

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King.,
Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de
Madre de Dios, Peru**

Jedi Rosero Alvarado

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia
de Produtos Florestais**

**Piracicaba
2009**

Jedi Rosero Alvarado
Engenheiro Florestal

Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru

Orientador:
Prof. Dr. MÁRIO TOMAZELLO FILHO

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Rosero Alvarado, Jedi

Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru / Jedi Rosero Alvarado. - - Piracicaba, 2009.

129 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1 Amazônia Peruana 2. Dendrocronologia 3. Florestas tropicais 4. Manejo florestal 5.
Mogno I. Título

634.97325

CDD

R816d

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

*A meu pai Cesar Augusto
que descansa no céu com orgulho
dos seus filhos
que deixou aqui na terra
especialmente a você ...*

*A minha mãe Lilia Mery
e aos meus irmãos Josué e Jill
pelo grande amor, carinho, e
força
a todos vocês*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Drs. Mario Tomazello Filho, Claudio S. Lisi, Fidel A. Roig e Percy A. Zevallos Pollito, pela grande força e total apoio nos momentos difíceis, ensinamentos e amizade.

Agradeço à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais e ao Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras do DCF, pelo apoio acadêmico e infra-estrutura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, no âmbito do Programa de Estudantes-Convênio de Pós-Graduação/PEC-PG, pela bolsa de estudos concedida durante o Programa de Mestrado.

Agradecimento especial ao Projeto UNALM-ITTO PD 251/03 Rev.3F, aos Engenheiros-Coordenadores e amigos Lombardi, Barrena, Huerta, Garnica e Ocaña pelo apoio nas saídas a campo e aos meus amigos de trabalho Karin, Fabiola, Hatzel, Carmela, Renzo, Jorge, Vicente, Roxana e Percy por me ajudar mesmo a distância.

A Conservação Internacional-Peru, aos engenheiros Erick Meneses e Grimaldo Barrios, às Concessões Florestais de Maderyja e Maderacre pela informação e amostragens das árvores de mogno e ao Eng. Rodolfo Rodriguez do Laboratório de Dendrocronología de la Universidad de Piura/UDEP, Peru, pela utilização do laboratório.

Aos meus amigos do Laboratório (LAIM), Matheus, Moisés, Angel, Carlos, Maria, Mauro, Guilherme, Alberto e Marta pelas discussões amenas, descontraídas e a grande família unida que formamos durante nossa passagem pela Pós-Graduação.

Agradecimento especial a minha companheira Yanê pelo amor, carinho, compreensão e apoio durante todo este tempo.

A minha família que sempre esteve comigo em todas as minhas decisões da vida, no meu coração e na minha alma, a minha Gorda, meu Chopen, minha Kuki e meu Mr. Anderson que me deram sempre esse amor familiar que eu preciso quando estou longe de casa.

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
RESUMEN	15
RÉSUMÉ	17
LISTA DE FIGURAS	19
LISTA DE TABELAS	23
1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Objetivos.....	26
1.1.1 Objetivo geral	26
1.1.2 Objetivos específicos.....	26
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 Floresta Tropical Amazônica Peruana.....	27
2.2 O Gênero <i>Swietenia</i> e a espécie <i>S. macrophylla</i>	29
2.2.1 <i>Swietenia macrophylla</i> King	29
2.2.1.1 Estratégia para a conservação e utilização da <i>S. macrophylla</i>	32
2.3 Dendrocronologia	34
2.3.1 Potencialidade do gênero <i>Swietenia</i> para a dendrocronologia	35
2.3.2 Aplicação de técnicas para o estudo dendrocronológico.....	37
2.3.2.1 Periodicidade do crescimento por injúrias cambiais	37
2.3.2.2 A densitometria de raios X em estudos dendrocronológicos	38
3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Caracterização da Floresta Tropical Amazônica no Departamento de Madre de Dios.....	41
3.2 Registro climático das Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios	43
3.3 Localização da área de estudo e amostragem das árvores de <i>S. macrophylla</i>	44
3.4 Demarcação, coleta e extração de amostras do lenho das árvores de <i>S. macrophylla</i>	45
3.5 Caracterização anatômica da estrutura dos anéis de crescimento e do lenho das árvores de <i>S. macrophylla</i>	47
3.5.1 Preparo das amostras do lenho para a caracterização dos anéis de crescimento.....	47
3.5.2 Preparo das amostras do lenho para a sua caracterização anatômica.....	47

3.5.2.1 Caracterização macroscópica.....	47
3.5.2.2 Caracterização microscópica.....	47
3.6 Determinação da anuidade na formação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de <i>S. macrophylla</i>	49
3.6.1 Aplicação das injúrias longitudinais e extração de amostras no tronco das árvores.....	49
3.6.2 Preparo das amostras do lenho para a determinação da anuidade na formação dos anéis de crescimento das árvores	50
3.7 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento das árvores de <i>S. macrophylla</i>	51
3.7.1 Preparo das amostras do lenho.....	51
3.7.2 Mensuração e sincronização (co-datação) dos anéis de crescimento	51
3.8 Avaliação da podridão interna do lenho e do volume oco em troncos de árvores de <i>S. macrophylla</i>	55
3.9. Variação radial da densidade do lenho das árvores de <i>S. macrophylla</i> por densitometria de raios X.....	56
3.9.1 Preparo das amostras do lenho.....	56
3.9.2 Obtenção dos filmes radiográficos.....	57
3.9.3 Análise dos filmes radiográficos.....	57
3.9.4 Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho	57
3.9.5 Parâmetros de densidade aparente do lenho	58
3.9.6 Análise de regressão e correlação de parâmetros de largura dos anéis de crescimento e de densitometria por raios X, no lenho das árvores de mogno	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1 Registro climático das Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios.....	59
4.2 Caracterização anatômica da estrutura do lenho e dos anéis de crescimento de <i>S. macrophylla</i>	61
4.2.1 Caracterização macroscópica do lenho das árvores de <i>S. macrophylla</i>	61
4.2.2 Caracterização microscópica do lenho das árvores de <i>S. macrophylla</i>	61
4.2.3 Caracterização dos anéis de crescimento	64
4.3 Anuidade na formação dos anéis de crescimento das árvores de <i>S. macrophylla</i>	67
4.4 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento da espécie <i>S. macrophylla</i>	74
4.4.1 Controle de qualidade das séries de anéis de crescimento.....	74

4.4.2 Séries cronológicas de anéis de crescimento	78
4.5 Análise dendroclimatológica das séries cronológicas de anéis de crescimento	83
5 DETERMINAÇÃO DA PODRIDÃO DO LENHO (OCO DO TRONCO) DAS ÁRVORES DE <i>S. macrophylla</i>	93
6 APLICAÇÃO DA DENDROCRONOLOGIA DE ÁRVORES DE <i>S. macrophylla</i> NA TECNOLOGIA DA MADEIRA	95
6.1 Variação da densidade do lenho no sentido radial do tronco das árvores de <i>S. macrophylla</i> pelo método de densitometria de raios X	95
6.2 Demarcação e avaliação da largura dos anéis de crescimento das árvores de <i>S. machophylla</i> pela densitometria por raios X.....	97
7 CONCLUSÕES	101
REFERÊNCIAS	105
ANEXOS	115

RESUMO

Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru

Estudos sobre a fenologia e anatomia do lenho de árvores de espécies tropicais revelam um desenvolvimento e crescimento cíclicos, relacionados com as condições climáticas (temperatura e precipitação) e de sítio (competição, luz, armazenamento de água no solo, etc.). A sensibilidade a estes fatores resulta, para as árvores de algumas espécies, na sazonalidade da atividade cambial e na formação de anéis de crescimento anuais. Essa característica possibilita a determinação da idade, da taxa de crescimento em diâmetro do tronco e da reconstrução de eventos climáticos, bem como na aplicação de técnicas de manejo florestal sustentável. No presente trabalho, foram aplicadas as técnicas de dendrocronologia, em árvores de mogno, de duas populações na floresta tropical Amazônica do Peru, visando a (i) caracterização da estrutura macro e microscópica do lenho e dos anéis de crescimento, (ii) comprovação da anualidade da formação dos anéis de crescimento e determinação da idade das árvores, (iii) avaliação da biodeterioração do lenho das árvores, (iv) aplicação da densitometria de raios X no estudo do lenho e dos anéis de crescimento e (v) aplicação dos anéis de crescimento em dendroclimatologia e dendroecologia. Foram selecionadas 20 árvores de mogno em duas populações localizadas no Departamento de Madre de Dios, Peru e extraídas amostras radiais do seu lenho, com sonda de Pressler. Injúrias no tronco de árvores de mogno foram realizadas em outubro/2006 e analisadas as cicatrizes no lenho em outubro/2007, relacionando-as com a formação dos anéis de crescimento. Foi caracterizada a estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento, determinando-se o seu número, largura e aplicadas técnicas de dendrocronologia. Os anéis de crescimento foram sincronizados, utilizando os programas COFECHA, ARSTAN e RESPO, determinando-se a relação da sua largura com as variáveis climáticas e a idade das árvores. A podridão interna do lenho das árvores foi avaliada determinando-se o diâmetro do oco interno do lenho do tronco. A variação radial da densidade aparente do lenho foi determinada pela densitometria de raios X. Anéis de crescimento delimitados pelo parênquima axial marginal são comprovadamente anuais e possibilitaram a determinação da idade das árvores de mogno (80-122 anos) e a construção de cronologias. A variável climática determinante para o maior crescimento em diâmetro do tronco das árvores foi a precipitação dos meses prévios, do início e do final da estação chuvosa (junho-agosto, dezembro e março) indicando o seu potencial para as reconstruções climáticas. Os perfis radiais de densidade aparente do lenho, obtidos por densitometria de raios X, possibilitaram a identificação do limite exato dos anéis de crescimento, pelos valores mínimos de densidade da região do parênquima marginal. A análise de regressão entre a largura dos anéis obtida pela mesa de medição e por densitometria de raios X apresentou valor de $r^2=0.92$, mostrando a potencialidade dos raios X como ferramenta para estudos de dendrocronologia. O oco do lenho do tronco foi observado em 20% das árvores de mogno, com DAP acima de 62 cm.

Palavras-chave: Anéis de crescimento; Dendrocronologia; Dendroclimatologia; Densitometria de raios X; janelas de Mariaux

ABSTRACT

Dendrochronology of the mahogany trees, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, occurring in the Amazon Rainforest of the Department of Madre de Dios, Peru

Studies in phenology and wood anatomy show a cyclical development and growth related to climatic conditions (temperature and rainfall) and site characteristics (competence, light, water storage in the soil, etc.), the sensibility to these factors results, for some tree species, in seasonality of cambium activity and formation of annual tree-rings. This characteristic enables to estimate age, growth rate in trunk diameter and reconstruction of climatic events, as well as in application of techniques of sustainable forest management. In this study, dendrochronological techniques were applied in mahogany trees from two populations in the Amazon rainforest of Peru, with the aim of (i) characterization of macroscopic and microscopic wood structure and the tree rings, (ii) checking the annual formation of tree rings and determining tree age, (iii) evaluation of the biodeterioration in wood of trees (hollow), (iv) application the X-ray densitometry in the study of wood and tree rings and (v) application the tree rings in dendroclimatology and dendroecology. Twenty mahogany trees were selected in two populations located in the department of Madre de Dios, Peru and removed radial samples from the trunk, with increment corer (Pressler). In October, 2006 injuries in the trunk of mahogany trees were carried out and in October 2007, the scars were analyzed, associating them to the formation of the tree rings. Wood and tree rings anatomic structure was characterized determining its number, width and dendrochronology techniques applied. Tree rings have been synchronized, using COFECHA, ARSTAN and RESPO programs, determining the relation between the width with the climatic variables and the age of trees. The internal wood decay was evaluated by providing the internal diameter of hollow in the trunk. The radial variation of the apparent wood density was determined by the X ray densitometry. Tree rings delimited by a marginal axial parenchyma bands are annual and enable to determine the age of mahogany trees (80-122 years) and the construction of chronologies. The climatic determinant variable for the greatest growth in diameter of the trunk of trees was the rainfall in the previous months, beginning and final of the rainy season (June - August, December and March) indicating it's potential for climatic reconstructions. The radials profiles of apparent density of wood, obtained for X ray densitometry, making possible identification of the exact limit of growth rings for minimal values of density in the region of marginal parenchyma. The regression analysis between ring width measured with Velmex (0,001) table and for X ray was $r^2=0.92$, showing the potential of X rays as tool for dendrochronological studies. Decay in the trunk was observed in 20 % of trees over 62 cm of DBH.

Keywords: Growth rings; Dendrochronology; Dendroclimatology; X-ray densitometry; Mariaux Window's

RESUMEN

Dendrocronología de los árboles de caoba, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, ocurrentes en el bosque tropical Amazónico del Departamento de Madre de Dios, Perú

Estudios en fenología y anatomía del leño de árboles revelan un desarrollo y un crecimiento cíclico relacionado con condiciones climáticas (temperatura y precipitación) y de sitio (competencia, luz, almacenamiento de agua en el suelo, etc.), la sensibilidad a estos factores resulta para los árboles de algunas especies, en la estacionalidad de la actividad del cambium y en la formación de anillos de crecimiento anuales. Esa característica posibilita la determinación de la edad, tasa de crecimiento en diámetro del tronco y de la reconstrucción de eventos climáticos, así como en la aplicación de técnicas de manejo forestal sostenido. En el presente estudio, fueron aplicadas técnicas de dendrocronología en árboles de caoba, de dos poblaciones en el bosque tropical Amazónico del Perú, visando (i) la caracterización de la estructura macro y microscópica del leño y de los anillos de crecimiento, (ii) comprobación de la anualidad de la formación de los anillos de crecimiento y la determinación de la edad de los árboles, (iii) evaluación del biodeterioro del leño de los árboles (oco), (iv) aplicación de la densitometría de rayos X en el estudio del leño y de los anillos de crecimiento y (v) aplicación de los anillos de crecimiento en la dendroclimatología y dendroecología. Fueron seleccionados 20 árboles de caoba en dos poblaciones localizadas en el Departamento de Madre de Dios, Perú y extraídas muestras radiales del tronco, con barrenos Pressler. Lesiones en el tronco de árboles de caoba fueron realizadas en octubre/2006 y analizadas las cicatrices en octubre/2007, relacionándolas con la formación de los anillos de crecimiento. Fue caracterizada la estructura anatómica del leño y de los anillos, determinándose su número, ancho e aplicadas técnicas de dendrocronología. Anillos de crecimiento fueron sincronizados, utilizando los programas COFECHA, ARSTAN e RESPO, determinándose la relación del ancho con las variables climáticas y la edad de los árboles. La pudrición interna del leño fue evaluada determinándose el diámetro del oco interno en el tronco. La variación radial de la densidad aparente del leño fue determinada por la densitometría de rayos X. Anillos de crecimiento delimitados por el parénquima axial marginal son comprobablemente anuales y posibilitan la determinación de la edad de árboles de caoba (80-122 años) y la construcción de cronologías. La variable climática determinante para el mayor crecimiento en diámetro del tronco de los árboles fue la precipitación en los meses previos, inicio y final de la estación lluviosa (junio-agosto, diciembre y marzo) indicando su potencial para reconstrucciones climáticas. Los perfiles radiales de densidad aparente del leño, obtenidos por densitometría de rayos X, posibilitando la identificación del límite exacto de los anillos por valores mínimos de densidad en la región de parénquima marginal. El análisis de regresión entre el ancho de los anillos medidos en mesa de medición y por densitometría de rayos X presentó un valor de $r^2=0.92$, mostrando la potencialidad de los rayos X como herramienta para estudios de dendrocronología. Fueron observados ocos internos en 20% de los árboles por encima de 62 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP).

Palabras clave: Anillos de crecimiento; Ventanas de Mariaux; Dendrocronología; Dendroclimatología; Densitometría de rayos X; Ventanas de Mariaux

RÉSUMÉ

Dendrochronologie des arbres acajou, *Swietenia macrophylla* King., Meliaceae, dans la forêt tropicale Amazonienne du Département de Madre de Dios, Pérou

Des études en fenologie et l'anatomie du bois d'arbres révèlent un développement et croissance cyclique en rapport avec des conditions climatiques (température et précipitation) et d'endroit (attribution, lumière, stockage d'eau dans le sol, etc.), la sensibilité à ces facteurs résulte pour les arbres de quelques espèces, dans le caractère saisonnier de l'activité du cambium et dans la formation d'anneaux de croissance annuels. Cette caractéristique permet la détermination de l'âge, taux de croissance en diamètre du tronc et de la reconstruction d'événements climatiques, ainsi que dans l'application de techniques de gestion durable des forêts. Dans le présente étude, des techniques de dendrochronologie ont été appliquées dans des arbres d'acajou, de deux populations dans la forêt tropicale Amazonienne du Pérou, en visant (i) la caractérisation de la structure macro et microscopique du bois et des anneaux de croissance, (ii) vérification de l'annuité de la formation des anneaux de croissance et la détermination de l'âge des arbres, (iii) évaluation de la biodégradation du bois des arbres (oco), (iv) application de la densitométrie de rayons X dans l'étude du rondin et des anneaux croissance et (v) application des anneaux de croissance dans la dendroclimatologie et dendroecologie. 20 arbres d'acajou ont été choisis dans deux populations situées dans le Département de Madre de Dios, Pérou et extraites échantillons radiaux du tronc, avec foret Pressler. Des lésions dans le tronc d'arbres d'acajou ont été effectuées en octobre/2006 et analysées les cicatrices en octobre/2007, en les mettant en rapport avec la formation des anneaux de croissance. La structure anatomique du bois et des anneaux a été caractérisée, en déterminant son nombre, larguer et appliquées techniques de dendrochronologie. Des anneaux de croissance ont été synchronisés, en utilisant les programmes COFECHA, ARSTAN et RESPO, en déterminant la relation du large avec les variables climatiques et l'âge des arbres. La decomposition interne de le bois a été évalué en se déterminant le diamètre de l'oco interne dans le tronc. La variation radiale de la densité apparente du bois a été déterminée par la densitométrie de rayons X. Des anneaux de croissance délimités par le parénquima axial marginal sont teste annuels et permettent la détermination de l'âge d'arbres d'acajou (80-122 années) et la construction de chronologies. La variable climatique déterminante pour la plus grande croissance en diamètre du tronc des arbres a été la précipitation dans les mois préalables, le début et la fin de la gare pluvieuse (juin-août, décembre et mars) en indiquant son potentiel pour reconstructions climatiques. Les profils radiaux de densité apparente du bois, obtenus par densitométrie de rayons X, permettant l'identification de la limite précise des anneaux pour valeurs minimales de densité dans la région de parénquima marginal. L'analyse de régression entre la large des anneaux mesurés en table de mesure et par densitométrie de rayons X présente une valeur de $r^2=0.92$, en montrant la potentialité des rayons X comme outil pour études de dendrochronologie. Des internes ocos ont été observés dans 20% des arbres au-dessus de 62 cm de diamètre à la hauteur de la poitrine (DAP).

Mots clef : anneaux de croissance ; fenêtres de Mariaux ; dendrochronologie; dendroclimatologie; densitométrie de rayos X;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa Florestal do Peru 2005, sub-tipos de associações (bosques) para o Departamento de Madre de Dios, Área de Estudo, fronteira com Acre, Brasil e Pando, Bolívia (INRENA, 2005)	42
Figura 2 – Climatogramas das Estações Meteorológicas Ibéria e de Puerto Maldonado no Departamento Madre de Dios, Peru. (SENAMHI, 2008).....	44
Figura 3 – Mapa de densidade populacional e ocorrência natural de árvores de <i>S. macrophylla</i> no Peru (LOMBARDI; HUERTA, 2007).	45
Figura 4 – Mapa de localização das áreas de estudo A e B, correspondentes ao Departamento de Madre de Dios, Peru. (GOOGLE EARTH, 2009)	45
Figura 5 – Amostragem não destrutiva do lenho de árvores de <i>S. macrophylla</i> com sonda de Pressler	46
Figura 6 – Análise anatômica macro e microscópica do lenho de <i>S. macrophylla</i>	49
Figura 7 – Marcação cambial no tronco de árvores de <i>S. macrophylla</i>	50
Figura 8 – Análise dos anéis de crescimento no lenho de árvores de <i>S. macrophylla</i>	52
Figura 9 – Oco em árvores de <i>S. macrophylla</i>	56
Figura 10 – Metodologia de raios X e obtenção dos perfis radiais de densidade do lenho de <i>S. macrophylla</i>	58
Figura 11 – Temperatura média anual no período de 1960 a 1990 (Departamento Madre de Dios)	59
Figura 12 – Precipitação média anual no período de 1960 a 1990 (Departamento Madre de Dios)	59
Figura 13 – Ajuste de dados meteorológicos para a temperatura e precipitação media no período de 1960-1990 para o Departamento de Madre de Dios.....	61
Figura 14 – Anatomia microscópica de Mogno (<i>Swietenia macrophylla</i> King.; Família Meliaceae).	63
Figura 15 – Anéis de crescimento da espécie <i>S. macrophylla</i>	65
Figura 16 – Anéis de crescimento falsos e indiferenciados identificados na espécie <i>S. macrophylla</i>	66

Figura 17 – Microscopia do lenho de <i>S. macrophylla</i> formado no período 2006-2007, árvore MRA 6.	68
Figura 18 – Cronosequência da formação do anel de crescimento em árvores de <i>S. macrophylla</i> e em destaque a marcação cambial (canais de goma) na seção transversal do lenho amostra MRA2.....	70
Figura 19 – Cronosequência da formação do anel de crescimento em árvores de <i>S. macrophylla</i> e em destaque a marcação cambial (canais de goma) na seção transversal do lenho amostra MRA7.....	70
Figura 20 – Canais de goma formados no lenho de <i>S. macrophylla</i> como resposta à marcação cambial realizada em outubro 2006.	71
Figura 21 – Larguras de anéis de crescimento das árvores de mogno	72
Figura 22 – Larguras de crescimento transformadas em índices para cada árvore de <i>S. macrophylla</i> amostrada em outubro 2007.....	73
Figura 23 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), série master obtida pelos índices de anéis de crescimento com COFECHA e numero de amostras utilizadas na análise da população A (inferior)	76
Figura 24 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), série máster obtida pelos índices de anéis de crescimento com COFECHA e numero de amostras utilizadas na análise na população B (inferior).....	77
Figura 25 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), cronologia master obtidas pelos índices de anéis de crescimento com ARSTAN e numero de amostras utilizadas na análise na população A (inferior)	80
Figura 26 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), cronologia master obtidas pelos índices de anéis de crescimento com ARSTAN e numero de amostras utilizadas na análise na população B (inferior)	81
Figura 27 – Comparação das cronologias master das populações A e B para o Departamento de Madre de Dios, Peru	83
Figura 28 – Correlação entre a cronologia master da população A com a temperatura média e precipitação média do Departamento de Madre de Dios	85
Figura 29 – Correlação entre a cronologia master da população B com a temperatura média e precipitação média do Departamento de Madre de Dios	86
Figura 30 – Correlações entre índices de anéis de crescimento com as variáveis climáticas mensais da região para a população A (superior) e população B (inferior).....	89

- Figura 31 – Perfil radial de densidade aparente no lenho das árvores de *S. macrophylla*.
Tendência de crescimento e diferenciação de Cerne e Alburno no perfil 96
- Figura 32 – Demarcação do limite da camada de crescimento em árvores de *S. macrophylla*,
identificação de alguns limites de anéis de crescimento no perfil densitométrico .. 97
- Figura 33 – Regressão linear da largura dos anéis de crescimento determinada pela mesa de
mensuração e pela metodologia de densitometria de raios X em ambas populações
(superior), relação entre densidade aparente média (g.cm^3) e a largura (mm) das
camadas de crescimento. a linha contínua mostra a tendência dos dados 99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores anuais de temperatura média (T_{med} , °C) e precipitação média (PPT_{med} , mm) das Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios, 1960 a 1990	60
Tabela 2 – Ajuste dos registros anuais de temperatura média (T_{med} , °C) e precipitação média (PPT_{med} , mm) para as Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios, entre os anos de 1960 a 1990.....	60
Tabela 3 – Inter-correlação das séries dendrocronológicas obtidas a partir da comparação das larguras de anéis de crescimento	74
Tabela 4 – Resultados do controle de qualidade das series executados pelo programa COFECHA	75
Tabela 5 - Intercorrelação das séries cronológicas a partir das larguras de anéis de crescimento para a população A.	78
Tabela 6 – Intercorrelação das séries cronológicas à partir das larguras de anéis de crescimento para a população B.	78
Tabela 7 – Idade das árvores e o período de cada serie cronológica nas populações amostradas no Departamento de Madre de Dios.....	82
Tabela 8 – Coeficiente de correlação Pearson's entre as duas cronologias máster das Populações A e B.....	82
Tabela 9 – Coeficiente de correlação de Pearson para a relação entre índices de largura de anéis da população A (cronologias máster), valores mensais de precipitação (PPT_{med} , mm) e temperaturas médias (T_{med} , °C).	87
Tabela 10 – Coeficiente de correlação de Pearson para a relação entre índices de largura de anéis da população B (cronologias máster), valores mensais de precipitação (PPT_{med} , mm) e temperaturas médias (T_{med} , °C).	88
Tabela 11 – Informações do lenho das amostras obtidas com sonda Pressler em árvores ocas, localizadas no Departamento de Madre de Dios	93
Tabela 12 – Volume de perda de lenho estimado na altura do DAP das árvores de <i>S. macrophylla</i>	94
Tabela 13 – Densidade aparente do lenho de árvores de <i>S. macrophylla</i> correspondente à População A.....	96
Tabela 14 – Densidade aparente do lenho de árvores de <i>S. macrophylla</i> correspondente à População B.....	96

1 INTRODUÇÃO

As florestas da Amazônia Tropical são constituídas por significativa diversidade de espécies arbóreas, que têm um complexo controle do seu crescimento e desenvolvimento regidos pelas condições climáticas, competição intra e inter-específica, efeito de agentes bióticos, abióticos, etc. (LAMPRECHT, 1990). Nestas condições, as árvores das florestas tropicais têm o seu ritmo de crescimento - em altura e em diâmetro do tronco -, sua fenologia e demais processos morfo-fisiológicos interagindo com as condições ecológicas do sítio em que ocorrem (SALISBURY; ROSS, 1994).

