositional nutrient diagnosis (CND) to the dendrochemistry of three hardwoods in three geological regions of southern Quebec. **Dendrochronologia**, v. 28, n. 1, p. 23-36, 2010.

CHAGAS, M.P. Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo. 2013. 160p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quieroz" – Universidade de São Paulo, 2013.

CARVALHO, G.G.A. **Efeito da fluência na análise de pastilhas de materiais vegetais por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science**. Amsterdam: Kluwer, 1990.

CUTTER, B. E.; GUYETTE, R. P. Anatomical, chemical, and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistry studies. **J. Environ. Qual**., v. 22, p. 611-619, 1993.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. Oxford: Elsevier Science, 1976

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Artmed, Porto Alegre, Brasil, 2011.

GUNES, Aydin; ALPASLAN, Mehmet; INAL, Ali. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. **Journal of plant nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2035-2047, 1998.

HAGEMEYER, J. Monitoring trace metal pollution with tree rings: a critical reassessment.In: MARKERT, B. **Plants as biomonitors**: indicators for heavy metals in the terrestrial environment. New York: VCH Weinheim, 1993. p. 541-563

HAGEMEYER, J. Trace metals in tree rings: what do they tell us? In: B. MARKERT AND K. FRIESE, (Ed.).**Trace Metals in the Environment**, Local: Elsevier, 2000. v. 4
HÄNSCH, Robert; MENDEL, Ralf R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current opinion in plant biology**, v. 12, n. 3, p. 259-266, 2009.

HOLMES, R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bull** 43:69–78. 1983.

KAISER, J. et al. Trace elemental analysis by laser-induced breakdown spectroscopy—biological applications. **Surface Science Reports**, v. 67, n. 11, p. 233-243, 2012.

KUANG, Y. W. et al. Reconstruction of soil pH by dendrochemistry of Masson pine at two forested sites in the Pearl River Delta, South China. **Annals of forest science**, v. 65, n. 8, p. 1, 2008.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de Sebastiania commersoniana (Baill.) L.B.Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013

MARTIN, R. R. et al. Micro-synchrotron x-ray fluorescence of the metal distribution in a black spruce tree stem: evidence for radial mobility. **X-Ray Spectrometry**, v. 32, n. 5, p. 402-407, 2003.

MCCLENAHEN,J.R. et al. Elemental concentrations in tree rings by pixe - statistical variability, mobility, and effects of altered soil chemistry. **Can. J. For. Res.**, v. 19, n. 7, p. 880-888, 1989.

MCCUNE, B; GRACE, J. B.; **Analysis of ecological communities**. Gleneden Beach: MjM software design, 2002.

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.

NUNES, L.C. **Estratégias quimiométricas para análise de plantas por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser**. 2010. 149p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, 2010

NUNES, L. C. et al. Optimization and validation of a LIBS method for the determination of macro and micronutrients in sugar cane leaves. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 25, n. 9, p. 1453-1460, 2010.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007

PEARSON, Charlotte et al. Can tree-ring chemistry reveal absolute dates for past volcanic eruptions?. **Journal of Archaeological Science**, v. 32, n. 8, p. 1265-1274, 2005.

PERDONCINI, L. C.; SOARES, P. C. O diamante na bacia do rio santa rosa, Tibagi (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 3, p. 299-306. 1999

POUSSART, P. M.; MYNENI, S. C. B.; LANZIROTTI, A. Tropical dendrochemistry: A novel approach to estimate age and growth from ringless trees. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 17, 2006.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 7a. Coord. Trad, 2007.

SANTOS, D. et al. Laser-induced breakdown spectroscopy for analysis of plant materials: a review. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 71, p. 3-13, 2012.

SCHARNWEBER, Tobias et al. Common trends in elements? Within-and between-tree variations of wood-chemistry measured by X-ray fluorescence—A dendrochemical study. **Science of the Total Environment**, v. 566, p. 1245-1253, 2016.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings**: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel, 1988. 276p

SPEER, James H. **Fundamentals of tree-ring research**. University of Arizona Press, 2010.

STRATTON, Rebecca Lynne. **An Evaluation of Disturbance-Induced Nutrient Changes and Climate Responses of Loblolly Pine Xylem**. Doctoral Dissertations – University of Tennessee, Knoxville, 2011.