Os estudos de fenologia e de anatomia do lenho de árvores de ecossistemas florestais tropicais indicam, para significativo número de espécies, a formação de anéis de crescimento diferenciados no lenho e sua relação com os eventos fenológicos. Nesta complexa interação, a sazonalidade da ocorrência das variáveis climáticas, como a precipitação e a temperatura, desempenha importante efeito indutor da dormência e da ativação das células da camada cambial do tronco das árvores tropicais (JACOBY, 1989). Os registros indicam que, em períodos com valores de precipitação pluviométrica inferiores a 50-100 mm.mês⁻¹, observam-se mudanças nos eventos fenológicos nas árvores de inúmeras espécies. Neste período, muitas espécies de árvores da floresta tropical apresentam o fenômeno de caducifolia, em resposta ao estresse hídrico, resultando em dormência ou diminuição do seu ritmo de crescimento e na formação dos anéis de crescimento (WORBES, 1995). Da mesma forma, latência do câmbio de árvores de espécies tropicais pode ser induzida por outros eventos característicos desses ecossistemas, principalmente a ocorrência de inundações anuais, por períodos de vários meses (ALVIM; ALVIM, 1978).

Para a compreensão da auto-ecologia das árvores de espécies longevas de ecossistemas tropicais são requeridas cronologias de crescimento e de sobrevivência de longo prazos (BRIENEN, 2005; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005) e que podem ser obtidas, somente, através da análise dos seus anéis de crescimento (dendrocronologia) e que associada às variações climáticas podem levar a reconstrução climática (dendroclimatologia), além de permitir a definição das diferentes etapas da sucessão florestal (dendroecologia) até atingir a maturidade (FRITTS, 1976).

Estas informações obtidas através da análise dos anéis de crescimento das árvores podem, da mesma forma, proporcionar a elaboração de modelos de predição de eventos climáticos (exemplos: incêndios florestais, ocorrência de El Niño, La Niña, secas, etc.), além de fornecer

dados imprescindíveis para o monitoramento ambiental e tomada de decisões no manejo florestal sustentado (STAHLE, 1999; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001, WORBES et al., 2003).

Nos estudos de dendrocronologia aplicados as árvores de espécies tropicais devem ser, inicialmente, selecionadas as que apresentam características potenciais, relacionadas com a fenologia e a estrutura do seu lenho. Dentre estas, a família Meliaceae tem significativa importância (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000), com espécies de grande valor ecológico-econômico, como a *Swietenia macrophylla* (TOMOYUKI, 2000) e que, atualmente, encontra-se incluída no Apêndice II da Convenção Internacional para o Manejo de Espécies Ameaçadas da Flora e Fauna Silvestres (CITES-Perú) (INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION – ITTO, 2004).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Caracterizar e analisar o lenho e os anéis de crescimento de árvores de mogno, na floresta tropical Amazônica, do Departamento de Madre de Dios, Peru, visando sua aplicação na dendrocronologia, no manejo florestal e na avaliação da qualidade do seu lenho.

1.1.2 Objetivos específicos

Caracterização da estrutura macro e microscópica do lenho e dos anéis de crescimento do lenho de árvores de mogno nas populações ocorrentes na floresta tropical da Amazônia Peruana,

Comprovação da anualidade da formação dos anéis de crescimento e determinação da idade das árvores de mogno,

Aplicação das análises dos anéis de crescimento das árvores de mogno em estudos de dendroclimatologia e dendroecologia,

Avaliação da biodeterioração do lenho das árvores de mogno, através de método não destrutivo,

Aplicação da técnica de densitometria de raios X no estudo do lenho e dos anéis de crescimento de árvores de mogno,

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Floresta Tropical Amazônica Peruana

As florestas tropicais amazônicas constituem o bioma mais extenso do Peru, ocupando uma área de aproximadamente 76 milhões de ha (INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES – INRENA, 1995). É um ecossistema único que abriga uma grande biodiversidade vegetal e animal, gerando um ambiente importante e estratégico devido à presença de uma grande quantidade de matéria prima utilizada na elaboração de produtos, diversidade cultural (etnias) e espaço (KALLIOLA; PUHAKKA; DANJOY, 1993). Este ecossistema amazônico apresenta clima tropical, caracterizado por temperaturas constantes, com médias mensais entre 24-26 °C, com valores mínimos entre 18-20 °C e máximos entre 33-36 °C. A variação diária da temperatura (amplitude térmica diária) oscila entre 5-8 °C; no entanto, a amplitude térmica anual varia de 1-2 °C. A umidade relativa do ar é superior a 75% e as precipitações mínimas para manter a floresta úmida são próximas a 1800 mm anuais, com taxa de precipitação ótima em 2.000 mm.ano⁻¹, distribuída, mais ou menos (conforme as estações climáticas), regularmente durante todo o ano. Quando ocorrem 2-3 meses com precipitação inferior a 50-100 mm acontecem mudanças na vegetação, gerando uma floresta com aparência mais seca e representada por algumas espécies com características de caducifolia (WALSH, 2005), em consequência de déficit hídrico no solo.

Conforme o INRENA (1994), o relevo é plano e propenso a inundações, compreendendo as terras baixas hidromórficas, terras baixas inundáveis, terras não inundáveis, terras intermediárias plano-onduladas e terras altas plano-côncavas; colinas baixas ligeiramente divididas, colinas moderadamente divididas e colinas baixas fortemente divididas. Os tipos de solo são muito heterogêneos, contudo, quase todos apresentam origem fluvial proveniente de sedimentos trazidos dos Andes através de milhões de anos e, que passaram por diversos processos de transformação encontrando-se os “*ultisois*” (profundos, bem drenados e com conteúdo de argila próximo de 49,2%); os “*entisois*” (jovens e superficiais, com teor de argila em 12,8%); os “*inceptisois*” (jovens, com diferenciação de horizontes e com teor de argila de 10,5%); os “*alfisois*”, os “*vertisois*” e os “*molisois*” (moderadamente férteis, com teor argila em 3%) e os “*espodosois*” (solos muito inférteis, arenosos e com teor de argila inferior a 0,1%), segundo a classificação peruana de tipos de solos (INRENA, 1975).

A complexidade da Amazônia pode ser vista claramente na sua estrutura, mais elaborada que em florestas temperadas (KALLIOLA; PUHAKKA; DANJOY, 1993). A presença de múltiplos estratos ao longo da sucessão da floresta leva-nos, segundo Lamprecht (1990), a identificar diferentes espécies (tolerantes ou intolerantes) que devem sua posição a algum acontecimento favorável, como à abertura de clareiras, dependendo do grau de tolerância à luz.

Todas estas características geraram um mosaico de tipos de floresta, os quais mantêm uma alta biodiversidade e variadas comunidades de plantas e animais, sendo encontradas numerosas espécies endêmicas e em perigo de extinção, tais como os exemplos citados por Suito (1998), como o lobo do rio (*Pteronura brasiliensis*), o jaguar (*Panthera onca*), a águia arpia (*Harpia harpia*), o caimán negro (*Melanosuchus niger*), o urso de óculos (*Tremarctos ornatus*), o tapir (*Tapirus pinchaque*, *Tapirus terrestris*), o galo das rochas (*Rupicola peruviana*), e várias espécies de guacamayos (*Ara spp.*), crácidos (*Cracidae spp.*), entre outros. Além disso, têm sido identificadas 308 espécies de árvores.ha⁻¹ ao longo de algumas paisagens da bacia amazônica peruana. Entre as espécies madeireiras de importância econômica encontram-se o mogno (*Swietenia macrophylla*), o cedro tropical (*Cedrela odorata*) e a cumala (*Virola sp.*), representando 90% do aproveitamento total de madeira no Peru. Alguns dos recursos não-madeireiros da floresta são de grande importância econômica para as comunidades locais, como a castanheira (*Bertholletia excelsa*) e várias outras espécies de palmeiras como o "huasaí" (*Euterpe precatória*), "pijuayo" (*Bactris gasipaes*) e "aguaje" (*Mauritia flexuosa*).

Atualmente a vegetação é cada vez mais submetida a um intenso extrativismo dos recursos naturais, sobretudo de madeira. A pecuária extensiva e a falta de adaptação da agricultura formam também parte da mesma estratégia de ocupação extrativista e provocam o avanço da destruição das florestas tropicais. Estas atividades afetam o solo, a qualidade da água e, especialmente, a destruição do maior reservatório de CO₂ do planeta, provocando a intensificação do efeito estufa e perda irreversível da biodiversidade e do espaço vital para etnias indígenas (ASOCIACIÓN INTERÉTNICA DE DESARROLLO DE LA AMAZONIA PERUANA – AIDECEP, 2002).

2.2 O Gênero *Swietenia* e a espécie *S. macrophylla*

O gênero *Swietenia* foi estabelecido em 1760, por Jacquin, com a espécie *Swietenia mahagoni*. Trata-se de um gênero americano de poucas espécies, tendo afinidade com as “caobas” africanas *Kahya* e *Entandrophragma* (BASCOPE; BERNARDI; LAMPRECHT, 1957). Conforme Panshin (1933) e Gleason e Panshin (1936), o gênero foi descrito inicialmente por seis espécies: i) *Swietenia mahagoni* Jacq. - ocorrente nas Bermudas, Bahamas, Cuba, Santo Domingo, Porto Rico, Jamaica e sul do Estado da Flórida, nos EUA; ii) *Swietenia macrophylla* King - ocorrente no México, países da América Central, Colômbia, Peru, Bolívia e Brasil; iii) *Swietenia humilis* Zucc. - ocorrente no México até a Costa Rica; iv) *Swietenia cirrhata* Blake - ocorrente no México e El Salvador; v) *Swietenia candollei* Pittier - ocorrente na Venezuela; e vi) *Swietenia tesmannii* Harms - ocorrente no Peru. Posteriormente, verificou-se que as espécies *S. macrophylla*, *S. candollei* e *S. tesmannii* eram constituídas por indivíduos da mesma espécie, bem como a igualdade entre *S. cirrhata* e *S. humilis*, o que reduziu o gênero *Swietenia* à somente três (*S. macrophylla*, *S. humilis* e *S. mahagoni*) das espécies anteriormente relacionadas. Em seguida, foi proposta uma quarta espécie a partir de material botânico coletado na Amazônia brasileira, denominada por *S. krukovii* Gleason (GLEASON; PANSHIN, 1936) que, de acordo com Rizzi (1978), não pôde ser confirmada no gênero, devido às diferenças morfológicas encontradas serem consideradas dentro das variações da espécie *S. macrophylla*.

2.2.1 *Swietenia macrophylla* King

A espécie *Swietenia macrophylla* apresenta inúmeros nomes vulgares, dentre os quais podem ser citados por exemplo: aguano, mogno, araputanga e cedro-rana no Brasil; caoba das Honduras em Porto Rico, chacalte na Guatemala; caoba no Peru; caoba americana, cedro carmesí, cedro espinoso e granadillo na Colômbia; crura na Bolívia; caobo, oruro, caoba negra e caoburo na Venezuela; caoba no México, no Panamá, em Cuba, na Costa Rica, em Honduras e em outros países da América Central, entre outras tantas denominações populares citadas por diferentes autores.

Deve-se considerar que, embora a espécie tenha sido estudada desde 1932 na região da América Central e Caribe, somente a partir da Missão FAO na Amazônia, ao término da década de 1950, foi que se iniciaram as pesquisas florestais. A primeira tentativa bem sucedida de se

determinar à zona de ocorrência da espécie pertence à obra publicada em 1967, por Lamb (1999). Bascopé, Bernardi e Lamprecht (1957), Rizzini (1978) e Sudan (1979), citam que a espécie *Swietenia macrophylla* ocorre naturalmente a partir da Península de Yucatan no México, atravessa a América Central até a Venezuela, Colômbia, Bolívia e Peru e alcança à parte ocidental da floresta amazônica brasileira. Devido à sua vasta distribuição (área de ocorrência), apresenta enorme amplitude ecológica, sendo encontradas em florestas pluviais, florestas de montanha e matas de galeria, em ambientes com precipitação anual entre 1.200 e 4.000 mm e localizados entre as latitudes 20° Norte e 20° Sul.

Na floresta amazônica peruana, a distribuição natural do mogno encontra-se nos Departamentos de Loreto, San Martin, Pucallpa e Madre de Dios (LOMBARDI; HUERTA, 2008). Conforme os dados publicados por Terezo (1999), o mogno (*S. macrophylla*) tem sua área de ocorrência na Amazônia Brasileira, em forma de arco, a partir do Rio Araguaia até as fronteiras com o Peru (ao Sul) e a Bolívia (ao leste). Os Estados do Acre (100%) e Rondônia (97,2%) estão integralmente inseridos na área de ocorrência do mogno, diminuindo sua ocorrência no Pará (46,7%), Mato Grosso (23,6%), Amazonas (21,4%), Maranhão (0,85%) e Tocantins (0,27%).

As árvores de *S. macrophylla* ocorrem principalmente nas florestas ombrófilas abertas, florestas semidecíduais e decíduais (que perdem as folhas de maneira parcial ou total, respectivamente, durante a estação seca), nas áreas de transição ecológica e também na floresta ombrófila densa, porém em menor proporção. Sua preferência por áreas onde ocorre uma estação seca definida é notória e realçada pelo autor (LAMB, 1966 apud TEREZO, 1999).

Variadas descrições a respeito da espécie *S. macrophylla*, incluindo taxonomia, botânica, aspectos ecológicos, características silviculturais, fenologia, entre outros, são apresentadas por diversos autores (BASCOPE; BERNARDI; LAMPRECHT, 1957; LORENZI, 1992; PRANCE; SILVA, 1975; RIZZINI, 1978; SUPERINTENDÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA - SUDAM, 1979).

Os eventos fenológicos podem ser influenciados pelas condições ambientais locais, como a queda das folhas e a formação dos frutos no período de julho a setembro e o florescimento após a renovação da copa nos meses de agosto a setembro (PRANCE; SILVA, 1975). Lorenzi (1992) cita que o período de florescimento das plantas ocorre entre novembro e janeiro e o período de frutificação ocorre de setembro a novembro, sujeitos às variações espaço-temporais e estacionais.

Em Curuá-Uma, Sudam (1979) observou que as árvores perderam as folhas durante os meses de janeiro e fevereiro, floresceram de março a abril e frutificaram de outubro a novembro. Veríssimo et al. (1992 apud TEREZO, 1999) verificaram que a frutificação do mogno na região da Bacia do Araguaia ocorreu de julho a outubro, e Barros et al. (1992 apud TEREZO, 1999) constaram que a frutificação pode variar de março a outubro.

De acordo com Lamb (1966) apud TEREZO (1999), *Swietenia macrophylla* é uma árvore de grande porte da América Tropical, comumente com altura acima de 30 m, com fuste retilíneo e cilíndrico e, em geral, apresentando expansões laterais na base do tronco. As folhas são alternas, usualmente pinadas, com folíolos opostos ou ocasionalmente alterados. A espécie ocorre em várias condições ecológicas. As condições de solo toleráveis são variáveis, desde solos profundos pobremente drenados, solos argilosos ácidos e pantanosos, até solos alcalinos bem drenados oriundos de planaltos calcários, incluindo solos derivados de rochas ígneas e metamórficas. A *Swietenia macrophylla* possui uma alta plasticidade genética, daí sua capacidade de apresentar várias adaptações na morfologia foliar tais como tamanho, enrugamento, espessura da cutícula e densidade facultativa (as folhas caem no período de seca), adaptada ao ecótipo considerado. Essas características possibilitam à espécie sobreviver em condições de déficit hídrico equivalente a cinco meses com menos de 100 mm de precipitação por mês, em solos rasos e bem drenados

Conforme revisão apresentada em Tomazello Filho, Botosso e Lisi (2000), no México as árvores chegam a alcançar os 70 m de altura e os 350 cm no DAP, formando parte das florestas altas e medianas, perenifólias e sub-perenifólias dos Estados de Puebla, Vera Cruz, Tabasco, Campeche, Yucatan, Quintana Roo e Chiapas, com altitudes variando do nível do mar até 750 m. Na Venezuela, as árvores de *S. macrophylla* atingem de 20 a 50 m de altura e de 20 a 125 cm de diâmetro, ocorrendo nas regiões norte e central do país, em florestas tropicais secas. Na Costa Rica, a espécie ocorre naturalmente na região noroeste do país e se desenvolve em elevações baixas, com climas secos a muito úmidos, com estação seca definida. Na Bolívia cresce na região de Santa Cruz e em áreas orientais com solo permeável e firme, não à margem dos rios, estando associada com diversas espécies como *Calophyllum brasiliense*, *Hura crepitans*, *Amburana cearensis*, *Cedrela sp*, entre outras. No Panamá, as árvores de *S. macrophylla* atingem os 30 ou 40 m de altura e os 200 cm de diâmetro, ocorrendo em regiões de clima úmido, do nível do mar até 900 m, alcançando melhor desenvolvimento em solos bem drenados. No Brasil as árvores de

mogno são consideradas de grande porte, com altura entre 25 e 50 m e DAP (diâmetro à altura do peito) entre 50 e 200 cm, com raízes tabulares na base e copa estreita, folhagem densa, de coloração verde intensa, ocorrendo nas florestas altas de terra firme, sobretudo em solos argilosos, sendo também encontradas nos campos altos, em terras úmidas e, até mesmo pantanosas quando em regiões com abundante precipitação.

A *S. macrophylla* possui um alto valor comercial, podendo ser utilizada em móveis de luxo, objetos de adorno, decoração de interiores, instrumentos musicais, embarcações leves, construção civil, painéis, compensados, laminados e torneamento, etc, além de produtos não madeireiros e na ornamentação de parques e jardins (BASCOPE; BERNARDI; LAMPRECHT, 1957; LORENZI, 1992; MAINIERI; CHIMELO, 1989; PRANCE; SILVA, 1975; RIZZINI, 1978; SUDAM, 1979).

A madeira possui alborno com coloração branco amarelada e cerne variando de marrom escuro a pardo amarelado ou avermelhado, uniforme, com finas riscas, sem cheiro e sabor e durável, é moderadamente pesada com a variação da sua densidade, entre e dentro de árvores e procedências (BASCOPE; BERNARDI; LAMPRECHT, 1957; MAINIERI; CHIMELO, 1989; PENNINGTON; SARUKHÁN, 1998; SUDAM, 1979).

A descrição macroscópica e microscópica da madeira de *S. macrophylla* foi realizada por inúmeros pesquisadores (DALLWITZ, 1993; DUNISH, et al., 2002; FUJII; MARSOEM; FUJIWARA; 1998; MAINIERI; CHIMELO, 1989; PANSHIN, 1933; PENNINGTON; SARUKHÁN, 1998; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001). Dentre os aspectos práticos da estrutura anatômica da madeira, apresentados na literatura, mencionam-se os estudos dendrocronológicos pela aplicação dos anéis de crescimento, distintos e separados pelo parênquima marginal e pela disposição dos vasos (CHOWDHURY, 1940; FUJII; MARSOEM; FUJIWARA, 1998)

2.2.1.1 Estratégia para a conservação e utilização da *S. macrophylla*

As árvores da espécie *Swietenia macrophylla*, também conhecidas como o “ouro vermelho” por seu alto valor comercial, têm elevada importância no mercado internacional de madeiras, ocorrendo em vários países da América do Sul, embora com maior exploração comercial no Peru na atualidade (ITTO, 2004). Suito (2003) cita que a *Swietenia macrophylla* ocorrente no Peru veio a substituir a *Swietenia caribenha* (*S. mahogani*) e a *Swietenia hondurenha* (*S. humilis*), duas espécies que já abasteceram os mercados mundiais de madeira, mas agora se encontram

comercialmente extintas. Segundo dados de ITTO (2004), na década de 1950, as exportações de madeira de *S. macrophylla* no Peru foram inferiores a $10.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, aumentando lentamente até o ano de 1974. Entre os anos de 1975 a 1993, os níveis de produção foram de 15.000 a $57.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, e, em 1995 alcançou o recorde de $101.386 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, para posteriormente ser reduzido a $48.000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, em 1997. Entre os anos 2001 e 2003, os níveis de produção de madeira caíram significativamente devido às exportações do Brasil e da Bolívia (em 2002). Na atualidade a autoridade científica (UNALM) recomendou à entidade administrativa (INRENA) a exportação de 1200 árvores o equivalente a 10000 e $11000 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. No entanto, a cota da exportação foi diminuída de $23\ 269 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ a $13\ 476 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ considerada como insuficiente pela autoridade científica. (ITTO 2004)

De acordo com Terezo (1999), foi graças à discussão fundamentada durante a Conferência das Partes das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como ECO92 ou RIO'92, que a comunidade internacional iniciou um esforço permanente para listar o “mogno de folhas largas” (*Swietenia macrophylla*) no Anexo II da Convenção das Partes sobre o Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas da Fauna e da Flora Silvestres (CITES), julgando ser a forma adequada de proteger a espécie. A proposta da Costa Rica e dos Estados Unidos da América do Norte (EUA) para listagem no Anexo II (CITES), em 1992, tinha 2 únicas referências bibliográficas sobre o mogno da Amazônia Brasileira: Lamb (1966) e *Árvores de Manaus* – publicação contendo relatos sobre as espécies utilizadas na arborização da capital do Amazonas. Durante a X Conferência das Partes da CITES, realizada em Harare, em 1997, o Brasil comprometeu-se a examinar com maior profundidade a questão do mogno propondo a criação de um Grupo de Trabalho para examinar a situação de conservação, práticas de exploração, políticas, manejo e reflorestamento, dimensões da cooperação e do comércio internacional da espécie com o objetivo de promover a produção sustentável do mogno.

Contudo, devido à grande pressão mundial sobre as árvores de espécies florestais nativas que produzem madeiras comercialmente importantes era necessário realizar uma ação também em outros países, de modo a diminuir a sua alta taxa de extração. Por esse motivo, em 15 de novembro de 2003, na Convenção das Partes da CITES, a *S. macrophylla* foi incluída no Anexo II, com o objetivo de evitar sua extinção e protegendo a espécie para assegurar seu posterior comércio sustentável de madeira. Como estratégia nacional imediata, o Peru estabeleceu comissões para uma melhor cooperação entre as autoridades científicas, as governamentais e os

usuários, consistindo na verificação de volumes autorizados de madeira com as autoridades competentes (INRENA). Em um curto prazo foi necessário o estabelecimento de mecanismos de controle de aproveitamento e monitoramento de aplicações de técnicas silviculturais propostos nos Planos Gerais de Manejos Florestais (PGMF) e nos Planos Operativos Anuais (POA), para no futuro realizar um monitoramento do “status” dos povoamentos naturais e das plantações de *S. macrophylla* mantendo os planos silviculturais estabelecidos nos PGMF e POA (ITTO, 2004).

Pesquisas recentes apontam o manejo florestal bem planejado como factível para a preservação da espécie. Da mesma forma, as linhas de pesquisa de diversas instituições estão seguindo uma diretriz segura para a preservação “*in situ*” e “*ex situ*”, resguardando material genético para o melhoramento da espécie, inclusive para assegurar o êxito de reflorestamentos com progênies melhoradas e mescladas com espécies resistentes à *Hypsipyla grandella*, hoje considerada a mais importante praga da espécie (TEREZO, 1999). Bascopé, Bernardi e Lamprecht (1957), Sudam (1979) e outros autores citam que as plantas de *S. macrophylla* são fortemente atacadas por *Hypsipyla grandella* (praga do broto terminal) quando em condições de viveiro e em plantios puros, todavia, podem ocorrer infestações, com menor intensidade, em alguns plantios consorciados e florestas naturais. A extensa revisão bibliográfica feita por Newton et al. (1993) aponta três formas de controle integrado da *Hypsipyla grandella*: i) genótipos resistentes incorporando, isoladamente ou em conjunto, antixenose, antibiose e tolerância; ii) plantios mistos e enriquecimento e iii) controle químico com pesticidas sistêmicos de baixa liberação, com vistas a controlar as populações da praga.

2.3 Dendrocronologia

A palavra dendrocronologia provém do grego: “*dendros*” significa “árvore”, “*cronos*” quer dizer “tempo” e “*logos*” é “ciência”. Por conseguinte, é o campo das ciências florestais que se concentra no estudo de anéis ou camadas de crescimento da madeira e sua relação com a idade da árvore, incluindo a aplicação das informações registradas na sua estrutura anatômica para estudos ambientais e históricos (CORREA, 2004; KAENNEL; SCHWEINGRUBER, 1995; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001). Segundo Fritts (1976) é a disciplina que estuda a datação e a reconstrução de eventos tais como clima, incêndios florestais, atividade vulcânica, entre outros, a partir de características nos anéis de crescimento das árvores.

A dendrocronologia reúne uma grande quantidade de dados de alto valor para a tomada de decisões no manejo florestal, como registros de crescimento, qualificação e acompanhamento dos volumes de madeira produzidos, assim como a estimativa da biomassa e do CO₂ fixado na madeira, sendo uma fonte importante de informação à respeito da sua qualidade ao permitir observar sua heterogeneidade, formação e defeitos. Admite a realização de estudos de auto-ecologia, avaliação ou resposta de atividades silviculturais e de reconstrução de eventos climáticos, entre outros (CORREA, 2003). Conforme Fritts (1976) e Corona (1986), a dendrocronologia tem sua aplicação em múltiplos eventos ambientais, estudados pelas disciplinas de dendroclimatologia, dendroecologia, dendroclimatografia, dendroquímica, dendrohidrologia, dendrogeomorfologia, dendrosismologia, dendroglaciologia, dendroarqueologia, entre outras, consideradas as mais exploradas pelo campo científico.

2.3.1 Potencialidade do gênero *Swietenia* para a dendrocronologia

A literatura relata que nem todas as espécies arbóreas da floresta tropical são ideais para os estudos de dendrocronologia e, em muitos casos, é difícil visualizar uma demarcação clara dos limites dos anéis de crescimento. Nas árvores de diferentes zonas tropicais, os anéis de crescimento presentes no lenho das árvores podem, da mesma forma, não corresponder sistematicamente a um ano. Isto ocorre porque a formação dos anéis de crescimento não se dá apenas em função da quantidade de precipitação mas, também, dos períodos de seca e inundação, podendo ocorrer dois ou mais ciclos em um ano, além da formação de anéis descontínuos ou falsos anéis de crescimento (CORREA, 2003; BOTOSSO; PÓVOA DE MATTOS, 2002; WORBES, 1995). Por esta razão, a dendrocronologia utiliza os princípios e critérios estabelecidos por Fritts (1976) que devem ser considerados para a seleção de árvores de espécies em ecossistemas tropicais.

Inúmeras famílias botânicas de espécies folhosas arbóreas tropicais possuem potencial para a dendrocronologia, dentre estas a das *Meliaceae*. Nessa família, o gênero *Swietenia* reúne importantes e fundamentais características para a sua aplicação em dendrocronologia, tais como, (i) significativo número de espécies nos ecossistemas florestais, com ampla diversidade ecológica em vários continentes; (ii) espécies apresentando eventos fenológicos distintos, como a queda das folhas na estação seca, em condições naturais e em plantios; (iii) madeira com estrutura anatômica característica pela nitidez e delimitação dos anéis anuais de crescimento; (iv) árvores

com altas taxas de crescimento em diâmetro do tronco e em altura; (v) madeira de densidade média, permitindo a retirada de amostras por métodos não destrutivos; (vi) disponibilidade de informações sobre a idade e taxa de crescimento, pela marcação do câmbio, uso de bandas (faixas) dendrométricas e medição da largura dos anéis anuais de crescimento; (vii) extensa bibliografia sobre taxonomia, dendrologia, botânica, florística, fitossociologia, silvicultura, propriedades da madeira, entre outros (TOMAZELLO FILHO; LISI, 2000). Na Índia, as árvores de *S. macrophylla* perdem as suas folhas no período seco, enquanto o mecanismo de caducifolia é regulado pelo balanço de água no interior da planta. A temperatura desempenha um importante papel na atividade cambial, iniciando o crescimento em diâmetro do tronco quando ocorre o máximo valor da temperatura. Alguns estudos indicaram que os anéis de crescimento são formados a cada ano e demarcados pelas células do parênquima axial inicial (CHOWDHURY, 1940; CHOWDHURY; RAO, 1948).

Fujji, Marsoem e Fujiwara (1998) estudaram a sazonalidade da atividade cambial e a formação dos anéis de crescimento em árvores de plantação de *S. macrophylla*, em Java, através da marcação cambial pela inserção de uma agulha. A variação da atividade cambial das árvores ao longo do ano induziu a formação de faixas de parênquima axial marginal, delimitando os anéis de crescimento anuais. Os autores concluem, também, que as curvas densitométricas das amostras do lenho das árvores de *S. macrophylla*, obtidas por microdensitometria de raios X, podem ser aplicadas na determinação da idade das árvores pela indicação do parênquima inicial e demarcação dos anéis de crescimento anuais.

No estado de Minas Gerais, Brasil, as árvores de *S. macrophylla* mostraram que a atividade cambial e a formação dos anéis de crescimento sofreram influência das variações climáticas. A atividade máxima das divisões cambiais coincidiu com a época de maior precipitação e temperatura (período de novembro a março), as células derivadas das cambiais iniciais, mais largas e com paredes mais finas, foram identificadas na seção transversal, formando o lenho inicial. A atividade mínima do câmbio ocorreu de abril a agosto-setembro, devido à redução dos fatores climáticos e a formação de células menores, com paredes celulares espessas, características do lenho tardio (SILVA et al., 1991).

Na Amazônia Legal Brasileira, estudos com árvores de *S. macrophylla*, *Carapa guianensis* e *Cedrela odorata* mostraram que a sua dinâmica de crescimento cambial ocorre um período anual de dormência. Em árvores de *S. macrophylla*, a atividade cambial foi detectada desde o

final de agosto até o início de agosto do ano seguinte, indicando uma variação maior do que a verificada para as árvores de *C. odorata* que para a atividade cambial no mês de maio, inícios da época estação seca. A formação de zonas de incremento no lenho das árvores de *S. macrophylla* foi determinada pelo suprimento de água disponível, uma vez que se observou um período de dormência em meses de moderada seca, enquanto a divisão celular do câmbio se restringia a épocas mais úmidas (DÜNISCH; MONTÓIA; BAUCH, 2003).

Tomlinson e Craighead (1972) verificaram que árvores de *S. macrophylla*, de plantações no Sul da Flórida, EUA, formam somente um anel de crescimento por ano. Apesar das plantas apresentarem diversas épocas de brotação durante o período, o anel anual de crescimento é formado com a brotação de maio-junho, com emissão de novos ramos associada ao florescimento das plantas.

2.3.2 Aplicação de técnicas para o estudo dendrocronológico

2.3.2.1 Periodicidade do crescimento por injúrias cambiais

Árvores de determinadas espécies florestais tropicais podem não desenvolver anéis de crescimento perfeitamente distinguíveis no seu lenho, contrariando o que ocorre em árvores de clima temperado, nas quais, a relação entre a formação dos anéis de crescimento e as condições ambientais são conhecidas (HIENDRICH, 2004).

Com o objetivo de definir a época de formação dos anéis de crescimento, Mariaux (1967) e Wolter (1968) desenvolveram um método que consiste em induzir injúrias nas células da camada cambial com agulha ou estilete, resultando na formação de tecido de cicatrização no lenho, passível de datação. Diversos estudos foram realizados aplicando a metodologia de determinação da anualidade de formação dos anéis de crescimento em diferentes linhas de pesquisa compreendendo espécies e ecossistemas florestais, plantações, xilogênese, dinâmica do crescimento do tronco, etc (BAUCH; DUNISH, 2000; FUJII, MARSOEM; FUJIWARA, 1998; KURODA; SHIMAJI, 1985; KURODA, 1986; NOBUCHI et al., 1995; SHIOKURA, 1989; WORBES, 2003).

Visando determinar com precisão o período inicial-final da atividade cambial e a transição dos lenhos inicial-tardio durante o período de crescimento do tronco das árvores de *Tectona grandis*, no Brasil e na Tailândia, esta metodologia foi aplicada em diferentes períodos

(semanais, bisemanais, mensais) (CARDOSO; TOMAZELLO FILHO, 1988; PUMIJUMNONG; ECKSTEIN; SASS, 1996).

Com árvores de diferentes espécies tropicais em condições de sazonalidade climática menos intensa, na Malásia, a metodologia da “janela de Mariaux” foi aplicada por Sass, Eckstein e Killman (1995) durante 4 anos, determinando a periodicidade da atividade cambial e a formação dos anéis de crescimento. Outros autores, como Dünish et al. (2002); Nobuchi, Ogata, e Siripatanadilok (1995); Schmitt et al. (2000, 2004) e Wolter (1968) aplicaram o mesmo princípio de indução de injúrias nas células cambiais pela inserção de agulhas no caule de árvores de diferentes espécies florestais, com resultados similares aos da “janela de Mariaux”, embora com menor dano às células cambiais e pequenas cicatrizes no lenho, resultado do processo de cicatrização.

Após da realização das injúrias cambiais através da “janela de Mariaux” ou pela aplicação de agulhas, ocorre uma alteração do processo de diferenciação das células da camada cambial e a indução de reação na estrutura dos tecidos afetados. O exame microscópico da região do câmbio e do xilema em processo de cicatrização permite a identificação das células existentes e as formadas após a injúria. No entanto, se o tecido de cicatrização formado pela ferramenta de corte, na região do ferimento exercer uma pressão nos tecidos recém-formados do xilema e nas células xilemáticas indiferenciadas, pode ocorrer o colapso de áreas no xilema (SEO, 2006) dificultando a identificação dos elementos xilemáticos.

2.3.2.2 A densitometria de raios X em estudos dendrocronológicos

A variação da densidade do lenho nos sentidos radial-longitudinal do tronco das árvores de diferentes espécies é de natureza anatômico-fisiológica. As dimensões das células do lenho são influenciadas pela natureza e teor de auxinas produzidas e exportadas pelas gemas terminais e vigorosas porções da copa das árvores, durante a estação de crescimento (HAYGREEN; BOWYER, 1982). Amaral (1994) cita que a espessura da parede celular das células do lenho está relacionada com a taxa e tempo de deposição das microfibrilas, a partir das organelas citoplasmáticas. Segundo Larson (1963) existe mais variabilidade nas características do lenho no tronco de uma árvore de uma espécie, do que entre as árvores crescendo em um mesmo ou em diferentes sítios.

A maior variabilidade da densidade do lenho das árvores ocorre no anel de crescimento anual devido à formação do lenho inicial (largo e de baixa densidade) e do tardio (mais estreito e de alta densidade). Existe também um padrão de densidade do lenho, da base para o topo, no sentido medula-casca e, em diferentes lados do tronco das árvores (DADSWELL, 1960; POLGE; ILLY, 1967; SLUDER, 1972). Conforme Lousada (1990), a variabilidade da densidade do lenho entre os anéis de crescimento das árvores de uma mesma espécie apresenta um padrão de variação constante.

Polge (1966) desenvolveu uma técnica acurada de densitometria de raios X que permite obter os valores de densidade aparente dos lenhos inicial-tardio dos anéis de crescimento, densidade aparente média, máxima e mínima, transição lenho inicial-tardio, madeira juvenil-adulta e demais variáveis de qualidade do lenho (FRITTS, 1976; PARKER; MELESKE, 1970).

A partir dos trabalhos de Polge, foram realizados inúmeros estudos em densitometria de raios X, relacionando as variáveis intra-anuais de densidade com os fatores ambientais, como na climatologia, hidrologia e ecologia (AMARAL, 1998).

Vetter e Botosso (1989) determinaram uma correlação positiva entre a variação da densidade intra-anéis de crescimento do lenho de árvores de *Cedrelinga catenaeformis* e a precipitação na Amazônia Brasileira por densitometria de raios X. Tomazello Filho; Botosso e Lisi (2000) demonstraram que os anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata* e *Toona ciliata* têm formação anual, verificada pela aplicação da densitometria de raios X. Akachuku (1981, 1984, 1985) utilizou o perfil de densidade do lenho por densitometria de raios X para determinar a largura dos anéis e estimar o crescimento do tronco das árvores, aplicando o valor da densidade aparente média da madeira para estabelecer sua relação com o índice de precipitação anual.

As variações da densidade do lenho podem ser visualizadas em um filme radiográfico mediante as diferenças de tonalidade da cor cinza (quanto mais claro, maior a densidade aparente; quanto mais escuro menor a densidade aparente do lenho) e pelo perfil radial de densidade de raios X, podendo ser relacionadas com a presença e a densidade dos anéis de crescimento (CORREA, 2004). A metodologia é aplicada em inúmeros campos de pesquisa, como nas análises dendrocronológicas e na demarcação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de muitas espécies tropicais. Conforme Worbes (1995) e Correa (2004), a densitometria de raios X é

uma valiosa ferramenta que permite agrupar uma grande quantidade de informações de alto valor para a tomada de decisões no manejo florestal.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Floresta Tropical Amazônica no Departamento de Madre de Dios

A Floresta Tropical Amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru, caracteriza-se por apresentar uma fisiografia plana, extensa e com relevo ondulado formando montanhas baixas ao leste do país, de 176 até 500 m de altitude. Nas partes altas, classificadas como montanhas do Quaternário, nascem os principais rios. A hidrografia é representada principalmente pelo rio Tahuamanu devendo-se, também, destacar os rios Acre e Yaverija, que formam meandros, pela excessiva energia erosiva, frente à baixa carga sólida que transportam, gerando bordas com exagerada sinuosidade.

Os solos são derivados de rochas sedimentares do período terciário, com influência calcária em várias áreas e constituídos predominantemente por nitossolos, luvisolos, argissolos, gleissolos e alissolos (EMBRAPA, 1999; ZEE, 1999). Os solos são altamente degradados pela alta temperatura e umidade, ocorrendo lixiviação de nutrientes pela alta precipitação durante parte do ano. A fertilidade do solo da floresta tropical amazônica peruana relaciona-se ao ciclo orgânico, com a abundante cobertura vegetal aportando constantemente matéria orgânica em forma de serrapilheira e sua rápida decomposição pelas condições climáticas e ação dos microorganismos. Os solos apresentam uma drenagem moderada, baixa fertilidade, com alta quantidade de alumínio e acúmulo de argila (no subsolo) sendo, conseqüentemente, muito susceptíveis à erosão, agravada pelo desflorestamento (PROGRAMA DE ACCIÓN INTEGRADO PERUANO BOLIVIANO - PAIPB, 1997; PZEE, 1998).

O clima apresenta uma temperatura média anual de 22 a 26°C, com pequena variação durante os meses, registrando-se as médias mais altas e as mais baixas de setembro-abril e maio-agosto, respectivamente. Os meses de setembro-outubro são mais quentes (cerca de 39°C) e julho é o mês mais frio (cerca de 6°C) e também o mais seco do ano. O descenso térmico é produzido pela ocorrência de massas de ar frio provenientes da Antártica, originando o fenômeno denominado de “friagem” que, geralmente, ocorre nos meses de maio-setembro. A taxa acumulada de precipitação anual é de cerca de 1.800 mm, abundante durante os meses do ano, porém, de maio-setembro tem sua intensidade reduzida. A estação seca, denominada por “verão” (junho-agosto) é curta e bem diferenciada, com valores de precipitação de 50 a 100 mm.mês⁻¹ (SENAMHI, 2005; WALSH, 2005).

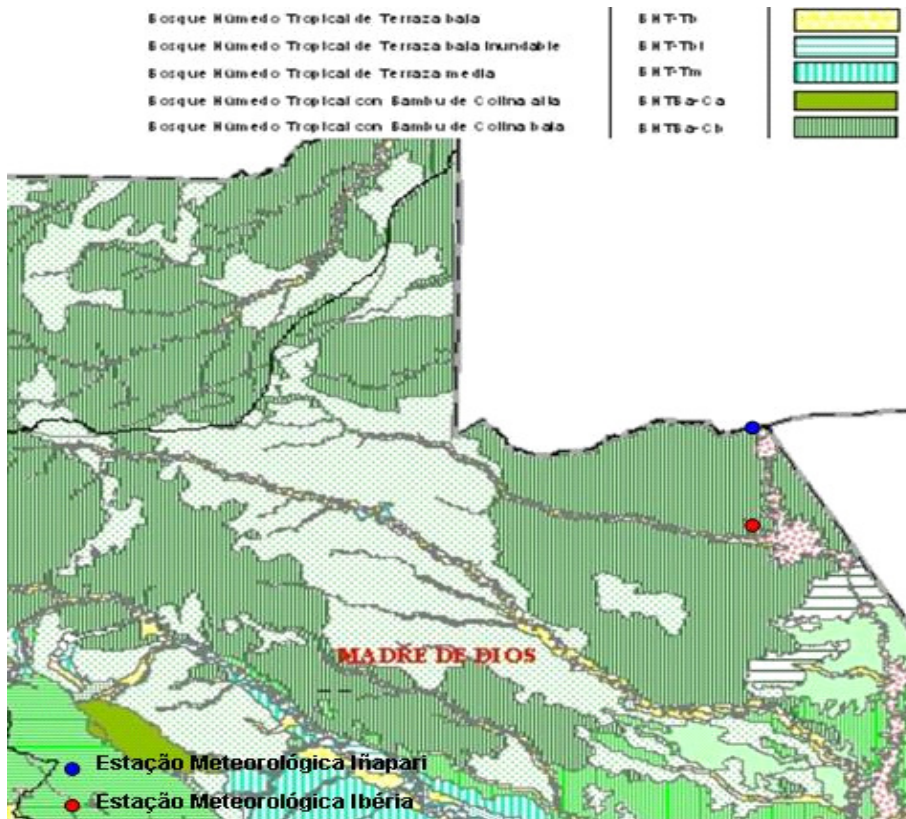


Figura 1 – Mapa Florestal do Peru 2000, sub-tipos de associações (bosques) para o Departamento de Madre de Dios, Área de Estudo, fronteira com Acre, Brasil e Pando, Bolívia (INRENA, 2000)

Conforme o Mapa Florestal do Peru (Figura 1) publicado pelo INRENA (2000), a grande heterogeneidade da floresta tropical deve-se à presença de associações e subtipos de bosques, encontrados predominantemente na área de estudo e classificados em (i) *Bosque Humedo Tropical de Terraza* e (ii) *Bosque Humedo Tropical de Colina*. O *Bosque Humedo Tropical de Terraza* apresenta relevo plano, inundável a pouco inundável e altura relativa sobre o nível do rio menor de 10 m, relativamente plano com algumas depressões e drenagem regular a baixa. Podem ser encontrados sub-tipos de associações de espécies florestais, segundo a fisiografia (forte, média e suave). A cobertura vegetal é típica de floresta primária sempre verde, exuberante, densa e altamente heterogênea, com grande diversidade de árvores de potencial florestal classificado como bom a muito bom (80-120 m³ de madeira.ha⁻¹). O *Bosque Humedo Tropical de Colina* apresenta origem tectônica, com relevo ondulado e acidentado, geralmente mais alto, chegando até os 500 m de altitude. Também podem ser encontrados sub-tipos de associações de espécies de diferente vigor, segundo a fisiografia (forte, média e suave). A cobertura vegetal é de floresta

primária sempre verde, exuberante, densa e heterogênea, com potencial florestal variando de bom a excelente (120-140 m³ de madeira.ha⁻¹).

A vegetação presente no Departamento de Madre de Dios é característica de floresta primária sempre verde, exuberante e heterogênea. No aspecto fito-sociológico, as árvores distribuem-se em até 4 estratos (emergentes, dossel, co-dominantes e dominantes). As principais espécies florestais encontradas são *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, *Chorisia integrifolia*, *Virola sp.*, *Calophyllum brasiliense*, *Calycophyllum spruceanum*, *Guazuma sp.*, *Ochroma lagopus*, *Brosimum sp.*, *Schyzolobium amazonicum*, *Matisia cordata*, *Hura crepitans*, *Simarouba amara*, *Spondias mombin*, *Triplaris sp.*, *Miroxylon balsamum*, *Aspidosperma sp.*, *Apeiba sp.*, *Pterygota amazonica*, *Aspidosperma macrocarpa*, *Aniba sp.*, *Erythryna sp.*, *Brosimum sp.*, *Nectandra sp.*, *Zanthoxylum sp.*, *Ocotea sp.*, *Cedrelinga catenaeformis*, *Protium sp.*, *Ormosia sp.*, *Coumarouna sp.*, *Copaifera sp.*, entre outras (INRENA, 2000).

3.2 Registro climático das Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios

Os registros climáticos de temperatura média ($T_{méd}$, °C) e precipitação média ($PPT_{méd}$, mm.mês⁻¹) foram coletados pelo Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Peru (SENAMHI) em duas estações meteorológicas, sendo (i) Ibéria e (ii) Puerto Maldonado, distanciadas entre si de cerca de 140 km, no Departamento de Madre de Dios.

A Estação Meteorológica Ibéria localiza-se geograficamente a 11°21'01" de latitude Sul, 69°35'01" de longitude Oeste e 275 m de altitude, com os dados utilizados coletados nos anos de 1960-1974. A Estação Meteorológica Puerto Maldonado está georeferenciada a 12°35'37" de latitude Sul, 69°06'22" de longitude Oeste e a 265 m de altitude, com os dados utilizados de registros realizados entre 1958-1999. As duas estações possuem alguns registros incompletos, sendo efetuado um ajuste para complementar as respectivas séries climáticas, utilizando-se as médias mensais gerais dos respectivos períodos, sendo os registros climáticos apresentados na forma de climatogramas na Figura 2.

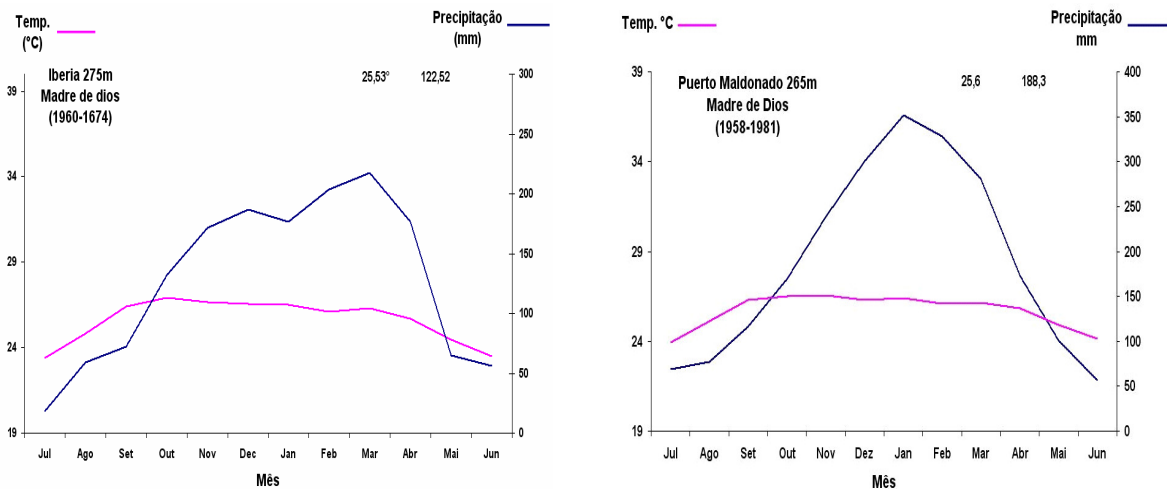


Figura 2 – Climatogramas das Estações Meteorológicas Ibéria e de Puerto Maldonado no Departamento Madre de Dios, Peru. (SENAMHI, 2008)

3.3 Localização da área de estudo e amostragem das árvores de *S. macrophylla*

A área de estudo localiza-se na floresta tropical amazônica peruana no Departamento de Madre de Dios, na fronteira com os Estados do Acre-Brasil e de Pando-Bolívia, com característica ocorrência natural de árvores de mogno, em uma densidade populacional de 0,1-1 árvores/ha (LOMBARDI; HUERTA, 2007) (Figura 3).

A área de amostragem caracteriza-se por dois tipos de florestas, sendo (i) *Bosque Humedo Tropical de Colina Baja Suave* e (ii) *Bosque Humedo Tropical de Colina Baja Fuerte*. Estes foram selecionados de acordo com padrões de distribuição ecológica e de densidade das árvores, acessibilidade e dimensões das árvores de mogno, conforme sugerido por Fritts (1976).

Para cada tipo de floresta realizou-se a amostragem da população de árvores de mogno sendo:

População A: correspondente ao *Bosque Humedo Tropical de Colina Suave*, localizado na área de concessão de conservação de “Rodal Semillero Tahuamanu” (11° 6’ 25” de latitude Sul; 69° 30’ 42” de longitude Oeste), a 2 horas da fronteira com os Estados do Acre e de Pando. A área é caracterizada pela ocorrência de árvores de mogno em estado natural, de menores diâmetros e, em fase de recuperação, devido à intervenção humana (exploração florestal).

População B: correspondente ao *Bosque Humedo Tropical de Colina Fuerte*, localizado na concessão de exploração madeireira da Empresa Madeireira Yaveryja SAC (Maderyja SAC). (11° 3’ 46” de latitude Sul; 70° 7’ 9” de longitude Oeste), a 3 horas da fronteira com os Estados

do Acre e de Pando. A área é caracterizada como floresta primária, encontrando-se árvores de mogno de maiores diâmetros do tronco. As duas populações naturais (Figura 4) encontram-se distantes de cerca de 65 km.