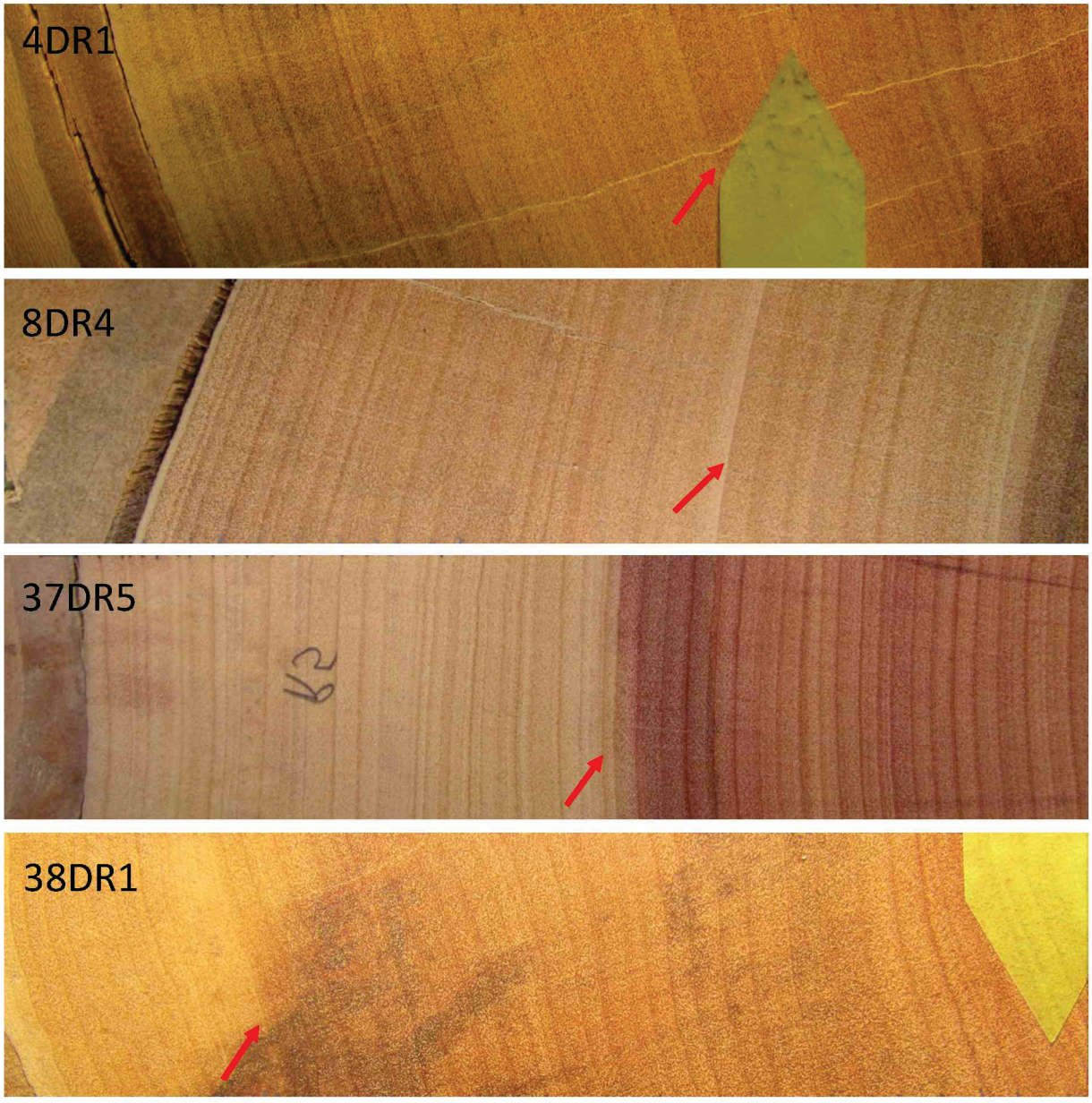
VAGANOV, E. A. et al. Elemental composition of tree rings: A new perspective in biogeochemistry. In: **Doklady Biological Sciences**. Springer Science & Business Media, 2013. p. 375.

WATMOUGH, Shaun A.; HUTCHINSON, Thomas C.; EVANS, R. Douglas. Application of Laser Ablation Inductively Coupled Plasma− Mass Spectrometry in Dendrochemical Analysis. **Environmental science & technology**, v. 31, n. 1, p. 114-118, 1997.

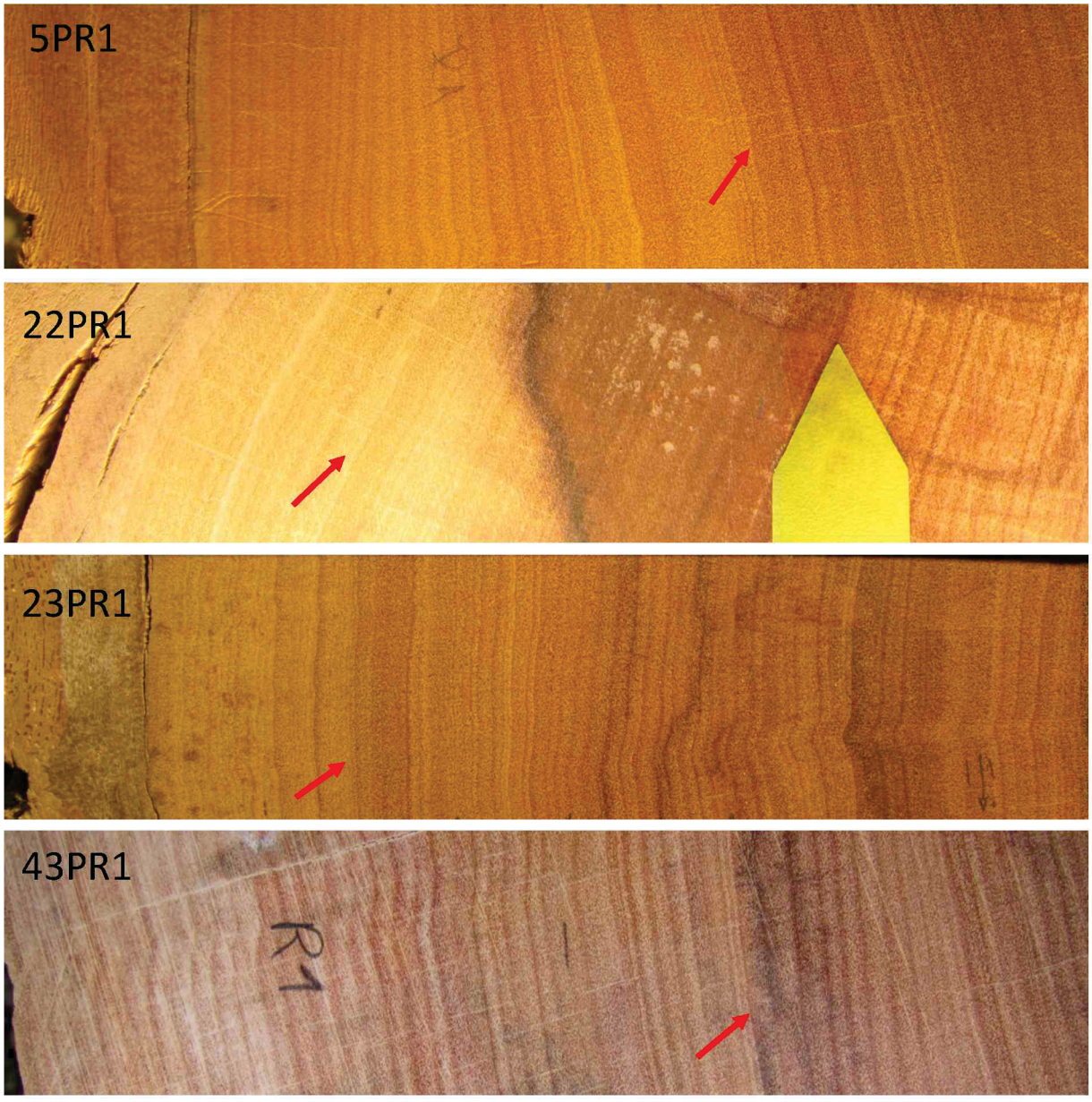
WATMOUGH, S. A. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis. **Environmental pollution**, v. 106, n. 3, p. 391-403, 1999.

WATMOUGH, Shaun A.; HUTCHINSON, Thomas C. Historical changes in lead concentrations in tree-rings of sycamore, oak and Scots pine in north-west England. **Science of the total environment**, v. 293, n. 1, p. 85-96, 2002.