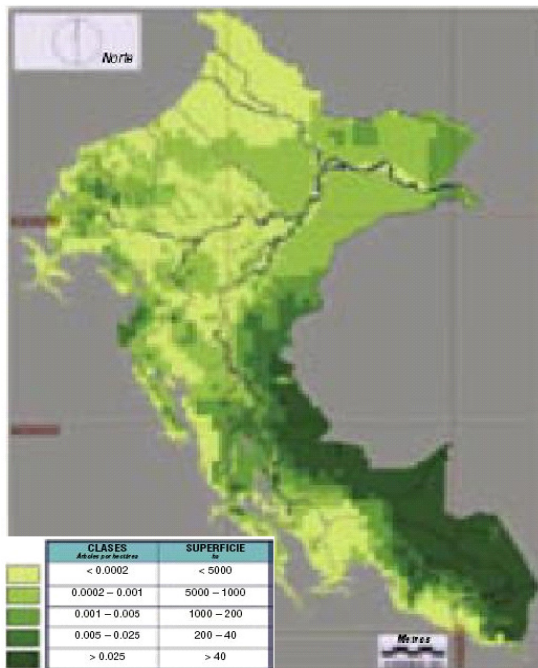


Figura 3 – Mapa de densidade populacional e ocorrência natural de árvores de *S. macrophylla* no Peru (LOMBARDI; HUERTA, 2007)

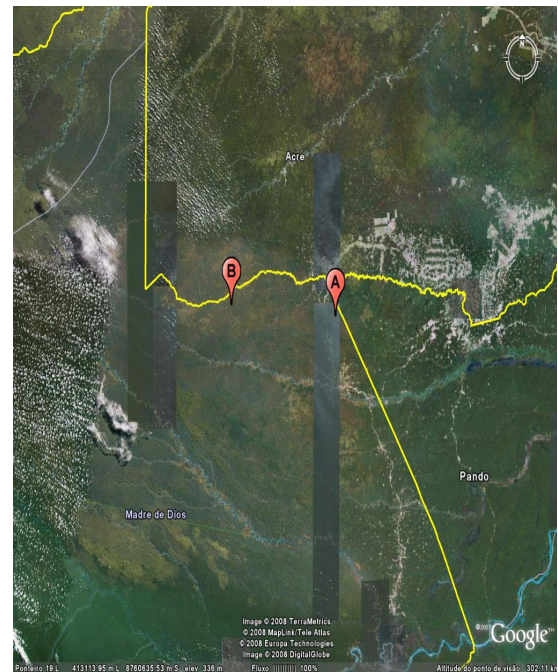


Figura 4 – Mapa de localização das áreas de estudo A e B, correspondentes ao Departamento de Madre de Dios, Peru. (GOOGLE EARTH, 2009)

3.4 Demarcação, coleta e extração de amostras do lenho das árvores de *S. macrophylla*

As árvores de mogno foram localizadas na floresta amazônica Peruana com auxílio dos mapas de sua ocorrência natural e dos inventários florestais disponibilizados pelas concessões florestais. Um total de 20 árvores foram demarcadas, sendo 7 na **População A** (denominados MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5, MRA6 e MRA7; Anexo A) e 13 na **População B** (denominados MJA1, MJA2, MJA3, MJA4, MJA5, MJA6, MJA7, MJA8, MJA9, MJA10, MEA1, MEA2, MEA3; Anexo A).

Com auxílio da sonda de Pressler (4,3 x 400 mm; diâmetro x comprimento) foram coletadas 2 amostras radiais do lenho no DAP do tronco das árvores de mogno (Figura 5). As amostras do foram codificadas, acondicionadas em tubos plásticos e transportadas para o

Laboratório de Anatomia, Anéis de Crescimento e Densitometria de Raios X em Madeiras, do Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP.

As amostras radiais do lenho das árvores de mogno foram aplicadas nas (i) caracterização anatômica dos anéis de crescimento, (ii) análises dendrocronológicas, (iii) determinação do volume oco e podridão interna do lenho, (iv) avaliação da qualidade da madeira e (v) metodologia para a definição dos limites dos anéis de crescimento.

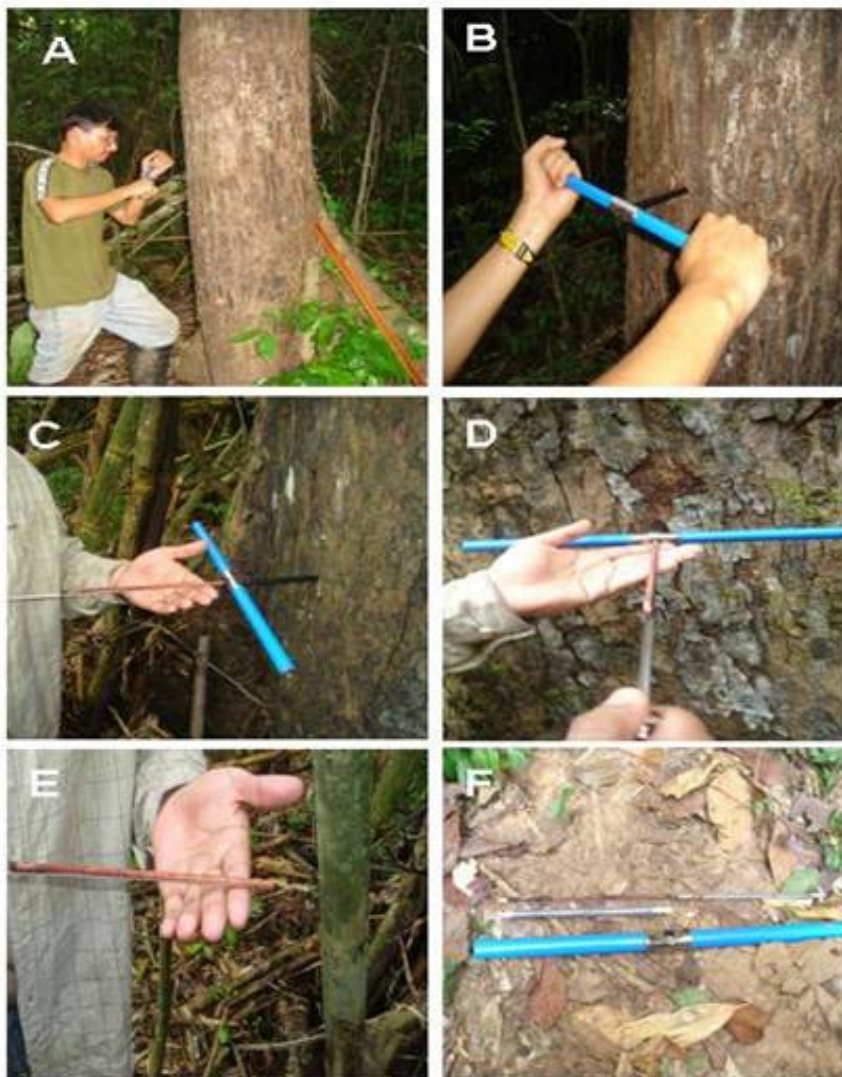


Figura 5 – Amostragem não destrutiva do lenho de árvores de *S. macrophylla* com sonda de Pressler. (A) inserção da sonda em orientação perpendicular ao eixo da árvore; (B) introdução da sonda no interior do tronco através de movimento no sentido horário; (C, D) extração da amostra do lenho do tronco com auxílio de espátula; (E) detalhe da amostra do lenho; (F) aspecto da sonda, da amostra de lenho e tubo plástico

3.5 Caracterização anatômica da estrutura dos anéis de crescimento e do lenho das árvores de *S. macrophylla*

3.5.1 Preparo das amostras do lenho para a caracterização dos anéis de crescimento

Dentre as amostras do lenho das árvores de mogno coletadas foram selecionadas as de 10 árvores (MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5; MJA1, MJA2, MJA3, MJA4 e MJA5; Anexo A) para a caracterização dos anéis de crescimento.

As amostras do lenho foram fixadas em suportes de madeira e sua seção transversal foi polida com lixas de diferentes gramaturas (180, 360, 400 e 600 grãos.polegada⁻²) para possibilitar o contraste dos elementos anatômicos. Os anéis de crescimento foram analisados e fotografados com auxílio de microscópio estereoscópico (40 X) acoplado a uma câmera fotográfica digital. Para a caracterização dos anéis de crescimento do lenho das árvores (Figura 6) foram utilizadas as Normas do Instituto Brasileiro IBAMA (1991) e da IAWA (1989), para estudos de anatomia da madeira em angiospermas.

3.5.2 Preparo das amostras do lenho para a sua caracterização anatômica

3.5.2.1 Caracterização macroscópica

Foram cortadas pequenas sub-amostras radiais (20 x 4.3 mm, comprimento x diâmetro) do lenho de 10 árvores de mogno (MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5; MJA1, MJA2, MJA3, MJA4 e MJA5; Anexo A). As amostras do lenho foram fixadas em suportes de madeira em disposição orientada e seriada, sendo imersos em água, fixados em micrótomo de deslize e raspado da superfície transversal. Estas amostras foram observadas em microscópio estereoscópico e as imagens foram coletadas pela câmera digital descrevendo a estrutura macroscópica do lenho seguindo as normas do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (1991) e da IAWA (2004).

3.5.2.2 Caracterização microscópica

Foram cortadas pequenas sub-amostras radiais (20 x 4.3 mm, comprimento x diâmetro) do lenho de 10 árvores de mogno (MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5; MJA1, MJA2, MJA3, MJA4 e MJA5; Anexo A) e demarcados corpos de prova orientados e seriados. Os corpos de

prova do lenho de mogno foram imersos em água para a sua saturação, seguindo-se o seu amolecimento em água à ebulição, fixação em micrótomo de deslize e corte das seções transversal e longitudinais radial e tangencial (15-20 μm de espessura). Os cortes histológicos do lenho foram clarificados (água sanitária, 1:1), lavados (água destilada, ácido acético 1%), desidratados (série alcoólica, 30-100%), lavados (xilol), corados (safranina) e montados (sob lamínula, com bálsamo de Canadá) em lâminas histológicas de vidro (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951). As lâminas histológicas com os cortes anatômicos de lenho das árvores de mogno foram observadas em microscópio de luz acoplado a câmara digital e a sua estrutura anatômica descrita de acordo com as normas do IBAMA (1991) e da IAWA (2004) aplicadas para os estudos de anatomia da madeira de angiospermas (Figura 6). Para o processo de dissociação dos elementos anatômicos do lenho foi aplicado o método de maceração de Franklin. As sub-amostras do lenho foram transferidas para tubos de ensaios (ácido acético + peróxido de hidrogênio –120 vol 1:1) perfeitamente fechados e mantidos em estufa (60 °C, 48 h). A solução macerante foi esgotada e a suspensão de células do lenho lavadas em água, coradas (safranina + glicerina) para a montagem das lâminas histológicas (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951). As lâminas histológicas com a suspensão das células foram examinadas em microscópio de luz acoplado com câmara digital e coletadas imagens para a mensuração das dimensões das células do lenho das árvores de mogno, aplicando o programa UTHSCSA Image Tool Versão 3.0 Fevereiro 2002.

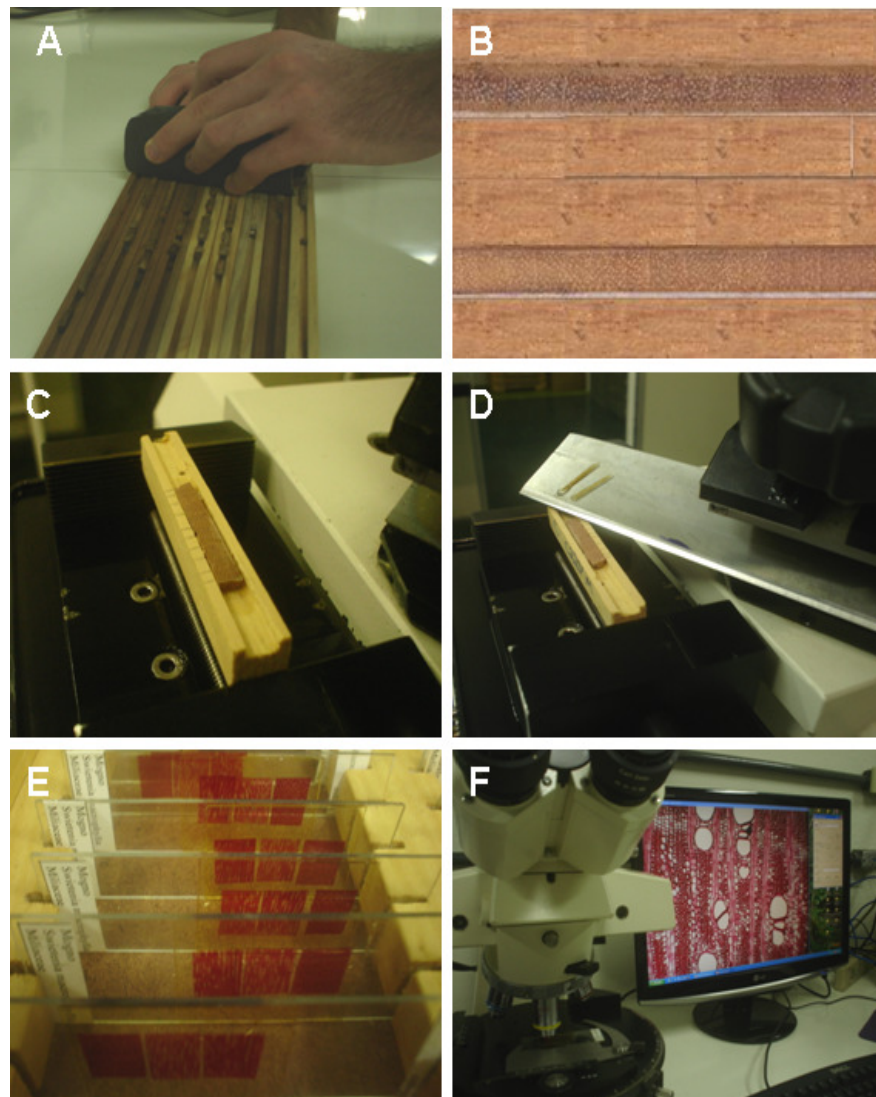


Figura 6 – Análise anatômica macro e microscópica do lenho de *S. macrophylla* (A, B) polimento e aspecto da seção transversal das amostras de lenho; (C, D) montagem e corte das seções finas do lenho de mogno em navalha de micrótomo de deslize; (E) lâminas histológicas do lenho de mogno; (F) observação da estrutura microscópica do lenho e mensuração dos elementos anatômicos em software digital

3.6 Determinação da anuidade na formação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de *S. macrophylla*

3.6.1 Aplicação das injúrias longitudinais e extração de amostras no tronco das árvores

No tronco de 4 árvores de mogno (MRA 2, MRA 3, MRA 6, MRA7; Anexo A), localizadas na área de conservação Rodal Semillero Tahumanu com 35-70 cm de DAP, foram induzidas, no final de outubro/2006, injúrias nas células cambiais (8 x 30 mm; largura x altura) com formato de janela, denominadas de “janelas de Mariaux”, com ajuda de um cinzel (Figura 7). As injúrias

cambiais estavam separadas de 3 cm entre si, ao longo do tronco e a uma mesma altura (3 injúrias cambiais/árvore). No final de outubro/2007 foram extraídas amostras do lenho do tronco das 4 árvores, com sonda Pressler (diâmetro de 4.3 mm) a uma profundidade de cerca de 8 cm, incluindo o tecido de cicatrização/zona traumática formado pela injúria das células cambiais e o lenho formado anteriormente (MARIAUX, 1977; VETTER; BOTOSSO, 1988, 1989; VETTER, 2000). As amostras do lenho foram acondicionadas em tubos plásticos, identificadas e transportadas para o laboratório

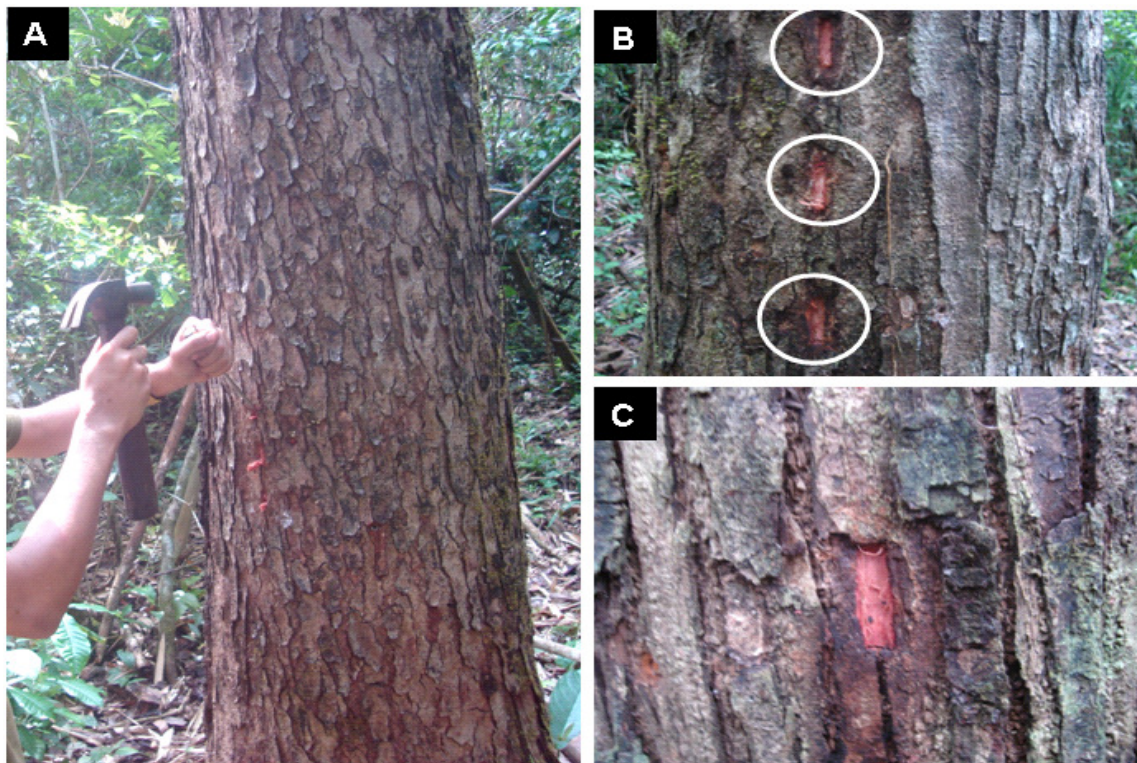


Figura 7 – Marcação cambial no tronco de árvores de *S. macrophylla* (janelas de Mariaux): (A) injúrias cambiais realizadas no tronco com auxílio de cinzel; (B) aspecto geral e distribuição das injúrias cambiais na casca do tronco de árvore; (C) detalhe da janela de Mariaux, evidenciando o tecido xilemático

3.6.2 Preparo das amostras do lenho para a determinação da anuidade na formação dos anéis de crescimento das árvores

As amostras do lenho de mogno coletadas na região da “janela de Mariaux” (contendo uma parte do xilema formado antes e após a injúria das células cambiais) foram coladas, em suportes de madeira, com os elementos anatômicos dispostos no sentido longitudinal (Figura 8a). A seção transversal das amostras do lenho foi polida com lixas de diferentes gramaturas (180, 360, 400 e

600 grãos.polegada⁻²) para a visualização e contraste das cicatrizes do lenho, dos anéis de crescimento e da estrutura anatômica. Em microscópio estereoscópico foram demarcados os limites dos anéis de crescimento e a sua largura foi mensurada em mesa de medição Velmex (com precisão de 0,001 mm), aplicando o programa PJK (Holmes, 1994). Os dados de mensuração dos anéis de crescimento geraram um arquivo com extensão RAW de formato horizontal reconhecido pelos programas utilizados em estudos de dendrocronologia.

Após a mensuração dos anéis de crescimento, as amostras do lenho (incluindo o tecido de cicatrização, marcação do lenho e o lenho formado no período antes da injúria) foram cortadas em seções transversais finas (15-20 µm de espessura). Os cortes histológicos do lenho foram obtidos segundo metodologia citada anteriormente na análise microscópica (vide item 3.5.2.2). As lâminas foram observadas em microscópio de luz, acoplado a uma câmera digital, para analisar a estrutura anatômica do lenho, com ênfase nos tecidos de cicatrização e à formação e número de faixas e células de parênquima marginal indicadoras da anuidade na formação dos anéis de crescimento.

3.7 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento das árvores de *S. macrophylla*

3.7.1 Preparo das amostras do lenho

Amostras do lenho de todas as árvores de mogno (MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5, MRA6, MRA7, MJA1, MJA2, MJA3, MJA4, MJA5, MJA6, MJA7, MJA8, MJA9, MJA10, MEA1, MEA2 e MEA3; Anexo A) foram coladas em suportes de madeira, com os elementos anatômicos dispostos no sentido longitudinal. A seção transversal das amostras do lenho foi polida manualmente com lixas de diferentes gramaturas (180, 360, 400 e 600 grãos.polegada⁻²) para o contraste dos anéis de crescimento e da estrutura anatômica macroscópica do lenho (Figura 8).

3.7.2 Mensuração e sincronização (co-datação) dos anéis de crescimento

Na seção transversal das amostras do lenho foram demarcados os limites dos anéis de crescimento e, em seguida, determinada a sua largura mediante a utilização da mesa de medição Velmex (0,001 mm de precisão), aplicando-se o programa PJK (HOLMES, 1994) (Figura 8e). Este programa gerou um arquivo de dados com extensão RAW de formato horizontal (séries de crescimento), reconhecido pelos programas utilizados em estudos de dendrocronologia.



Figura 8 – Análise dos anéis de crescimento no lenho de árvores de *S. macrophylla* (A) colagem das amostras do lenho em suporte de madeira, com os elementos celulares no sentido longitudinal; (B) amostras do lenho identificadas e para a secagem da cola; (C) polimento da seção transversal das amostras de lenho com lixas de diferentes gramaturas; (D) visualização dos anéis de crescimento na seção transversal; (E, F) identificação, demarcação e mensuração da largura dos anéis de crescimento

Valores de larguras de anéis de crescimento de cada árvore foram considerados como uma série cronológica procedendo-se, desta forma, a sincronização de 14 séries para a População A (7 árvores) e 19 séries para a População B (13 árvores). Foram realizados o controle de qualidade e a verificação da sincronização (co-datação) por intermédio do programa COFECHA (HOLMES; ADAMS; FRITTS 1986), que analisa estatisticamente a correlação entre as porções da série flutuante (a datar) e séries individuais ou máster independentemente datadas e verificadas, possibilitando identificar a existência de falsos anéis de crescimento para seu posterior controle.

3.7.3 Elaboração da série master de anéis de crescimento

Na elaboração da Série Máster é importante descrever os conceitos de “sinal” e “ruído”. Denomina-se “sinal”, à informação relevante contida nos anéis de crescimento para o estudo, em particular, de uma variável. O termo “ruído” é uma parte da informação presente na série de anéis de crescimento e que é irrelevante para o estudo da variável considerada. Desta maneira, a série de anéis de crescimento do lenho das árvores é um conjunto (agregado) de vários “sinais”, podendo-se apresentar como “ruído”, segundo a aplicação do estudo dendrocronológico. A análise de um distúrbio particular pela aplicação dos anéis de crescimento das árvores consiste em realizar uma boa decodificação dos “sinais” contidos nos anéis de crescimento, ressaltando o de interesse (a ser estudado) e minimizando os restantes.

No presente estudo, o distúrbio particular ou “sinal” é o crescimento do anel de crescimento em função do clima (precipitação e temperatura), considerando-se como “ruído” todos os fatores, diferentes do clima, que tenham afetado a largura dos anéis de crescimento (ou o crescimento do tronco das árvores).

Como metodologia, foram aplicados os conceitos de Cook e Kairiukstis (1989), os quais consideram as séries de anéis de crescimento como um agregado linear composto por “sinais” presentes, expressadas pela seguinte forma:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t \quad (1)$$

Em que: R_t – série de largura de anéis de crescimento observada; A_t – tendência da largura dos anéis de crescimento relacionada com tamanho e idade das árvores; C_t – sinal climaticamente relacionado com o ambiente; δ – indicador binário relacionado com a presença ($\delta=1$) ou ausência ($\delta=0$); $D1_t$ – distúrbios causados por perturbações endógenas e de ação localizada; $D2_t$ – distúrbios causados por perturbações exógenas que atuam a nível populacional; E_t – variabilidade (ano a ano) não relacionada com os demais fatores; t – ano relacionado com cada fator.

Para facilitar a aplicação do modelo procurou-se maximizar o efeito da “variável climática” na formação do anel de crescimento mediante a seleção de sítio de amostragem, em áreas onde as árvores de mogno apresentam um comportamento sensível às variações climáticas sazonais (precipitação e temperatura) e em áreas de encosta úmida (distribuição natural na cabeceira dos rios de várzea na Amazônia Ocidental; Bosque Humedo Tropical de Colina) (FRITTS, 1976; GROGAN, 2000; GULLISON et al., 1996; LAMB, 1966; WHITMORE, 1983; SCHWEINGRUBER, 1988). Em seguida, cada série cronológica foi padronizada, retirando-se as tendências de crescimento dos dados de largura dos anéis de crescimento, assumindo que estas

são funções das dimensões e da idade das árvores de mogno e das perturbações endógenas e exógenas, conforme modelo abaixo:

$$Q_t = f(A_t, \delta D1_t, \delta D2_t) \quad (2)$$

Em que: Q_t – tendência de crescimento estimada como uma função apenas da idade; f – função matemática; A_t – tendência da largura dos anéis de crescimento relacionada com tamanho e idade das árvores; δ – indicador binário relacionado com a presença ($\delta=1$) ou ausência ($\delta=0$); $D1_t$ – distúrbios causados por perturbações endógenas e de ação localizada; $D2_t$ – distúrbios causados por perturbações exógenas que atuam a nível populacional; t – ano relacionado com cada fator.

A tendência de crescimento foi removida utilizando o programa ARSTAN (HOLMES; ADAMS; FRITTS, 1986), o qual ajusta uma função de regressão aos dados de largura dos anéis de crescimento. A remoção das tendências foi realizada conforme metodologia indicada por Fritts (1976), cujos dados foram transformados em índice de largura dos anéis de crescimento (I_t) ou também denominado simplesmente como “índice”.

$$I_t = \frac{R_t}{Q_t} \quad (3)$$

Em que: I_t – índice de largura dos anéis de crescimento; R_t – série de largura dos anéis de crescimento observada; Q_t – tendência de crescimento estimada como uma função apenas da idade.

A padronização (standardization) feita pelo programa ARSTAN tem dois objetivos, sendo (i) remover as tendências não climáticas relacionadas com a idade das árvores de mogno e (ii) permitir que os valores padronizados das árvores de mogno individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento do tronco, sejam calculados juntos em uma função média. O processo de padronização possui, ainda, a vantagem de corrigir a heterogeneidade da variância dos dados de largura do anel de crescimento, uma vez que o desvio padrão dos índices deixa de ser função da média, como ocorria antes da padronização.

Com os dados padronizados (índices) procedeu-se o cálculo das cronologias médias dos anéis de crescimento, denominadas de “standard”, geradas a partir da utilização do programa ARSTAN para cada população de árvores de mogno (A e B) através da média robusta entre as séries. As cronologias médias obtidas com o programa ARSTAN foram comparadas com as series climáticas determinando a variável que mais influi (precipitação ou temperatura) na largura dos anéis e conseqüentemente no crescimento das árvores. Por conseguinte, realizou-se uma

análise com maior detalhe utilizando o programa RESPO (HOLMES, 1994) que analisa a resposta das árvores (cronologias) à variável climática mensal, mediante os coeficientes de correlação de Pearson.

3.8 Avaliação da podridão interna do lenho e do volume oco em troncos de árvores de *S. macrophylla*

Para avaliar a podridão interna do lenho e determinar o volume oco do tronco das árvores de mogno foi adotado o método não destrutivo com a utilização da sonda de Pressler. Foram selecionadas árvores de mogno de diferentes diâmetros do tronco (MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5, MRA6, MRA7, MJA1, MJA2, MJA3, MJA4, MJA5, MJA6, MJA7, MJA8, MJA9, MJA10, MEA1, MEA2 e MEA3, Anexo A) e extraídas amostras do seu lenho (mínimo 2 amostras de lenho/árvore) no DAP, até atingir a região central (medula) (vide item 3.3).

A seleção das árvores de mogno de diferentes classes de diâmetro do tronco teve como objetivo relacionar esse parâmetro com a decomposição interna do lenho. As amostras do lenho das árvores foram analisadas quanto ao seu estado fitossanitário (biodegradação), existência da medula (raio completo; anéis de crescimento iniciais mais largos) e espaço oco (raio incompleto; ausência da medula). Para a estimativa do diâmetro interno oco do tronco das árvores de mogno, na altura do DAP, mensurou-se o seu diâmetro externo (com casca) e subtraiu-se o comprimento das amostras incompletas do lenho (equivalente à longitude radial do xilema, não afetada por organismos xilófagos) (Figura 9), aplicando as seguintes Equações :

$$Volume\ Oco = \frac{(Do)^2}{4} * \pi * h \quad (4)$$

$$Dsc = DAP - 2e \quad (5)$$

$$Re = \frac{Dsc}{2} \quad (6)$$

$$Do = Dsc - (Cam1 + Cam2) \quad (7)$$

Em que: *Do* – diâmetro do oco (m); *h* – altura a 1,3 m do solo; *Dsc* – diâmetro sem casca (em *h* = 1,3 m); *e* – espessura da casca (cm); *Re* – raio estimado da árvore (cm); *Cam1* – comprimento da amostra 1 (m); *Cam2* – comprimento da amostra 2 (m).

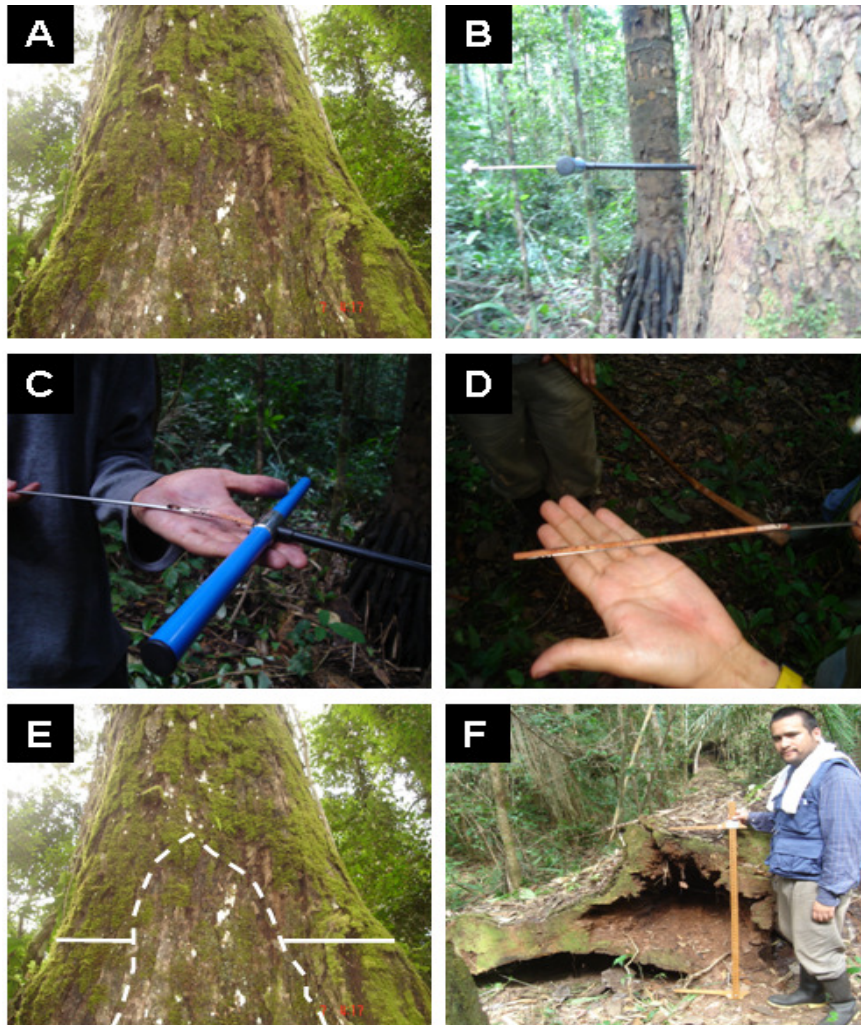


Figura 9 – Oco em árvores de *S. macrophylla*: (A) Aspecto externo do tronco de árvore de mogno; (B) extração de amostra do lenho com sonda de Pressler para a análise da podridão do lenho; (C) extração da amostra do lenho contida no interior da sonda de Pressler; (D) análise do lenho afetado por organismos xilófagos; (E) aspecto do tronco e projeção do oco interno de árvore; (F) árvore de mogno cortada expondo a área do lenho afetada por organismos xilófagos (oco interno)

3.9. Variação radial da densidade do lenho das árvores de *S. macrophylla* por densitometria de raios X

3.9.1 Preparo das amostras do lenho

Amostras radiais do lenho das árvores de mogno (18 amostras do lenho de 14 árvores das Populações A e B, sendo MRA1, MRA2, MRA3, MRA4, MRA5, MRA6, MRA7, MJA1, MJA3, MJA4, MJA5, MJA7, MJA9 e MEA1) foram coladas em suporte de madeira e seccionadas no sentido transversal (2,0 mm de espessura), em aparelho de dupla serra circular paralela (Figura

10a). As seções transversais do lenho (Figura 10b) foram acondicionadas em câmara de climatização (20°C, 50% UR) até atingirem 12% de umidade.

3.9.2 Obtenção dos filmes radiográficos

As seções transversais do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose (densidade: 1,48 g.cm⁻³) foram dispostas sobre suporte com filme de raios X (Kodak, Diagnostic Film T-Mat, 240x180 mm) (Figura 10c), em condições de câmara escura. Em seguida, as amostras do lenho e a cunha de calibração de acetato de celulose foram transferidas para o equipamento de raio-X (Hewlett Packard, Faxitron 43805 N; 1,20 m distância da fonte de raio-X-filme) e radiografadas (5 minutos de exposição, 16 Kv de tensão aceleradora no tubo, 3 mA de corrente de aquecimento do cátodo) (Figura 10d). Os filmes radiográficos das amostras de madeira e a cunha de calibração foram revelados em aparelho Macrotec MX-2 (AMARAL; TOMAZELLO FILHO, 1997, 1998).

3.9.3 Análise dos filmes radiográficos

Os filmes radiográficos das amostras do lenho foram digitalizados em scanner (Hewlett Packard ScanJet 6100C/T) com resolução de 1000 dpi (pixel por polegada) em escala de cinza de 256 graus. Na imagem digitalizada foram feitas comparações entre a escala de cinza das amostras de madeira com a testemunha da curva padrão (valores conhecidos de densidade: 1,48 g.cm⁻³), sendo determinados os valores de densidade e convertidos para o arquivo tipo DEN, através do software CRAD. Posteriormente, o arquivo DEN é lido com auxílio do software CERD (Figura 10e) considerando 500 x 10 (comprimento x largura) determinações de densidade para os segmentos de 25% do comprimento das amostras do lenho.

3.9.4 Montagem do perfil radial de densidade aparente do lenho

As análises das seções transversais do lenho feito pelo programa CERD originam um arquivo do tipo.PRZ (arquivo reconhecido pelo programa Excel), contendo os valores pontuais de densidade. No Excel são confeccionados os respectivos gráficos dos perfis de densidade aparente do lenho das árvores (Figura 10f), conforme realizado por Mothe et al. (1998).

3.9.5 Parâmetros de densidade aparente do lenho

A partir dos perfis radiais de densidade aparente do lenho, as densidades aparente média, máxima, mínima foram determinadas, assim como também o limite do anel de crescimento no lenho das árvores de mogno.

3.9.6 Análise de regressão e correlação de parâmetros de largura dos anéis de crescimento e de densitometria por raios X, no lenho das árvores de mogno

A medida da largura dos anéis de crescimento das árvores de mogno, obtida pela mesa de medição Velmex e por densitometria de raios X, foi comparada, de forma a obter um coeficiente de correlação, visando determinar a precisão das metodologias na identificação exata dos limites dos anéis de crescimento.

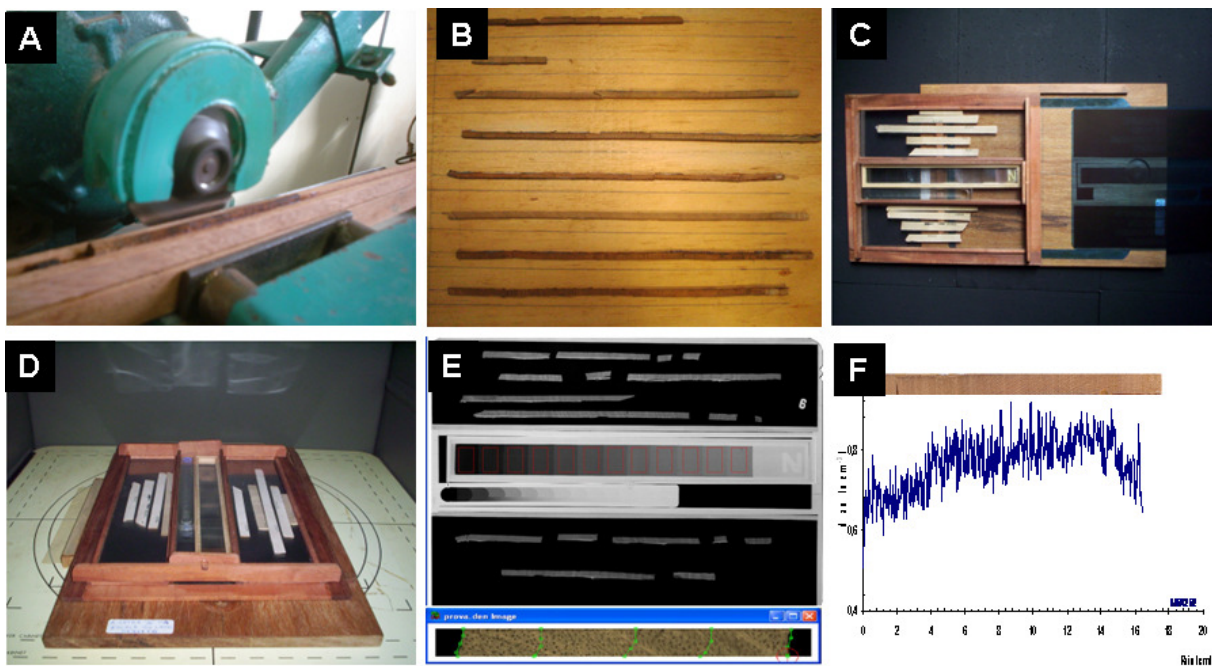


Figura 10 – Metodologia de raios X e obtenção dos perfis radiais de densidade do lenho de *S. macrophylla* (A) corte das amostras do lenho em equipamento de dupla serra; (B) seções transversais das amostras do lenho; (C) suporte com as amostras do lenho e da cunha de calibração sobre o filme radiográfico; (D) câmara de irradiação das amostras do lenho em equipamento de raios X; (E) imagem radiográfica das amostras do lenho e da cunha de calibração e análise nos programas CRAD e CERD; (F) perfil radial da densidade aparente e respectiva amostra do lenho

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Registro climático das Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios

Para a construção da série contínua de registros climáticos do Departamento de Madre de Dios, Peru, foram analisadas a temperatura e a precipitação média das Estações Meteorológicas Ibéria (Anexo B) e Puerto Maldonado (Anexo C e D), distantes cerca de 140 Km, realizando um ajuste dos valores mensais de temperatura e precipitação no período de 1960-1990, devido a sua descontinuidade (CORDOVA MARTINES, 2003). Os registros climáticos anuais de temperatura e precipitação médias indicam semelhanças das médias anuais desses parâmetros climáticos entre as Estações (Figuras 11, 12).

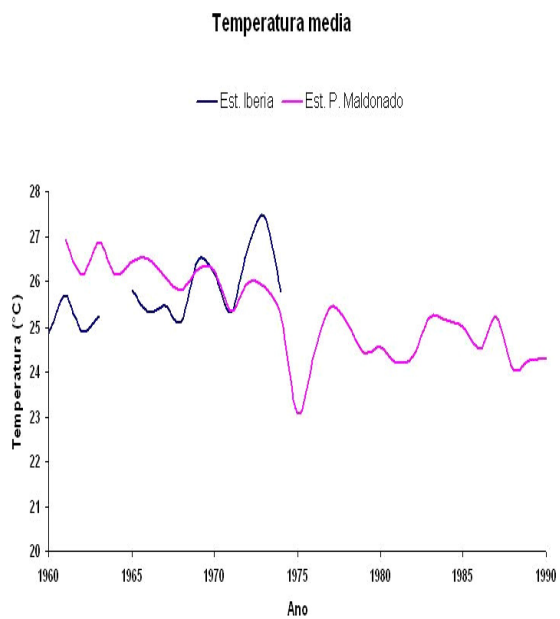


Figura 11 – Temperatura média anual no período de 1960 a 1990 (Departamento Madre de Dios)

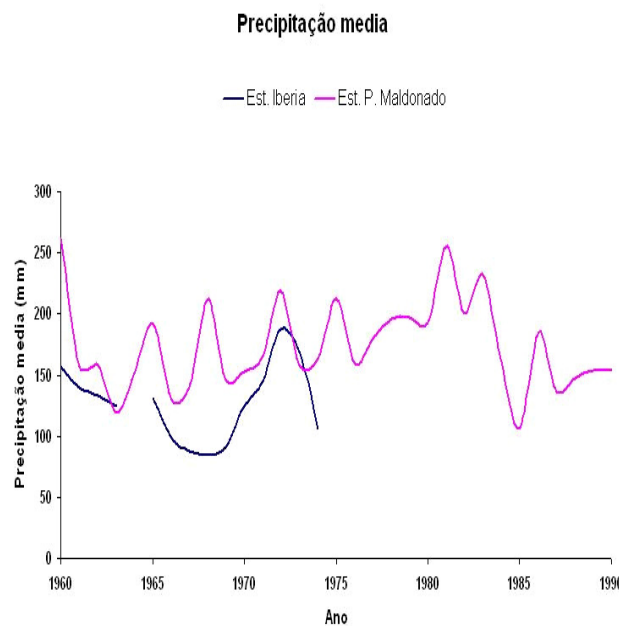


Figura 12 – Precipitação média anual no período de 1960 a 1990 (Departamento Madre de Dios)

Determinou-se um período comum e com tendência similar dos registros climáticos nas Estações Meteorológicas entre janeiro de 1960-janeiro de 1974 estabelecendo-se uma média dos dados das estações para os respectivos meses. Para a Estação Meteorológica de Puerto Maldonado (período de 1975-1990) foi necessário estimar valores ausentes de alguns meses com a média geral do período obtendo-se uma série de dados climatológicos contínuos para a região

(1960-1990) (Figura 13) (Anexo E e F). Foram excluídas as informações meteorológicas do período de 1991-2000 referentes à Estação de Puerto Maldonado pela escassez de registros mensais climatológicas. As informações meteorológicas anuais registradas e estimadas são apresentadas nas Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Valores anuais de temperatura média (T_{med} , °C) e precipitação média (PPT_{med} , mm) registrados nas Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios, entre os anos de 1960 a 1990

Estação Ibéria		Estação Puerto Maldonado		Estação Ibéria		Estação Puerto Maldonado			
Ano	T_{med}	PPT_{med}	T_{med}	PPT_{med}	Ano	T_{med}	PPT_{med}	T_{med}	PPT_{med}
1960	24,9	157,3	...	262,5	1976	...	...	24,4	160,2
1961	25,7	139,8	26,9	157,1	1977	...	...	25,5	180,8
1962	24,9	133,3	26,1	158,5	1978	...	...	25,1	196,3
1963	25,3	124,6	26,9	119,4	1979	...	...	24,4	198,2
1964	...	...	26,1	151,9	1980	...	...	24,5	193,5
1965	25,8	131,5	26,4	192,5	1981	...	...	24,2	255,6
1966	25,3	98,6	26,5	130,9	1982	...	...	24,4	200,7
1967	25,5	87,7	26,1	140,5	1983	...	...	25,2	231,0
1968	25,1	84,3	25,8	211,8	1984	...	...	25,2	164,3
1969	26,5	90,8	26,3	146,6	1985	...	...	25,0	106,6
1970	26,2	125,2	26,2	153,6	1986	...	...	24,5	186,3
1971	25,3	145,3	24,5	166,8	1987	...	...	25,2	136,6
1972	26,7	187,7	25,9	218,0	1988	...	...	24,1	147,7
1973	27,5	170,0	26,9	158,2	1989	...	...	24,3	153,9
1974	25,8	106,7	25,3	164,7	1990	...	...	24,3	154,9
1975	...	...	23,1	212,3					

Fonte: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Peru - SENAMHI/PERÚ 2008.

Nota: ... dado numérico não disponível.

Tabela 2 – Ajuste dos registros anuais de temperatura média (T_{med} , °C) e precipitação média (PPT_{med} , mm) para as Estações Meteorológicas do Departamento de Madre de Dios, entre os anos de 1960 a 1990

Departamento de Madre de Dios			Departamento de Madre de Dios		
Ano	T_{med}	PPT_{med}	Ano	T_{med}	PPT_{med}
1960	24,9	167,2	1976	24,8	160,2
1961	26,2	148,4	1977	25,7	180,8
1962	25,8	145,9	1978	25,1	208,1
1963	26,5	122,0	1979	24,3	202,7
1964	26,1	151,9	1980	24,5	193,5
1965	26,3	162,0	1981	24,4	240,2
1966	26,3	114,8	1982	24,5	178,9
1967	25,9	114,1	1983	24,8	164,8
1968	25,6	148,0	1984	25,4	170,7
1969	26,3	118,7	1985	25,2	143,8
1970	26,3	140,3	1986	24,6	159,9
1971	25,4	156,1	1987	25,0	139,5
1972	25,8	202,8	1988	24,4	150,4
1973	26,1	164,1	1989	24,3	153,9
1974	25,2	138,1	1990	24,5	146,4
1975	24,3	225,6			

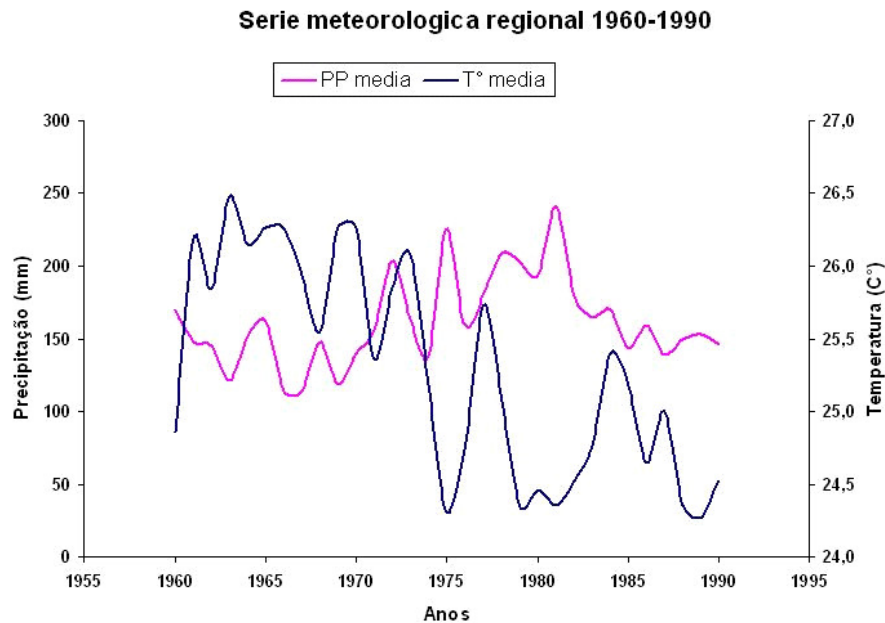


Figura 13 – Ajuste de dados meteorológicos para a temperatura e precipitação media no período de 1960-1990 para o Departamento de Madre de Dios

4.2 Caracterização anatômica da estrutura do lenho e dos anéis de crescimento de *S. macrophylla*

4.2.1 Caracterização macroscópica do lenho das árvores de *S. macrophylla*

Parênquima axial visível a olho nu, em faixas marginais. Vasos/Poros visíveis a olho nu; médios; poucos; solitários e múltiplos; óleo-resina acastanhado, e também, substância esbranquiçada. Linhas vasculares visíveis a olho nu; longas; finas; retilíneas. Raios pouco visíveis a olho nu no plano transversal; no plano longitudinal tangencial melhor visto devido à estratificação dos raios; camadas de crescimento distintas, demarcadas pelas faixas de parênquima marginal (Figura 14a).

4.2.2 Caracterização microscópica do lenho das árvores de *S. macrophylla*

Parênquima axial em faixas marginais com 4-6 células de largura irregularmente espaçadas e paratraqueal escasso com 4-10 células (Figura 14b) e cristais prismáticos (Figura 14f). *Vasos/Poros*: difusos, múltiplos, em arranjos radiais curtos (Figura 14g), poucos, média aproximada de 6 raios.mm⁻², máximo de 7, mínimo de 4, desvio padrão de 1; diâmetro médio 155 µm, máximo de 244 µm, mínimo de 105 µm e desvio padrão de 43, presença de óleo/resina

(Figura 14b). *Raios*: frequência média de 1,2 raio.mm⁻², mínimo de 0,7, máximo de 1,6 e desvio padrão 0,33; largura média dos raios: 50,79 µm, mínimo de 34,48, máximo de 71,84 e desvio padrão 7,64; largura média de 3,44 células, mínimo de 2, máximo de 5 e desvio padrão 0,58, altura média dos raios: 443,44 µm, mínimo de 250,96, máximo de 650,93 e desvio padrão 67,48 e altura média de 16,32 células, mínimo de 9, máximo de 26 e desvio padrão 3,20 (Figura 14c, d). *Fibras*: libriformes, septadas, com pontoações simples (Figura 14e); curtas, comprimento médio de 1251 µm, máximo de 2392 µm, mínimo de 761 µm e desvio padrão 211; largura total com média de 21 µm, máximo de 30 µm, mínimo de 13 µm, desvio padrão de 3; paredes delgadas a espessas, média de 8 µm, máximo de 13 µm, mínimo de 5 µm, desvio padrão 2; largura do lume com média de 12 µm, máximo de 20 µm, mínimo de 7 µm, desvio padrão 3 (Figura 14h). *Camadas de crescimento*: distintas, demarcadas pelo parênquima marginal e por fibras de paredes mais espessas e achatadas.