ANEXO A – ZONA DE TRANSIÇÃO DE ENTRE A PORÇÃO MAIS ATIVA DO LENHO (ALBURNO) E A FISIOLOGICAMENTE MENOS ATIVA (CERNE) DAS AMOSTRAS DO LENHO DE *Aspidosperma polyneuron*, EM ENCOSTA, SELECIONADAS PARA ANÁLISES COM LIBS.



ANEXO B – ZONA DE TRANSIÇÃO DE ENTRE A PORÇÃO MAIS ATIVA DO LENHO (ALBURNO) E A FISIOLOGICAMENTE MENOS ATIVA (CERNE) DAS AMOSTRAS DO LENHO DE *Aspidosperma polyneuron*, EM PLANÍCIE, SELECIONADAS PARA ANÁLISES COM LIBS.



CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A análise dos anéis de crescimento de *Aspidosperma polyneuron,* peroba-rosa, permitiu a datação dos indivíduos mais velhos já registrados em área de ocorrência natural da espécie. Foram identificadas árvores com mais de 300 anos, o que representa um grande avanço em estudos dendrocronológicos no país, bem como pelo estabelecimento e/ou desenvolvimento das primeiras cronologias para a espécie na região Sul.

Além disso, cabe ressaltar que eventos considerados de amplitude e com efeitos globais comumente relacionados em estudos dendrocronológicos no Hemisfério Norte não foram detectados nas amostras analisadas, o que nos faz pressupor que essa amplitude e seus efeitos possam não ter uma ação em escala tão global quanto relatada. Assim, cabe ressaltar a necessidade de estudos complementares (uma amostragem mais ampla e diversificada) visando identificar sinais de resposta, indicadores ambientais etc.

O desenvolvimento de extensas cronologias de anéis de crescimento pode subsidiar estudos de reconstrução climática ("*proxies*"), aspecto essencial em um momento em que se discute sobre as variações climáticas e os impactos futuros destas mudanças. Os dados apresentados neste trabalho representam uma contribuição de âmbito regional, que podem e devem ser complementado com dados de outras regiões de ocorrência da espécie, uma vez que apresentam sensibilidade às variações ambientais.

Os dados acerca da dinâmica e crescimento diametral de peroba-rosa são uma importante contribuição para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao manejo sustentável de florestas no país. Ainda que o corte da espécie esteja proibido no estado do Paraná, as informações aqui consolidadas reforçam o fato de que estabelecer um diâmetro mínimo de corte para árvores estabelecidas naturalmente, a exemplo do que ocorre em boa parte do bioma Amazônia, sem considerar aspectos da autoecologia da espécie, pode não ser uma estratégia adequada de conservação e manejo.

A utilização da técnica analítica de espectrometria de emissão óptica em plasma induzido por laser (LIBS – *Laser induced breakdown spectrometry*) se demostrou prática, adequada e promissora na detecção de macro e micronutrientes

em anéis de crescimento. Os resultados obtidos são semelhantes aos verificados com técnicas que demandam maior esforço no preparo e no processamento das amostras.

A determinação do conteúdo químico dos anéis de crescimento de perobarosa certamente se configura como um grande desafio ao entendimento das relações e/ou dos complexos processos envolvidos nas interações solo-planta-atmosfera. A escassez de trabalhos sobre o tema em regiões subtropicais, como pela complexidade dos mecanismos bioquímicos e fisiológicos relacionadas à mobilidade dos nutrientes nas plantas, é mais um obstáculo a ser superado. Não obstante, os resultados obtidos representam um avanço nos estudos para a construção de *proxies* ambientais a partir dos nutrientes contidos nos anéis.

Não foram identificados, com sinais significativos, metais pesados ou outras partículas potencialmente poluentes nos anéis de crescimento amostrados, assim, parece oportuno analisar este material considerando outras metodologias (ICP-MS, ICP-OES, XRF, μXRF, PIXE etc.) a fim de verificar a acurácia do LIBS na detecção destes elementos químicos.

A análise isotópica, $^{13}C/^{12}C$ e $^{18}O/^{16}O$, dos anéis de crescimento de perobarosa pode trazer informações importantes sobre a distribuição das chuvas ao longo do tempo na região Sul do país, bem como ao ciclo global do carbono e o aquecimento global. Uma vez que as séries cronológicas são consideravelmente extensas e importantes *proxies* ambientais podem ser obtidos, sugere-se a continuidade de estudos com este rico material disponível.