Todas estas características anatômicas foram descritas por diversos autores, com pequenas diferenças em relação a descrição apresentada. Carlquist (1988) indica valores de 100-200 µm para o diâmetro dos elementos de vaso e, raramente, 320 µm e frequência de 6-14 vasos.mm⁻²; Marnieri e Chimelo (1989) indica a presença de fibras septadas de 1-2 mm de comprimento, largura de 17-34 µm e parênquima axial de 2-4 ou mais células e algumas células em contato com os vasos de 6-10 células ou mais (DALLWITZ, 1993; DUNISH, et al., 2002; CAMPOS-ZUMAETA et al., 2008; FUJII; MARSOEM; FUJIWARA; 1998; MAINIERI; CHIMELO, 1989; MONTEIRO, 1996; PANSIN, 1933; PENNINGTON; SARUKHÁN, 1998; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

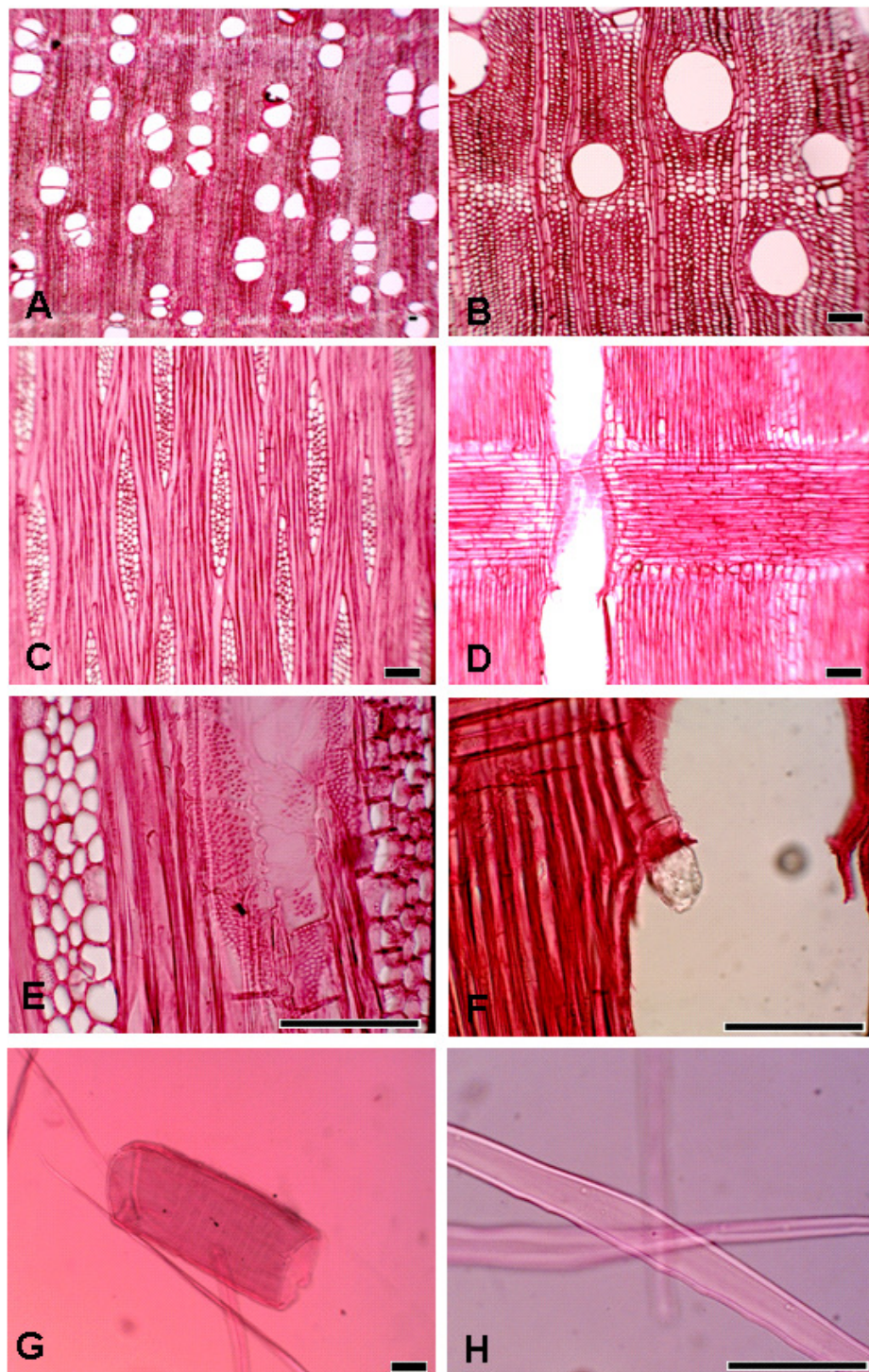


Figura 14 – Anatomia microscópica de mogno (*Swietenia macrophylla* King.; Família Meliaceae). A - plano transversal em aumento de 25x. B - plano transversal em aumento de 100x. C - plano tangencial em aumento de 100x. D - plano radial em aumento de 100x. E - pontuação intervascular em aumento de 400x. F - cristal prismático em aumento de 400x. G - elemento de vaso em aumento de 100x. H - fibras em aumento de 400x. Barra = 100 μ m

4.2.3 Caracterização dos anéis de crescimento

O lenho das árvores de mogno examinado na sua seção transversal, evidenciou anéis de crescimento distintos, com porosidade difusa e sem alteração das dimensões dos vasos ao longo da camada de crescimento. O limite da camada de crescimento é caracterizado pela presença de uma linha de coloração clara, de 4-7 células de parênquima marginal, visível a olho nu, associada ocasionalmente aos vasos, de menor frequência e diâmetro. A estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento das árvores de mogno foi descrita por Carlquist (1988); Campos-Zumaeta et al. (2008); Dallwitz (1993); Dunish et al. (2002); Fujii, Marsoem e Fujiwara (1998); Mainieri e Chimelo, (1989); Monteiro (1996) e Tomazello Filho, Botosso e Lisi (2001) que identificaram as camadas de crescimento delimitadas pelo parênquima marginal ocasionalmente associado a vasos e canais de goma. Em algumas amostras do lenho as camadas de crescimento são delimitadas pelo parênquima axial marginal em faixas contínuas, tangenciais, com 3-6 células de largura, também ocasionalmente associadas a vasos (SULAIMAN, 1993 apud FUJII et al., 1998) e parênquima axial com 4-6 e 7-8 células.

A comparação das amostras do lenho das árvores de mogno (Figura 15a,b) revela uma variabilidade dos anéis de crescimento, caracterizada pela seqüência de anéis de crescimento largos e estreitos. Essa variabilidade do incremento radial indica a sensibilidade das árvores de mogno às condições locais de crescimento e climáticas: os anéis de crescimento podem apresentar uma largura uniforme (com pequeno ou nenhum registro de variações climáticas) ou variável (registrando as variações climáticas). Assim, anéis de crescimento do lenho das árvores de mogno apresentam potencialidade para aplicação como “identificadores anuais” de eventos climáticos (COOK, 1989; FRITTS, 1976; KEANNEL; SCHWIENGRUBER, 1994; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

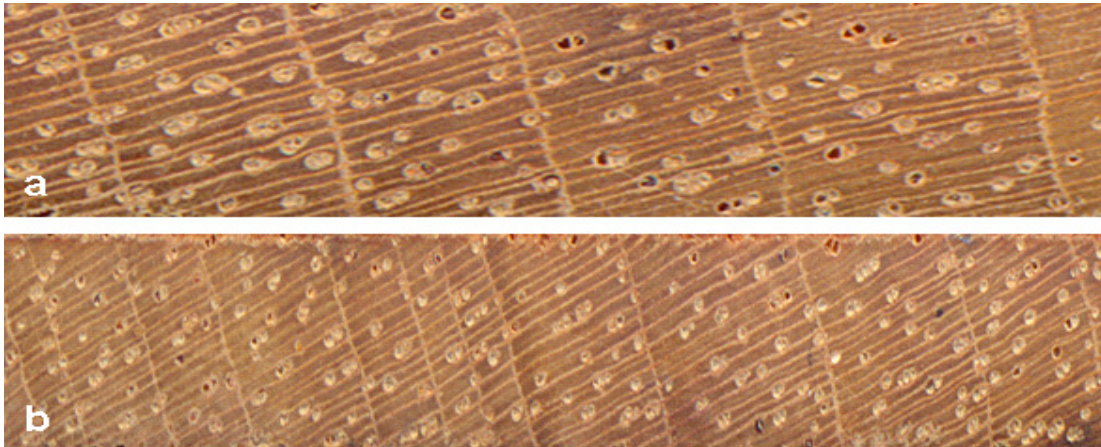


Figura 15 – Anéis de crescimento no lenho de *S. macrophylla*. Variabilidade das larguras dos anéis (largos e estreitos)

No entanto, verifica-se a presença de anéis de crescimento falsos entremeados com os anéis de crescimento verdadeiros, em qualquer região do lenho das árvores de mogno. Pelas análises foram identificados 2 tipos de anéis de crescimento falsos, sendo (i) anel de crescimento falso, localizado, geralmente antes do anel de crescimento verdadeiro, com duas características macroscópicas marcantes, sendo faixa de parênquima marginal de espessura fina-muito fina e outra espessa, sem interromper a porosidade difusa do anel de crescimento (Figuras 16a, b); (ii) anel de crescimento falsos, muito estreitos, extremamente próximos e de espessura fina, com vasos de iguais dimensões ao longo da faixa de parênquima, podendo ser até menores ou simplesmente ausentes, geralmente agrupados em mais de 2 faixas, vasos muito próximos e achatados (Figura 16c, d). Dunish et al. (2002) verificaram que, além da formação dos anéis de crescimento delimitados pelo parênquima marginal há outras duas características anatômicas correspondentes a camadas de crescimento distinguíveis pela seqüência de vasos e pelos canais de resina formando faixas no sentido tangencial, na seção transversal do lenho (Figura 14e). Entretanto, canais de resina de natureza traumática podem, também, ocorrer em resposta a danos no tronco ou pelo ataque da broca *Hypsiphylia grandela* ou de outro inseto no meristema primário apical das árvores. Desta forma, esses anéis de crescimento podem, muitas vezes, ser caracterizados como verdadeiros, não correspondendo a camada de crescimento formada no final da estação seca. A formação de anéis de crescimento falsos pode ser induzida no lenho das árvores em resposta a condições extremas, como a desfolhação, estresse hídrico, incêndios florestais, ocorrentes nas florestas (HEINRICH, 2004). A minimização do efeito da variabilidade

entre as camadas de crescimento é importante para a análise dendrocronológica, sendo que a adequada amostragem do lenho possibilita a (ii) identificação de sinal comum e, portanto, a melhor sincronização dos anéis de crescimento e (ii) redução da variabilidade interna, pela correta aplicação de técnicas de marcação, identificação e mensuração dos anéis de crescimento verdadeiros.

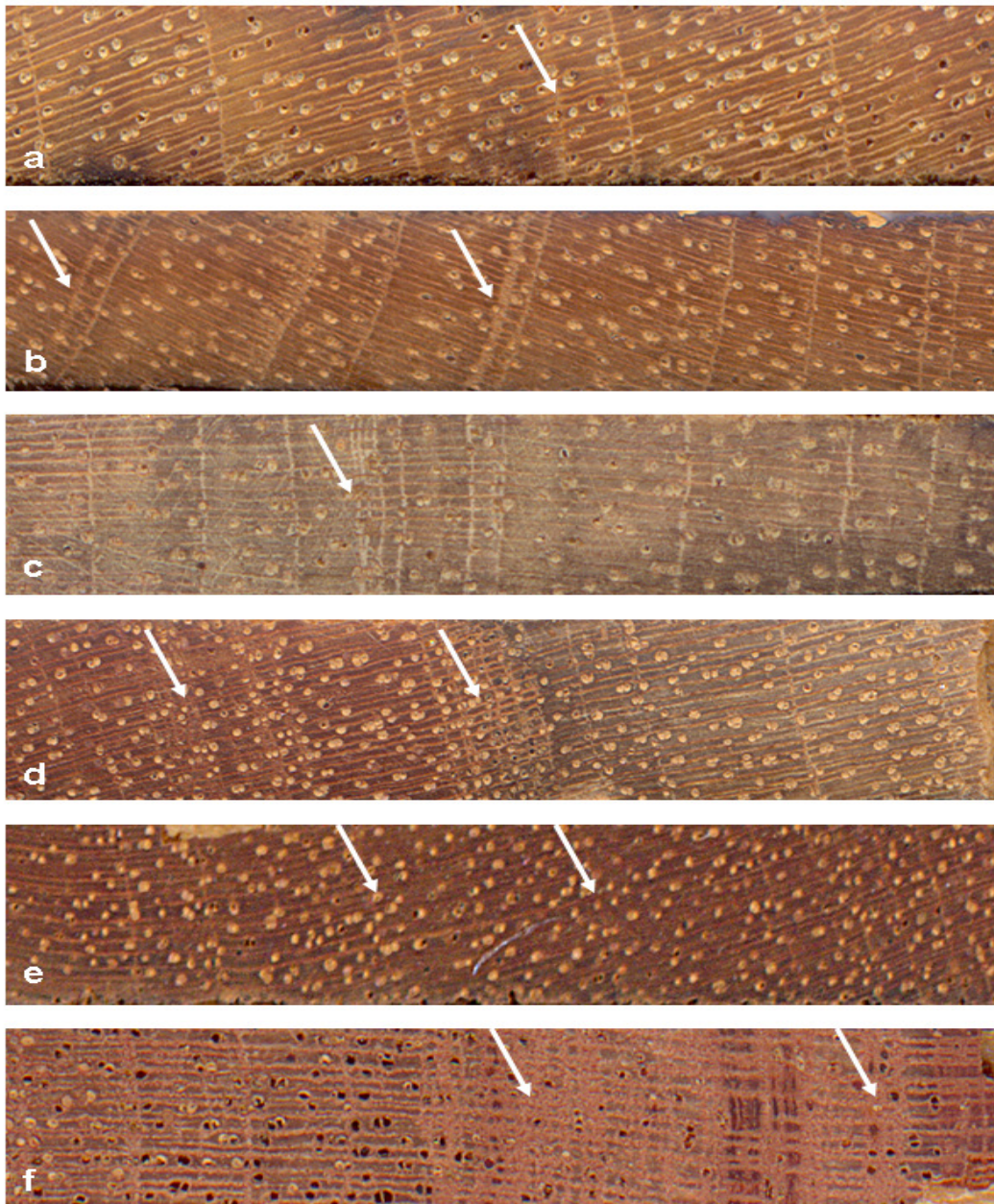


Figura 16 – Anéis de crescimento falsos e indiferenciados identificados no lenho de *S. macrophylla*. A - espessura fina; B - espessura grossa; C - estreitos; D - estreitos; E - ausentes; F - canais de resina e seqüência de vasos

4.3 Anuidade na formação dos anéis de crescimento das árvores de *S. macrophylla*

O exame das amostras do lenho das árvores de mogno, coletadas no final de outubro de 2007 (Figura 17a)- correspondente ao xilema formado após as injúrias feitas em outubro 2006-, evidenciou a formação de um tecido traumático (T), preenchendo a cavidade resultante da injúria e com expansão longitudinal, reduzindo gradativamente sua largura (X) (Figura 17b). Na cavidade central da área traumática, de forma cônica, são visualizados elementos colapsados do xilema e, na sua lateral (E), a presença de células da camada cambial estendo-se no sentido tangencial (Figura 17c). Na seqüência, encontra-se uma área de células do parênquima (CP), indicativas da reação ao ferimento, seguindo-se o xilema com os elementos de vaso, raios, fibras e uma faixa de parênquima marginal (PM) (com 3-6 células, em forma de ondulada e evidenciando a formação de anéis de crescimento anual). A diferença no número de células do parênquima longitudinal, no anel de crescimento formado de 2007-2008 é, possivelmente, atribuída a um fator climático (ex.: a precipitação; estoque de água no solo, etc.). Os resultados verificados na análise do processo de cicatrização do xilema das árvores de mogno corroboram com os obtidos por Fujii, Marsoem e Fujiwara (1998), em Java, com árvores desta espécie.

As divisões das células da região cambial em reação as injúrias formaram no lenho das árvores de mogno uma camada de tecido de parênquima e uma seqüência de canais de goma em disposição tangencial ao tecido parenquimático. Essa região de cicatrização indica a localização da região cambial no lenho, no momento da aplicação da injúria em outubro de 2006, evidenciando o início da formação da camada de crescimento correspondente ao período 2006-2007 (Figuras 18, 19). Não é possível precisar com exatidão a época de formação das faixas de parênquima marginal, uma vez que o presente estudo teve como objetivo determinar a anuidade das camadas de crescimento com amostragem anual. No entanto, a faixa de parênquima foi formada nos meses de agosto-setembro, uma vez que em outubro de 2007 a análise do lenho já evidenciou a presença de parênquima marginal e dos elementos de vaso + fibras. Nesse aspecto, Dunish, Montóia e Bauch (2003), observaram na floresta tropical de Manaus que a reativação do câmbio em árvores de mogno, após o período de dormência, ocorre entre agosto e setembro sendo que a paralisação da atividade cambial varia entre abril e agosto.

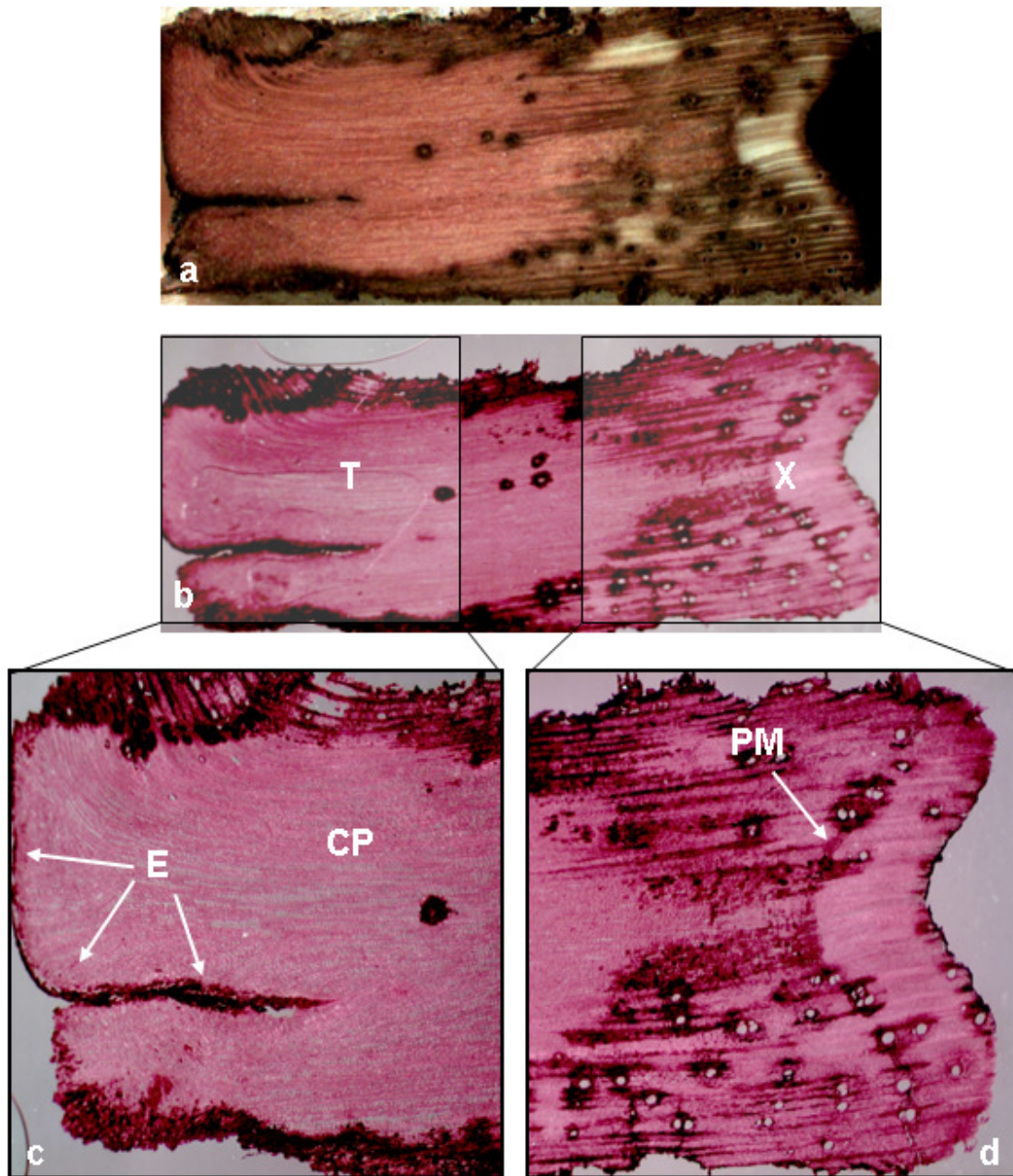


Figura 17 – Microscopia do lenho de mogno formado no período 2006-2007 na árvore MRA 6. a) estrutura do ferimento macro; b) corte histológico da porção do lenho extraído em outubro/2007, observa-se tecido cicatrizado (T) e xilema formado após cicatriz (X), 10x de aumento; c) elementos colapsados do xilema (E) e células de parênquima da cicatriz (CP), 25x; d), faixa de parênquima marginal (PM) e elementos de xilema secundário (vasos, raios e fibras), 25x

A formação de parênquima marginal no lenho de árvores de espécies de florestas tropicais tem sido estudada por diversos autores. Chafé (1974) reportou a formação de faixas de parênquima no lenho de árvores de *Populus tremuloides* após a formação do lenho tardio do anel

de crescimento, seguida da reativação do câmbio na primavera. Em árvores de *Scleronema micranthum*, na Amazônia, Vetter e Botosso (1989) reportaram a formação de faixas de parênquima no início da estação chuvosa. Em árvores de *Swietenia macrophylla*, *Capara guianensis* e de *Cedrela odorata*, Dünish et al. (2002) demonstraram a formação de faixas de parênquima marginal induzida por períodos secos, depois da fase de dormência cambial.

Em árvores de espécies decíduas de florestas temperadas ou tropicais, com períodos alternados de precipitação e de seca, a dormência cambial ocorre juntamente com a paralisação do crescimento apical e da queda foliar, resultando na formação de camadas de crescimento distintas no lenho. Eckstein et al. (1981); Jacoby (1989) apud Sass (1995) afirmam que, quanto mais pronunciada a sazonalidade devida a precipitação, mais distintas serão as camadas de crescimento. O hábito de caducifolia, seguida da brotação de gemas, em árvores de espécies como *Tectona grandis* e *Pterocarpus angolensis*, na floresta tropical de Zimbábue, é considerado por Stalhe et al. (1997, 1999) como importante na formação das faixas de parênquima marginal. Por outro lado, em árvores de espécies de dipterocarpaceas ocorrentes em florestas sempre verdes, crescendo sob clima sazonal, verifica-se o crescimento em diâmetro do tronco e altura, embora no período de baixa precipitação ocorra a redução da atividade cambial (SHIOKURA, 1989; YAP et al., 1994).

Os anéis de crescimento detectados no lenho das árvores de mogno, nos períodos de 2006-2007 e 2007-2008, correspondem aos anéis de crescimento formados antes e após a indução das injúrias cambiais, datados pela técnica de sincronização (“crossdating”). Os anéis de crescimento presentes no lenho das árvores de mogno – amostras do lenho extraídas em outubro 2007 - foram comparados e sincronizados com os do lenho das árvores-testemunha amostrados em outubro 2006, compreendendo as mesmas árvores (Figuras 18a, 19a). O período de marcação cambial, realizado em outubro 2006, é identificado através de cicatriz no lenho (seta vermelha), caracterizada pela seqüência de canais de goma presentes na amostra do lenho extraída próxima a região da injúria da casca e da camada cambial (Figuras 18c, 19c).