REFERÊNCIAS TOTAIS

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.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema de informações hidrológicas**. Curitiba, 2016 em < http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 12 mai. 2016.

ALDER, D. Simple methods for calculating minimum diameter and sustainable yield in mixed tropical forest. In: MILLER, F. R.; ADAM, K. L. **Wise management of tropical forests**. Oxford: Oxford Forest Institute, 1992. p. 189-200.

ALVARADO, J. R., **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios,Peru**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

ANDREACCI, F. **Atividade cambial, fenologia vegetativa e ritmo de crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. em áreas de Florestas Ombrófilas Mista e Densa do estado do Paraná: aspectos dendrocronológicos e dendroecológicos**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia vegetal**. Viçosa: UFV. 2006.

ARP, P.A., MANASC, J., 1988. Red spruce stands downwind from a coal-burning power generator: tree-ring analysis. **Can. J. For**. Res. 18, 251–264.

ASSMANN, E. **The principles of forest yield study – Studies in the organic production, structure, increment and yield of forest stands**. Oxford/ New York/ Toronto/ Sydney/ Braunschweig: Pergamon Press, 1970. 506p.

BARDDAL, M. L. et al. Caracterização florística e fitossociológica de um trecho sazonalmente inundável de floresta aluvial, em Araucária, PR. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 37-50, 2004.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. do; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

BEAUREGARD, S. L.; CÔTÉ, B.; HOULE, D. Application of compositional nutrient diagnosis (CND) to the dendrochemistry of three hardwoods in three geological regions of southern Quebec. **Dendrochronologia**, v. 28, n. 1, p. 23-36, 2010.

BEGON, M; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J. L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Artmed Editora, 2007.

BEGUM, S. et al. Regulation of cambial activity in relation to environmental conditions: understanding the role of temperature in wood formation of trees. **Physiologia Plantarum**, v. 147, n. 1, p. 46-54, 2013.

BIGG-WHITER, T. P. **Novo caminho no Brasil meridional: a província do Paraná: três anos em suas florestas e campos 1872/1875**. Imprensa Oficial do Paraná, 2001.

BLASING T.J.; SOLOMON A.; DUNVICK D.N. Response function revisited. **Tree-Ring Bull**, v.44, p.1–15, 1984.

BONINSEGNA, J. A.; ARGOLLO, J.; ARAVENA, J. C.; BARICHIVICH, J.; CHRISTIE, D.; FERRERO, M. E.; LARA, A.; LE QUESNE, C.; LUCKMAN, B. H.; MASIOKAS, M.; MORALES, M.; OLIVEIRA, J. M.; ROIG, F.; SRUR, A.; VILLALBA, R. Dendroclimatologicalreconstructions in South America: a review. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 281, n. 3-4, p. 210–228, 2009.

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, n. 1, p. 256-267, 2006.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A.; DURING, H. J. Autocorrelated growth of tropical forest trees: Unraveling patterns and quantifying consequences. **Forest Ecology and Management**, v. 237, p. 179-190, 2006.

BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. Basic chronology statistics and assessment. In: Cook ER, Kairiukstis LA (eds) **Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences**. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 137–152, 1990.

BRIFFA, K.R. Interpreting high-resolution proxy climate data: the example of dendroclimatology. **Analysis of climate variability, applications of statistical techniques** (ed. by H. von Storch and A. Navarra), pp. 77–94. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1995.

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

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.

CARDOSO, F. C. G. et al. Stem growth and phenology of two tropical trees in contrasting soil conditions. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 269-281, 2012.

CARVALHO, G.G.A. **Efeito da fluência na análise de pastilhas de materiais vegetais por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser**. 2011. 117p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011

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

CERNUSAK, L. A.; ENGLISH, N. B. Beyond tree-ring widths: stable isotopes sharpen the focus on climate responses of temperate forest trees. **Tree physiology**, v. 35, n. 1, p. 1-3, 2015.

CHAGAS, M.P. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo**. 2013. 160p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Quieroz" – Universidade de São Paulo, 2013.

CHAPIN, F. Stuart et al. Plant responses to multiple environmental factors. **Bioscience**, v. 37, n. 1, p. 49-57, 1987.

COOK, E. R. **A time series approach to tree-ring standardization**. Ph.D Dissertation, University of Arizona, Tucson, Arizona, 1985.

COOK, E. R.; KAIRIUKSTIS, L. A. **Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Science**. Amsterdam: Kluwer, 1990.

COSTA, E. A.; FINGER, C. A. G.; HESS, A. F. Modelo de incremento em área basal para árvores de araucária de uma floresta inequiânea. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, p. 239-245, 2015.

CURCIO, G. R. **Relações entre geologia, geomorfologia, pedologia e fitossociologia nas planícies fluviais do rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 510 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

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

CUTTER, B. E.; GUYETTE, R. P. Anatomical, chemical, and ecological factors affecting tree species choice in dendrochemistry studies. **J. Environ. Qual**., v. 22, p. 611-619, 1993.

DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V. R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on Swietenia macrophylla King and Cedrela odorata L. (Meliaceae) in the Central Amazon. **Trees**, Heidelberg, v. 17, n. 3, p. 244-250, 2003.

EISERHARDT, W. L. et al. Climate-driven extinctions shape the phylogenetic structure of temperate tree floras. **Ecology Letters**, v. 18, n. 3, p. 263-272, 2015.

FICHTLER, E.; DEBORAH, A. C.; MARTIN, W. Age and Long-term Growth of Trees in an Old-growth Tropical Rain Forest, Based on Analyses of Tree Rings and ^{14}C. **Biotropica,** v.35, n. 3, p. 306-317, 2003.

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

FRITTS, H. C.; SWETNAM, T. W. Dendroecology: a tool for evaluating variations in past and present forest environments. **Advances in ecological research**, v. 19, p. 111-188, 1989.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. Artmed, Porto Alegre, Brasil, 2011.

GRAU, H. R.; EASDALE, T. A.; PAOLINI, L. Subtropical dendroecology—dating disturbances and forest dynamics in northwestern Argentina montane ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 177, n. 1, p. 131-143, 2003.

GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research,** v. 57, n. 2, p.205-221, 2001.

GUNES, Aydin; ALPASLAN, Mehmet; INAL, Ali. Critical nutrient concentrations and antagonistic and synergistic relationships among the nutrients of NFT-grown young tomato plants. **Journal of plant nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2035-2047, 1998.

HAGEMEYER, J. Monitoring trace metal pollution with tree rings: a critical reassessment.In: MARKERT, B. **Plants as biomonitors**: indicators for heavy metals in the terrestrial environment. New York: VCH Weinheim, 1993. p. 541-563

HAGEMEYER, J. Trace metals in tree rings: what do they tell us? In: B. MARKERT AND K. FRIESE, (Ed.).**Trace Metals in the Environment**, Local: Elsevier, 2000. v. 4
HÄNSCH, Robert; MENDEL, Ralf R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current opinion in plant biology**, v. 12, n. 3, p. 259-266, 2009.

HERAULT, B. et al. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. **Journal of ecology**, v. 99, n. 6, p. 1431-1440, 2011.

HOLMES, R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree-Ring Bull**, v.43, p.69–78, 1983.

KANIESKI, M. R. **Estudo dendroecológico de Sebastiania commersoniana (Baill.) LB Sm. e RJ Downs e de arbóreas invasoras em uma floresta ombrófila mista aluvial, sul do Brasil**. 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KAISER, J. et al. Trace elemental analysis by laser-induced breakdown spectroscopy—biological applications. **Surface Science Reports**, v. 67, n. 11, p. 233-243, 2012.

KREUZWIESER, J.; RENNENBERG, H. Molecular and physiological responses of trees to waterlogging stress. **Plant, cell & environment**, v. 37, n. 10, p. 2245-2259, 2014.

KUANG, Y. W. et al. Reconstruction of soil pH by dendrochemistry of Masson pine at two forested sites in the Pearl River Delta, South China. **Annals of forest science**, v. 65, n. 8, p. 1, 2008.

LAWES, M.J.; RICHARDS, A.; DATHE, J.; MIDGLEY, J.J. Bark thickness determines fire resistance of selected tree species from fire-prone tropical savanna in north Australia. **Plant Ecology**, n. 212, p. 2057–2069, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2004.

LARJAVAARA, M.; MULLER-LANDAU, H. C. Rethinking the value of high wood density. **Functional Ecology**, v. 24, n. 4, p. 701-705, 2010.

LISI, C.S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B.; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity and phenology of tree species from a Seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil. **IAWA Journal**, v.29, p. 189-207, 2008.