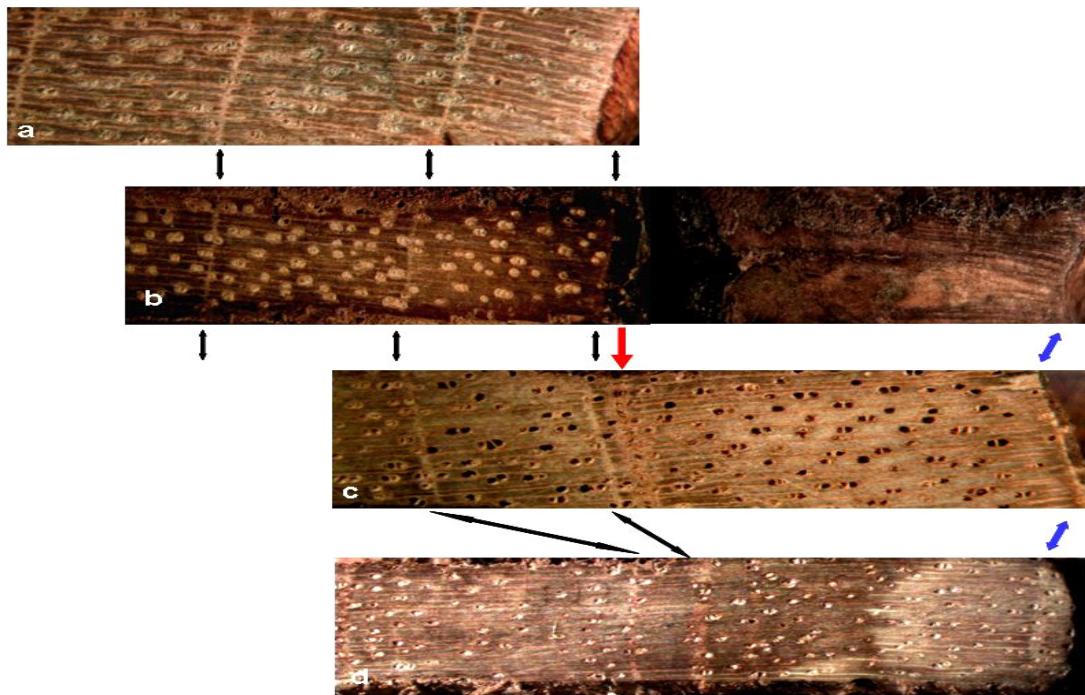


Figura 18 – Cronosequência da formação do anel de crescimento em árvores de *S. macrophyla* e em destaque a marcação cambial (canais de goma) na seção transversal do lenho amostra MRA2: (a) testemunha amostrada em outubro 2006; (b) amostra radial com cicatriz; (c) canais de resina (1 faixa) formados após marcação cambial e anel formado e (d) amostra radial com anel formado

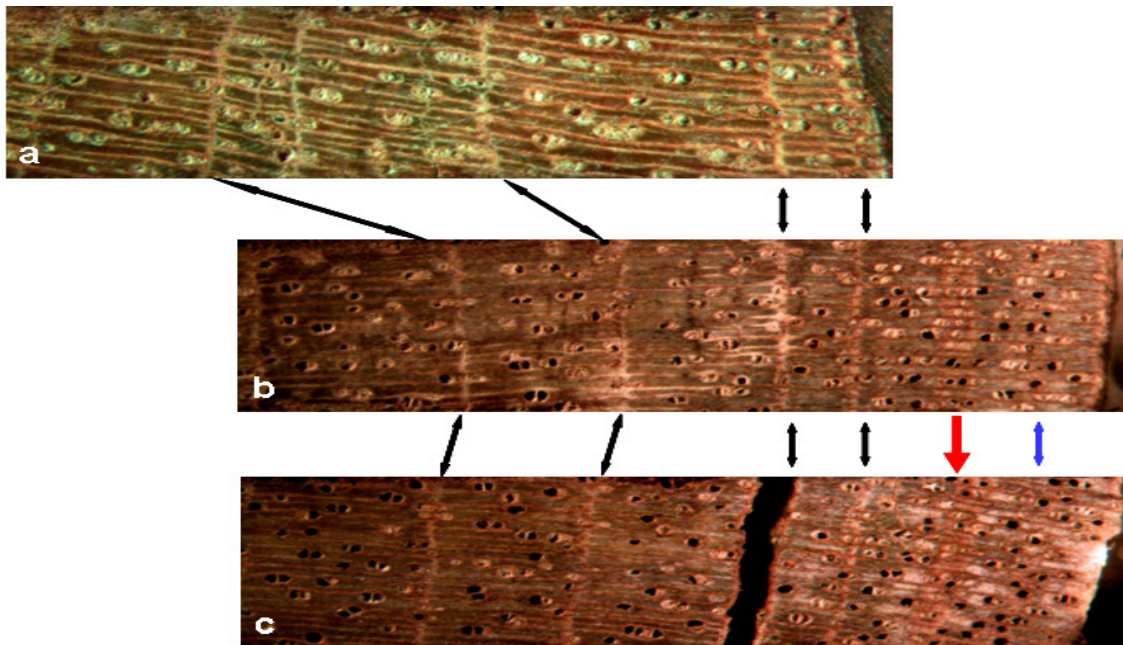


Figura 19 – Cronosequência da formação do anel de crescimento em árvores de *S. macrophyla* e em destaque a marcação cambial (canais de goma) na seção transversal do lenho amostra MRA7: (a) testemunha amostrada em outubro 2006; (b) amostra radial com cicatriz; (c) canais de resina (3 faixas) orçados após marcação cambial e anel formado

Os canais de goma formados no lenho em reação as injúrias cambiais, caracterizam-se por 1-3 linhas de canais envolvidos, ocasionalmente, por 4-5 células de parênquima longitudinal (Figuras 20). A seqüência dos canais de goma (indicados pelas setas azuis) formados após a injúria cambial e os limites das camadas de crescimento (setas amarelas) possibilitam a sua segura identificação e demarcação, para posterior construção das séries de largura dos anéis de crescimento e sua sincronização. Alguns autores mencionam a formação de canais de goma no lenho, em resposta as injúrias na camada cambial, como Kuroda e Shimaji (1983) em árvores de *Tsuga sieboldii*; Shiokura (1989) em árvores de espécies da família Dipterocarpaceae; Detienne e Mariaux (1977) na faixa de parênquima marginal de árvores de *Cedrela odorata* formada juntamente com as novas folhas da estação de crescimento, seguindo-se os vasos formando os anéis semi-porosos, pela disponibilidade de água no solo e que induz a formação dos anéis de crescimento (CHALK, 1983).

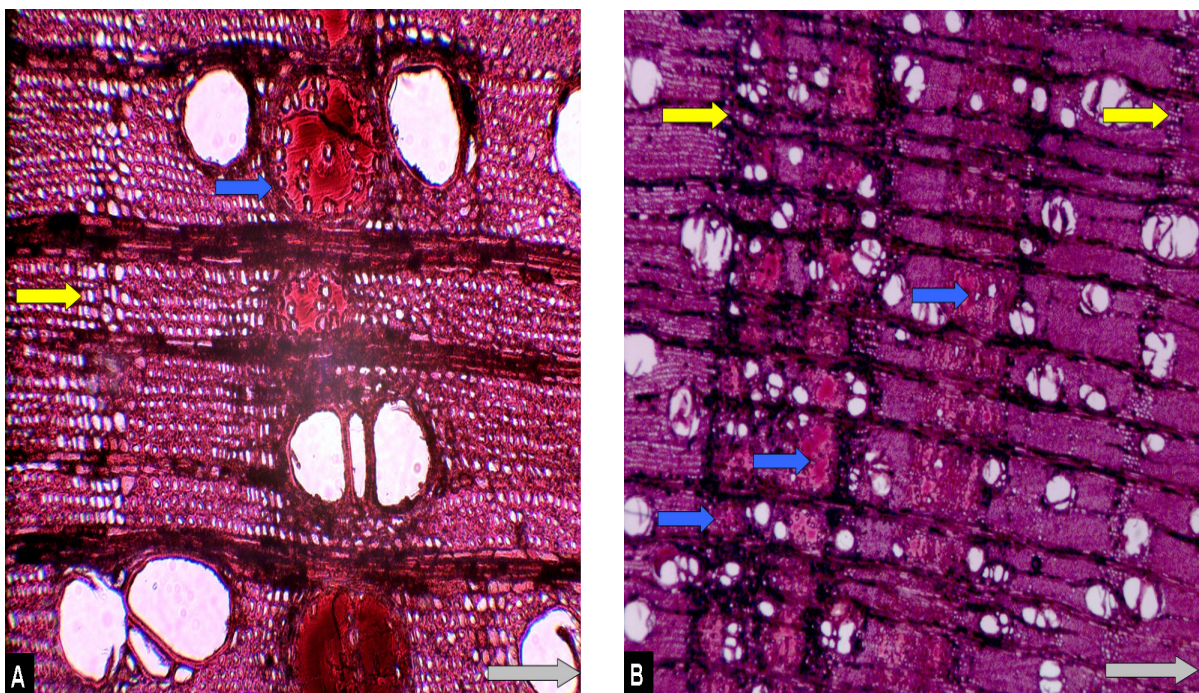


Figura 20 – Canais de goma formados em *S. macrophylla* como resposta à marcação cambial realizada em outubro 2006 (setas azuis). a) parênquima marginal (setas amarelas), fim do período de crescimento 2005-2006 e início de 2006-2007. b) parênquima marginal, fim dos períodos de crescimento 2005-2006 e 2006-2007 e início de 2007-2008, evidencia do crescimento anual em amostras coletadas após um ano (outubro 2007). Seta vermelha direção do crescimento cambial

A série de largura de anéis de crescimento Figura 21, construída com amostras do lenho coletadas em outubro de 2007, mostra uma tendência similar para os valores de largura dos anéis de crescimento formados nos 2 últimos anos: correspondentes ao período de crescimento 2005-2006 (ano 2005) e 2006-2007 (ano 2006). Para todas as séries observou-se uma queda na largura dos anéis de crescimento em 2005 em relação a 2006, o mesmo ocorrendo para os anéis de crescimento dos anos anteriores.

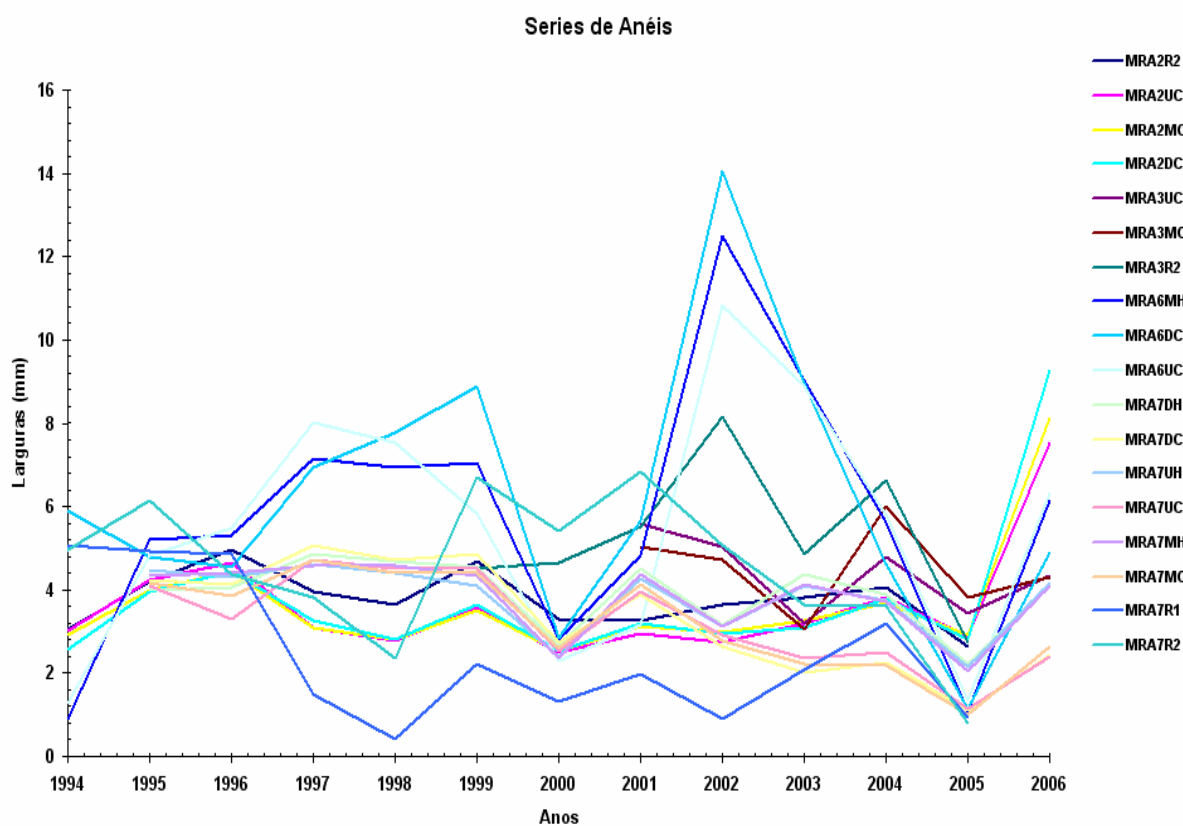


Figura 21 – Larguras de anéis de crescimento das árvores de mogno

A transformação desses valores de largura dos anéis de crescimento em índices (ou séries cronológicas) reduz a variabilidade da tendência de crescimento das árvores de mogno (Figura 22), sendo feita com o programa COFECHA (HOLMES et al., 1986) (vide itens 4.7.2, 4.7.3), permitindo obter correlações em períodos de 30 anos comparados a cada 15 anos. As intercorrelações de cada série cronológica (Tabela 3) mostram valores médios e significativos de 0.76 e 0.63, para os períodos de 1965-1994 e de 1980-2006, respectivamente. Já o período de 1995-

2006, das séries cronológicas da árvore de mogno MRA3, a inter-correlação de 0.37 não foi significativa devendo-se, provavelmente, a variação da largura dos anéis de crescimento e o menor número de amostras do lenho avaliadas.

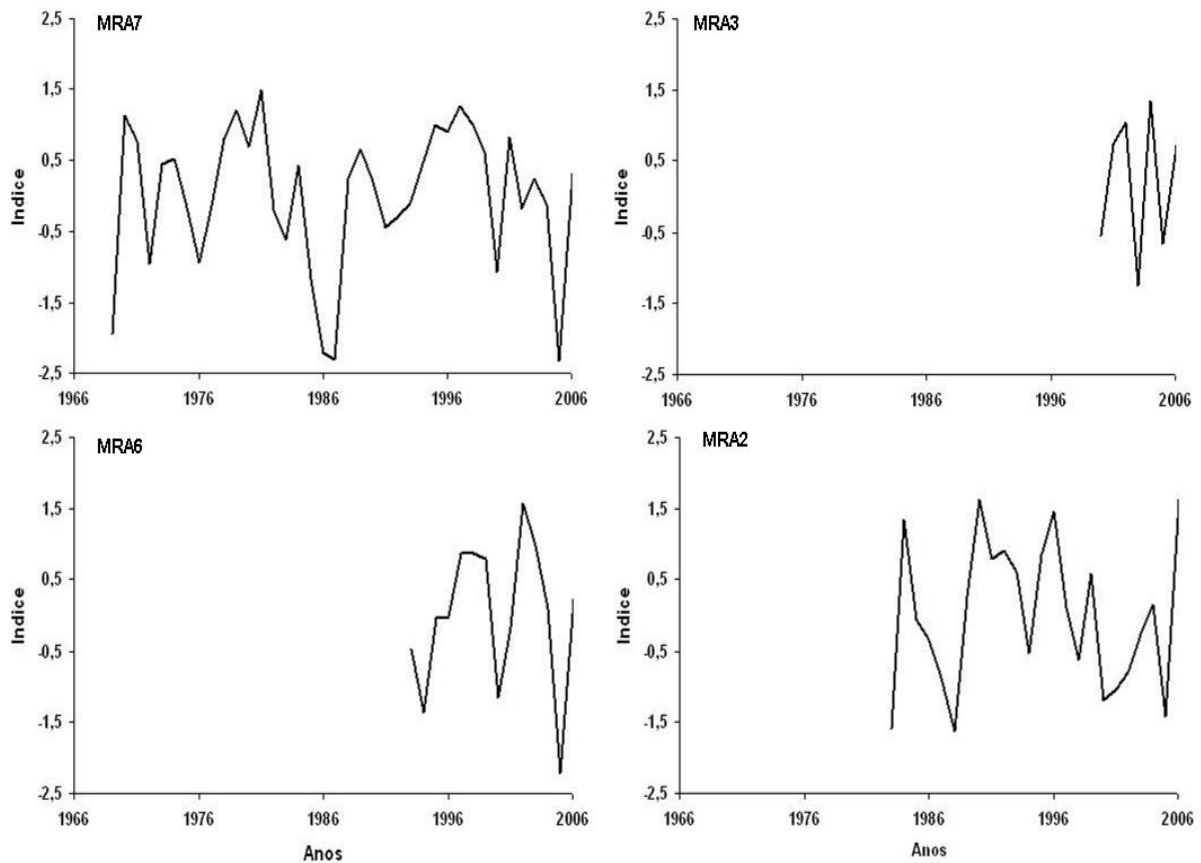


Figura 22 – Larguras de crescimento transformadas em índices para cada árvore de *S. macrophylla* amostrada em outubro 2007

Em síntese, as análises macro e microscópica do lenho das 4 árvores de mogno na região da injúria cambial, confirmaram a formação das camadas de crescimento anuais, delimitadas por uma faixa de parênquima marginal, após a estação seca. Complementarmente, a sincronização evidenciou uma correlação positiva e significativa entre os anéis de crescimento das árvores de mogno amostradas em outubro 2006 e em outubro 2007, demonstrando a existência de comportamento comum (reação comum aos sinais climáticos) representado pela largura dos anéis de crescimento.

Tabela 3 – Inter-correlação das séries dendrocronológicas obtidas a partir da comparação das larguras de anéis de crescimento

Seqüência	Séries	Intervalo		Inter-correlação		
				1965-1994	1980-2006	1995-2006
1	MRA2MH	1983	2006		0,54	
2	MRA2R2	1983	2005		0,72	
3	MRA2UC	1983	2006		0,65	
4	MRA2MC	1983	2006		0,65	
5	MRA2DC	1983	2006		0,58	
6	MRA3UC	2001	2006			0,44B
7	MRA3MC	2001	2006			0,29B
8	MRA3R2	1999	2005			0,37B
9	MRA6MH	1993	2006		0,48B	
10	MRA6DC	1994	2006		0,34B	
11	MRA6UC	1993	2006		0,21B	
12	MRA7R1	1970	2006	0,41A	0,35A	
13	MRA7R2	1969	2006	0,65	0,61	
14	MRA7MC	1974	2006	0,77	0,81	
15	MRA7DH	1971	2006	0,87	0,83	
16	MRA7DC	1971	2006	0,84	0,84	
17	MRA7UH	1970	2006	0,86	0,85	
18	MRA7UC	1970	2006	0,85	0,84	
19	MRA7UH	1974	2006	0,84	0,84	
Correlação média				0,76	0,63	0,37

Notas: Pearson 99%, nível crítico de correlação 0.4226 ;A: Correlação máxima obtida; B: Correlações mais elevadas do que em outras posições

4.4 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento da espécie *S. macrophylla*

4.4.1 Controle de qualidade das séries de anéis de crescimento

Das 20 árvores de mogno amostradas nas Populações A e B foram mensuradas as larguras dos anéis de crescimento de 33 amostras do lenho, sendo construídas as respectivas séries de anéis de crescimento (FRITTS, 1976) (vide item 3.7.2.).

A execução do programa COFECHA (HOLMES, 1983; GRISSINO-MAYER, 2001) nessas séries de largura dos anéis de crescimento permitiu controlar a sua qualidade, sincronizando-as com a série máster (média das séries individuais) e detectando os erros de medição. As tendências de crescimento (ruído) foram removidas de cada série de anéis de crescimento mediante a aplicação de uma função *spline cúbico*, com valor limite de resposta-freqüência de 50% e uma longitude de série pré-determinada de 32 anos, onde cada valor da série é dividido pelo correspondente valor da curva spline.

Após este ajuste, o programa calculou (dividindo cada valor da largura pelo valor do *spline*) e comparou as séries residuais, correlacionando segmentos de 40 anos, em intervalos de 20 anos, detectando os aparentes erros de medição: possivelmente devidos aos anéis de crescimento ausentes ou falsos, evidenciados por baixas correlações entre as séries e altas correlações em posições não datadas dentro da série de anéis de crescimento. Deste modo, as séries de anéis de crescimento que mostraram baixas correlações e, ao mesmo tempo, não atingiram o nível de correlação crítico de significância (Pearson 99%), foram excluídas da análise. Assim, o sinal comum das séries restantes foi maximizado formando uma serie máster sólida que representa o comportamento similar entre as séries (Figuras 23, 24).

Das 20 árvores de mogno somente 13 árvores, sendo 5 da população A e 8 da população B apresentaram inter-correlações significativas de 0,467 e 0,413, respectivamente, evidenciando assim um sinal comum em cada população. As árvores de mogno restantes foram rejeitadas da análise devido as irregularidades no lenho que não permitiram obter as correlações altas (tortuosidade, madeira de tração, anéis de crescimento falsos e indiferenciados, etc.). O controle de qualidade das séries e as inter-correlações das séries de anéis de crescimento que apresentam um sinal comum nas 2 populações de árvores de mogno são expressas nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 – Resultados do controle de qualidade das series executados pelo programa COFECHA

População	Número de árvores (séries)		Inter-correlação média	Longitude do segmento (anos)	Máximo número de anéis observados
	Antes	Depois			
A	7(19)	5(8)	0.467	40	80
B	13(14)	8(8)	0.413	40	122

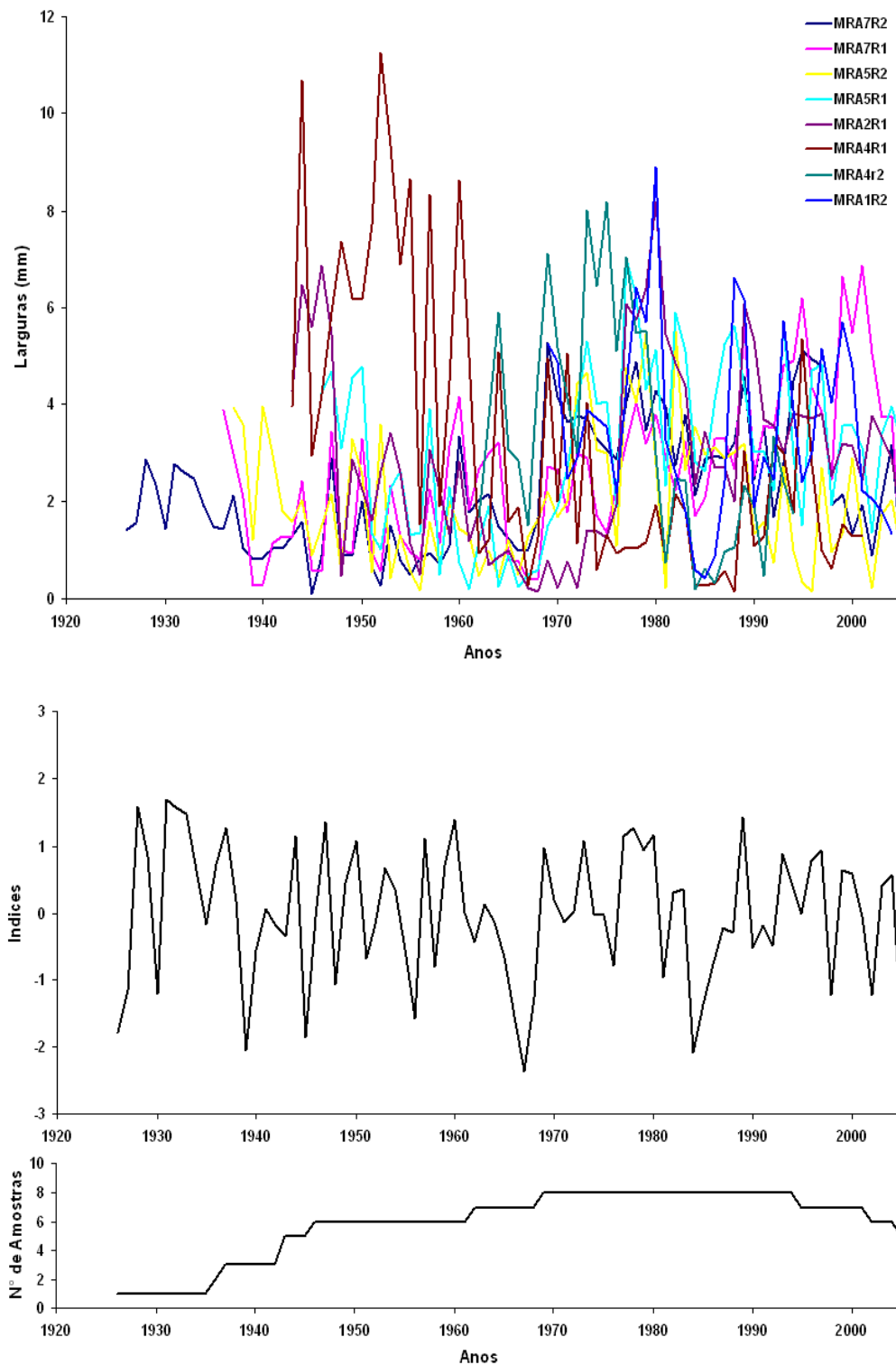


Figura 23 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), série master obtida pelos índices de anéis de crescimento com COFECHA e numero de amostras utilizadas na análise da população A (inferior)