LONGHI-SANTOS, T. **Dendroecologia de Sebastiania commersoniana (Baill.) L.B.Sm. & Downs em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Aluvial, Paraná, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

LU, X.; CAMARERO, J.J.; WANG, Y.; LIANG, E.; ECKSTEIN, D. How Rhododendron shrubs respond to climate on the southeastern Tibetan Plateau: prospects for shrub-based dendrochronology. **Boreas** v.44, p. 760–768, 2015.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 4. ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MARTIN, R. R. et al. Micro-synchrotron x-ray fluorescence of the metal distribution in a black spruce tree stem: evidence for radial mobility. **X-Ray Spectrometry**, v. 32, n. 5, p. 402-407, 2003.

MARTIN-BENITO, Dario; BEECKMAN, Hans; CAÑELLAS, Isabel. Influence of drought on tree rings and tracheid features of Pinus nigra and Pinus sylvestris in a mesic Mediterranean forest. **European Journal of Forest Research**, v. 132, n. 1, p. 33-45, 2013.

MCCLENAHEN,J.R. et al. Elemental concentrations in tree rings by pixe - statistical variability, mobility, and effects of altered soil chemistry. **Can. J. For. Res**., v. 19, n. 7, p. 880-888, 1989.

MCCUNE, B; GRACE, J. B. Analysis of ecological communities. Gleneden Beach: MjM software design, 2002.

MINER, B.G. et al. Ecological consequences of phenotypic plasticity. Trends in Ecology & Evolution, v. 20, n. 12, p. 685-692, 2005.

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.

MULLER-LANDAU, H. C. Interspecific and Inter-site Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees. **Biotropica**, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). **Download Climate Timeseries.** Curitiba, 2016 em: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/>. Acesso: 17 nov. 2016.

NUNES, J. L. A. **1963: o Paraná em chamas**. Londrina, 2013.

NUNES, L.C. **Estratégias quimiométricas para análise de plantas por espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser**. 2010. 149p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de São Carlos, 2010

NUNES, L. C. et al. Optimization and validation of a LIBS method for the determination of macro and micronutrients in sugar cane leaves. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 25, n. 9, p. 1453-1460, 2010.

NUTTO, L. Manejo do crescimento diamétrico de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. baseado na árvore individual. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 9-25, 2005.

OLIVEIRA, J. M. **Anéis de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases de dendroecologia em ecossistemas subtropicais montanos no Brasil**. 139 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PAROLIN, P. et al. Drought responses of flood-tolerant trees in Amazonian floodplains. **Annals of botany**, v. 105, n. 1, p. 129-139, 2010.

PEARSON, Charlotte et al. Can tree-ring chemistry reveal absolute dates for past volcanic eruptions?. **Journal of Archaeological Science**, v. 32, n. 8, p. 1265-1274, 2005.

PERDONCINI, L. C.; SOARES, P. C. O diamante na bacia do rio santa rosa, Tibagi (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 3, p. 299-306. 1999

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.

POUSSART, P. M.; MYNENI, S. C. B.; LANZIROTTI, A. Tropical dendrochemistry: A novel approach to estimate age and growth from ringless trees. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 17, 2006.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1997.

PUCHA-COFREP, D.; PETERS, T.; BRÄUNING, A. Wet season precipitation during the past century reconstructed from tree-rings of a tropical dry forest in Southern Ecuador. **Global and Planetary Change**, v. 133, p. 65-78, 2015.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**, 7a. ed. Coord. Trad. J.E.Kraus. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007.

RIBEIRO, J. E. L. S. et al. **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra firme na Amazônia Central**. Manaus: INPA-DFID. 800 p. 1999.

RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Empirical Botany,** v. 10, p.290-300, 1959.

RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. **Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval**. 2000. Curitiba, 2014 em: <http://delta-intkey.com/wood/pt/www/gutcabra.htm>. Acesso em: 14 fev. 2014.

RIGOZO, N. R.; NORDEMANN, D. J. R.; ECHER, E.; VIEIRA, L. E. A. Search for Solar Periodicities in Tree-Ring Widths from Concórdia (S.C., Brazil). Pure and Applied Geophysics, v.161, p. 221-233, 2004.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACK, G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 24, p. 75-92, 2002.

RODRIGUES, A.L. Dinâmica demográfica, crescimento e simulações de manejo em remanescente de Floresta Ombrófila Mista. 149 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

ROIG, F. A. **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, 2000.

ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees Struct. Funct.**, v. 25, p. 3–16, 2011.

SANTOS, D. et al. Laser-induced breakdown spectroscopy for analysis of plant materials: a review. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, v. 71, p. 3-13, 2012.

SCHARNWEBER, Tobias et al. Common trends in elements? Within-and between-tree variations of wood-chemistry measured by X-ray fluorescence—A dendrochemical study. **Science of the Total Environment**, v. 566, p. 1245-1253, 2016.

SCHNITZLER, A. River Dynamics as a forest process: interaction between fluvial systems and alluvial forests in large european river plains. **The Botanical Review**, v. 63, n. 1, p. 40-64, 1997.

SCHÖNGART, J. et al. Wood growth patterns of Macrolobium acaciifolium (Benth.) Benth.(Fabaceae) in Amazonian black-water and white-water floodplain forests. **Oecologia**, v. 145, n. 3, p. 454-461, 2005.

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, p. 46-58, 2008.

SCHWEINGRUBER, F. H. Tree-rings and environment dendroecology. Vienna: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt, 609 p. 1996.

SCHWEINGRUBER, F.H. **Tree rings**: basics and applications of dendrochronology. Dordrecht: Reidel, 1988. 276p

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.

SPEER, J. H. **Fundamentals of tree-ring research**. University of Arizona Press, 2010.

STRATTON, Rebecca Lynne. **An Evaluation of Disturbance-Induced Nutrient Changes and Climate Responses of Loblolly Pine Xylem**. Doctoral Dissertations – University of Tennessee, Knoxville, 2011.

STEPKA, T. F. **Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

STIPP, N. A. F. Principais tipos de solos da bacia do rio Tibagi. In: **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina, p. 39-43. 2002.

STOKES M.A.; SMILEY T.L. **An introduction to tree-ring dating**. University of Arizona Press, Tucson, 1968.

SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, Dordrecht, v. 75, n. 1 e 2, p. 81-86, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Artmed, 2009.

TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. Indices of El Niño evolution. **Journal of Climate** n.14, v.8, p. 169 – 701, 2001.

TOMAZELLO FILHO, M.; ROIG, F. A.; ZEVALLOS POLLITO, P. A. Dendrocronología y dendroecología tropical: marco histórico y experiencias
exitosas em los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, La Paz, v. 44, n. 2,
p. 73-82, 2009.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em ecologia. Artmed, 2010.

VAGANOV, E. A. et al. Elemental composition of tree rings: A new perspective in biogeochemistry. In: **Doklady Biological Sciences**. Springer Science & Business Media, 2013. p. 375.

VALLADARES, F.; GIANOLI, E.; GÓMEZ, J. M. Ecological limits to plant phenotypic plasticity. **New Phytologist**, v. 176, n. 4, p. 749-763, 2007.

VENEGAS-GONZÁLEZ, A. et al. Sensitivity of tree ring growth to local and large-scale climate variability in a region of Southeastern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 123, n. 1-2, p. 233-245, 2016.

WATMOUGH, Shaun A.; HUTCHINSON, Thomas C.; EVANS, R. Douglas. Application of Laser Ablation Inductively Coupled Plasma– Mass Spectrometry in Dendrochemical Analysis. **Environmental science & technology**, v. 31, n. 1, p. 114-118, 1997.

WATMOUGH, S. A. Monitoring historical changes in soil and atmospheric trace metal levels by dendrochemical analysis. **Environmental pollution**, v. 106, n. 3, p. 391-403, 1999.

WATMOUGH, Shaun A.; HUTCHINSON, Thomas C. Historical changes in lead concentrations in tree-rings of sycamore, oak and Scots pine in north-west England. **Science of the total environment**, v. 293, n. 1, p. 85-96, 2002.

WHITMORE, T.C. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. **Ecology**, Washington, v. 70, n. 3, p. 536–538, 1989

WIGLEY, T.M.L., BRIFFA, K.R.; JONES, D. On the average value of correlated time series with application in dendroclimatology and hydrometereology. **J. Clim. Appl. Meteorol**., v.23,n. 2, p. 201–213, 1984.

WOODSON, R.E. Studies in the Apocynaceae VIII: an interim revision of the genus *Aspidosperma* Mart. & Zucc. **Ann. Missouri Bot. Gard**. v.38, n.1, p.119-204, 1951.

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