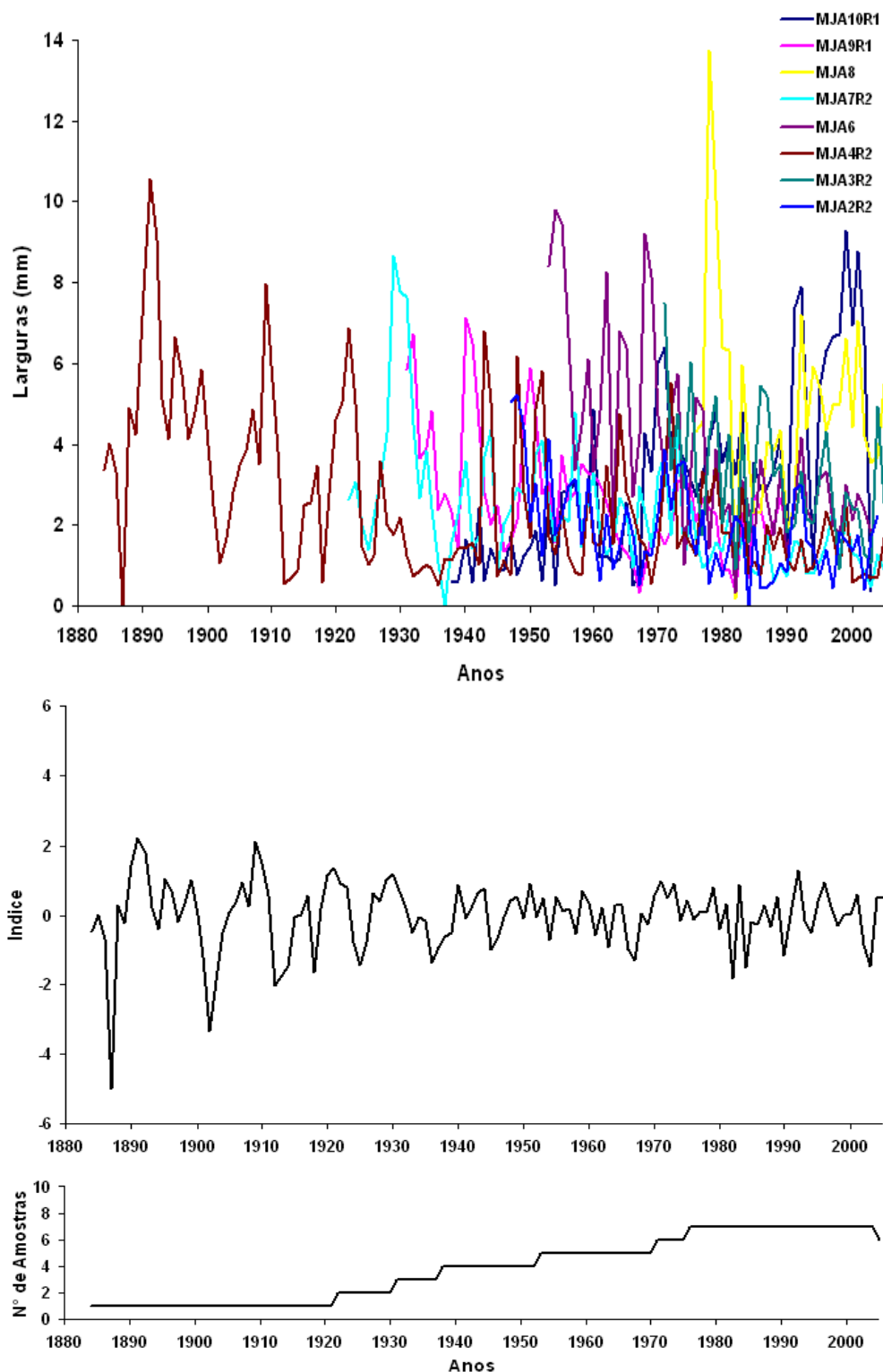


Figura 24 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), série máster obtida pelos índices de anéis de crescimento com COFECHA e numero de amostras utilizadas na análise na população B (inferior)

Tabela 5 – Inter-correlação das séries cronológicas a partir das larguras de anéis de crescimento para a população A

Seqüência	Séries	Intervalo	Inter-correlação				
			1920-1959	1940-1979	1960-1999	1980-2005	
1	MRA7R2	1926	2005	0,58	0,63	0,63	0,62
2	MRA7R1	1936	2005	0,67	0,67	0,64	0,61
3	MRA5R2	1937	2005	0,51	0,51	0,34B	0,35A
4	MRA5R1	1946	2005		0,56	0,51	0,5
5	MRA2R1	1943	2005		0,31B	0,45	0,41B
6	MRA4R1	1943	2001		0,42	0,43	0,40
7	MRA4R2	1962	1994			0,52	
8	MRA1R2	1969	2004			0,43	
Correlação média				0,59	0,52	0,49	0,48

Notas: Pearson 99%, nível crítico de correlação 0.3665; A: Correlação máxima obtida; B: Correlações mais elevadas do que em outras posições

Tabela 6 – Inter-correlação das séries cronológicas à partir das larguras de anéis de crescimento para a população B

Seqüência	Séries	Intervalo	Inter-correlação				
			1920-1959	1940-1979	1960-1999	1980-2005	
1	MJA10R1	1938	2003	0,43	0,43	0,60	0,62
2	MJA9R1	1931	1990	0,23B	0,15B	0,50	
3	MJA8	1976	2005			0,54	
4	MJA7R2	1922	2005	0,42	0,33A	0,39	0,45
5	MJA6	1953	2003		0,42	0,52	0,55
6	MJA4R2	1884	2005	0,23B	0,10B	0,47	0,42
7	MJA3R2	1971	2005			0,56	
8	MJA2R2	1947	2004		0,30B	0,22B	0,17B
Correlação média				0,33	0,29	0,48	0,44

Notas: Pearson 99%, nível crítico de correlação 0.3665; A: Correlação máxima obtida; B: Correlações mais elevadas do que em outras posições

4.4.2 Séries cronológicas de anéis de crescimento

Na seqüência, após a aplicação do controle de qualidade das séries de anéis de crescimento das árvores de mogno, permitindo a maximização do sinal comum, gerou-se uma cronologia para as Populações A e B, pela execução do programa ARSTAN (COOK, 1985; COOK; HOLMES, 1985) aplicando um modelo estocástico denominado *spline cúbico*. O critério de seleção do melhor *spline cúbico* adotado é função da obtenção de melhores resultados e, para a dendroclimatologia, aquele que produz a melhor reconstrução climática (DELGADO, 2000).

As séries de largura de anéis de crescimento das árvores de mogno de cada população foram padronizadas aplicando o *spline cúbico*. A porcentagem de longitude de série foi de 67%, conforme sugerido por Cook (1989), que assegura que as variâncias de baixa frequência se perdem, sendo a tendência de crescimento removida, tornando-se mais flexível e permitindo melhor ajuste e em maior número de segmentos da série de anéis de crescimento (vide item

3.7.3). Holmes (1994) sugere aplicar uma “dupla padronização” (“double detrending”) para remover as tendências do efeito do crescimento e de outros fatores: pela aplicação de (i) uma curva exponencial negativa e (ii) um *spline cúbico*. Consegue-se um bom ajuste para as árvores jovens e adultas, pois o *spline cúbico* é adequado para as árvores adultas e senescentes e a curva exponencial negativa se ajusta muito bem as árvores jovens, corrigindo as deficiências de cada método. Cook (1989) examinou as propriedades espectrais da dupla padronização (Double detrending) e encontrou que a combinação do ajuste linear ou exponencial negativo mais um simples *spline cúbico* 67% funciona bem, pois não remove as variâncias de baixa frequência. Entre tanto, a dupla despadrãoização pode trazer um sobre-ajuste reduzindo o ruído associado ao sinal que se está procurando.

As cronologias de anéis de crescimento, geradas pelo programa ARSTAN, indicam para as árvores de mogno das Populações A e B uma extensão de 80 anos (1926-2005) e de 122 anos (1884-2005), respectivamente. O número de amostras do lenho analisadas diminui conforme aumenta a extensão (em anos) da cronologia, indicando sua construção com poucas árvores de maior idade (mais velhas) e várias árvores de idade similar (mais novas) (Figuras 25, 26). As correlações significativas das séries de anéis de crescimento das Populações A e B revelam que as árvores de mogno são passíveis de sincronização podendo-se determinar uma cronologia máster para cada população. A sincronização das séries de anéis de crescimento determinou que as árvores de mogno na População A apresentam menor idade (36-80 anos, consideradas jovens) comparadas com as da População B com maior idade (38-122 anos, consideradas adultas). As idades das árvores de mogno e o período das cronologias masters das Populações A e B são apresentadas na Tabela 7.

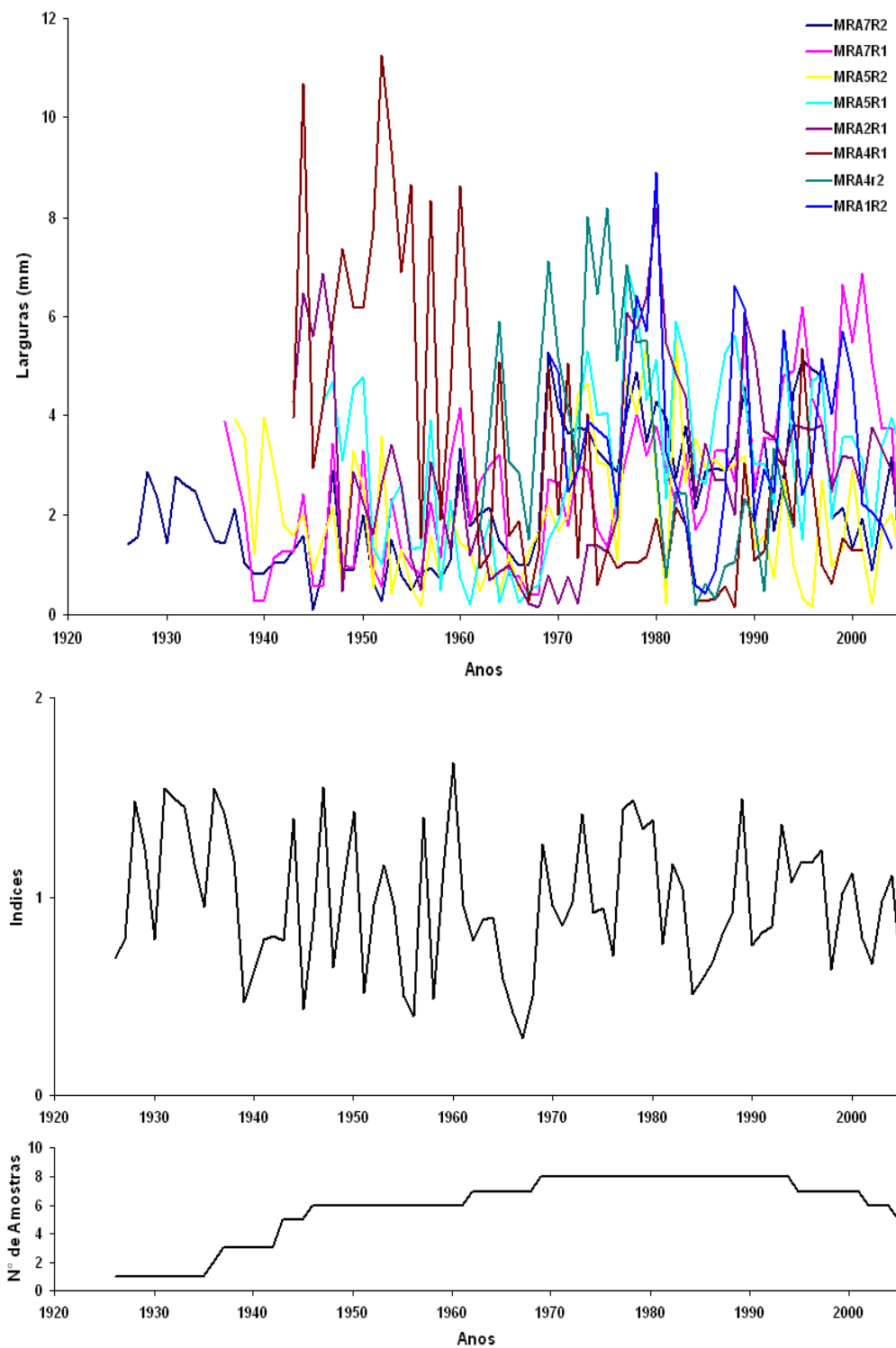


Figura 25 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), cronologia master obtidas pelos índices de anéis de crescimento com ARSTAN e numero de amostras utilizadas na análise na população A (inferior)

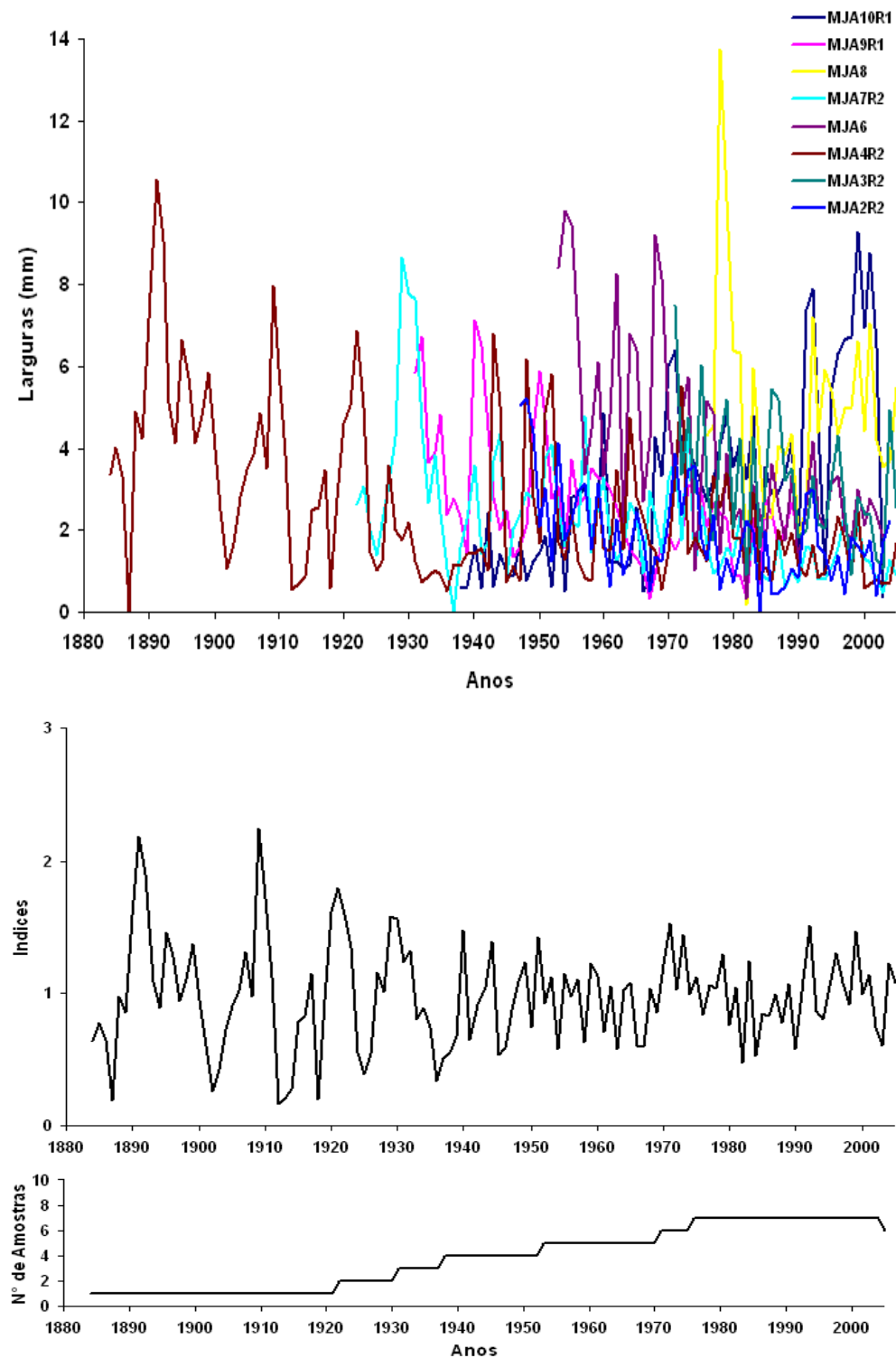


Figura 26 – Series de larguras de anéis de crescimento com sinal comum (superior), cronologia master obtidas pelos índices de anéis de crescimento com ARSTAN e numero de amostras utilizadas na análise na população B (inferior)

Tabela 7 – Idade das árvores e o período de cada série cronológica nas populações amostradas no Departamento de Madre de Dios

Cronologia	Árvore	DAP (cm)	Período	Idade (anos)
A	MRA1	41	1969-2004	36
	MRA2	46,5	1943-2005	63
	MRA4	35	1962-2004	43
	MRA5	45	1937-2005	69
	MRA7	43,5	1926-2005	80
B	MJA2	55,5	1947-2004	58
	MJA3	71	1971-2005	38
	MJA4	69,5	1884-2005	122
	MJA6	96,5	1953-2003	80
	MJA7	110	1922-2005	84
	MJA8	75,63	1976-2005	30
	MJA9	62	1931-1990	60
	MJA10	58,1	1938-2003	66

A comparação das cronologias máster das populações permite determinar a existência de sinal comum na região que influi no crescimento do tronco das árvores de mogno das 2 populações. No entanto, a Figura 27 demonstra que as cronologias dos anéis de crescimento das árvores de mogno das Populações A e B não apresentam sincronização. O coeficiente de correlação de Pearson de 0,15, entre as cronologias dos anéis de crescimento (Tabela 8), não foi significativo ($p > 0,05$), indicando que o crescimento em diâmetro do tronco das árvores de mogno das 2 populações foi diferenciado devido, possivelmente, as diferenças e especificidades das condições de cada sítio como natureza edáfica, topográfica, climática, competição, etc.

Tabela 8 – Coeficiente de correlação de Pearson entre as duas cronologias máster das Populações A e B

	População A	População B
População A	.....1.....	
População B	0,150	.....1.....

Notas: + nível de 95% de confiança

Com respeito a influência da topografia, Lara et al. (2000) no desenvolvimento de redes cronológicas de anéis de crescimento de árvores de *Fitzroya cupressoides* na Argentina e no Chile, observaram que a correlação positiva entre as redes de cronologias com forte ação climática comum e regional. No entanto, as cronologias apresentam diferenças na largura dos anéis de crescimento indicando que as condições climáticas locais e de crescimento específicas estão associadas à topografia.

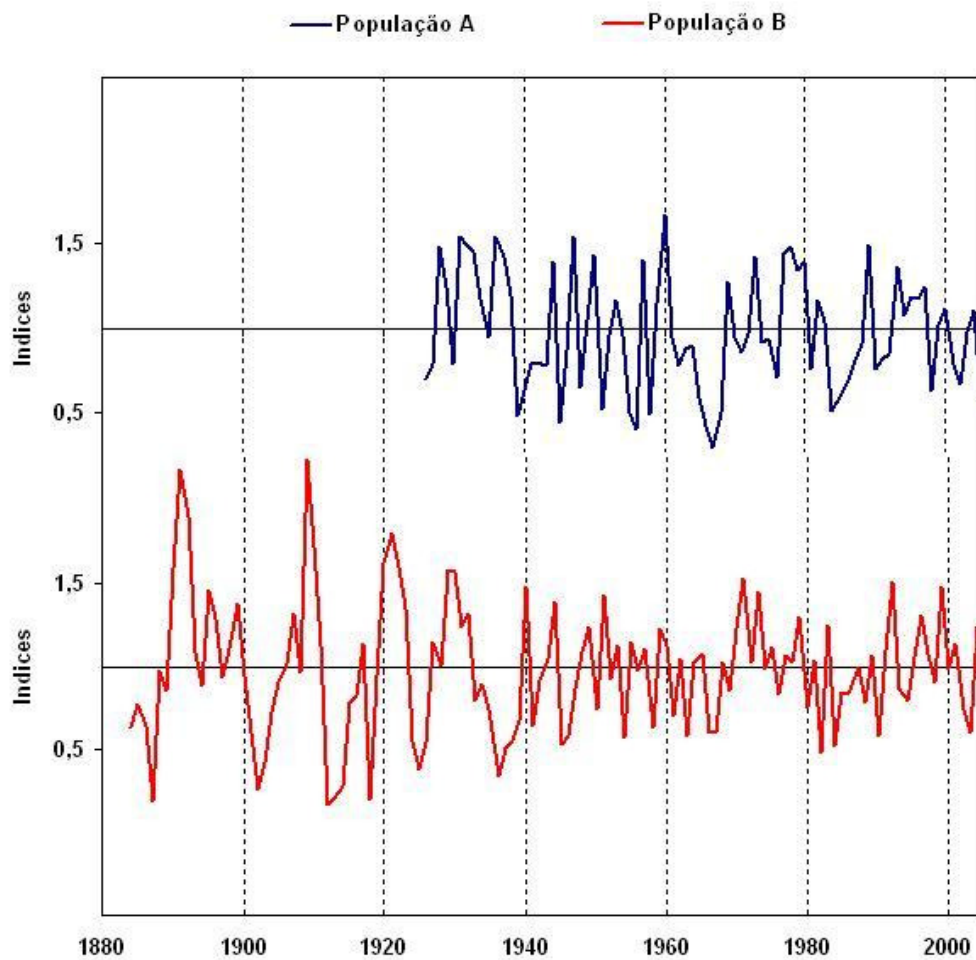


Figura 27 – Comparação das cronologias master das populações A e B para o Departamento de Madre de Dios, Peru

4.5 Análise dendroclimatológica das séries cronológicas de anéis de crescimento

A influência das variáveis climáticas no crescimento em diâmetro do tronco das árvores de mogno nas Populações A e B foi testada mediante a correlação entre as suas cronologias de anéis de crescimento (Figuras 28, 29) e a série climática do Departamento de Madre de Dios (vide item 4.1).

Para as árvores de mogno das populações A e B obtiveram-se coeficientes de correlação de Pearson negativos ($r=-0,247$; $p>0,05$) e ($r=-0,055$; $p>0,05$) entre as cronologias STNDRD/temperatura média anual e positivo e significativo ($r=0,378$; $p<0,05$) e ($r=0,33$; $p<0,05$) entre as cronologias/precipitação média anual, respectivamente. Estes resultados

evidenciam que a precipitação média anual (sinal comum) influi forte e significativamente na largura dos anéis de crescimento das árvores de mogno nas Populações A e B; enquanto a temperatura mostra-se constante não mostrando forte influência nos anéis de crescimento. Essa sincronia apresentada entre as cronologias das árvores de mogno das populações A e B com a precipitação média anual indica ser esta a principal variável climática atuante no crescimento em diâmetro do tronco das árvores. Deste modo, as baixas precipitações ocorrentes no período maio-julho, na região de estudo, induzem uma dormência da atividade cambial, refletindo no crescimento em diâmetro das árvores de mogno (e na formação dos anéis de crescimento no seu lenho) e caracterizando-as com espécies de crescimento cíclico anual, tendo a precipitação como fator limitante (FRITTS, 1976).

Além disso, a falta de sincronia observada entre as cronologias dos anéis de crescimento das árvores de mogno das Populações A e B indica a influência de outra variável (ou fator) que condiciona o crescimento em diâmetro local dessas árvores, em cada população. Nesse aspecto, os resultados das pesquisas sobre a eco-fisiologia das árvores de mogno realizadas na Amazônia brasileira por Dunish et al. (2002) mostram que a espécie responde mais sensivelmente a condições locais não favoráveis de luz, água e demanda de nutrientes do que as de *Cedrela odorata* indicando que a alta sensibilidade das cronologias é, possivelmente, devida às variações das condições do micro sítio nas áreas de estudo.

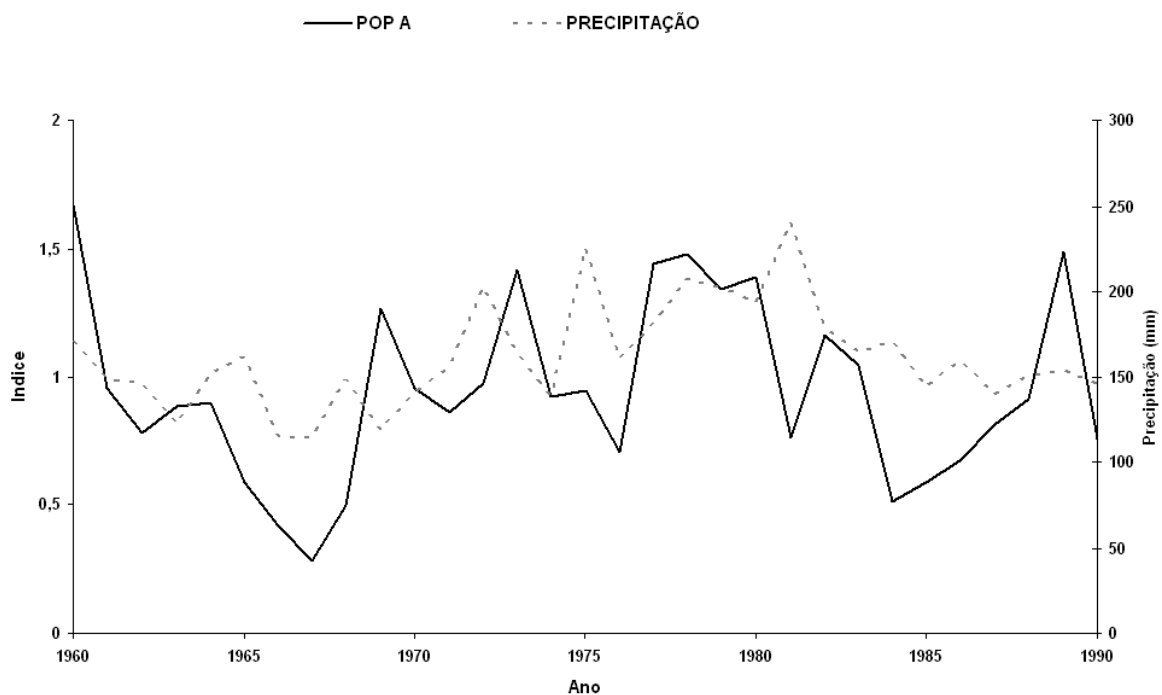
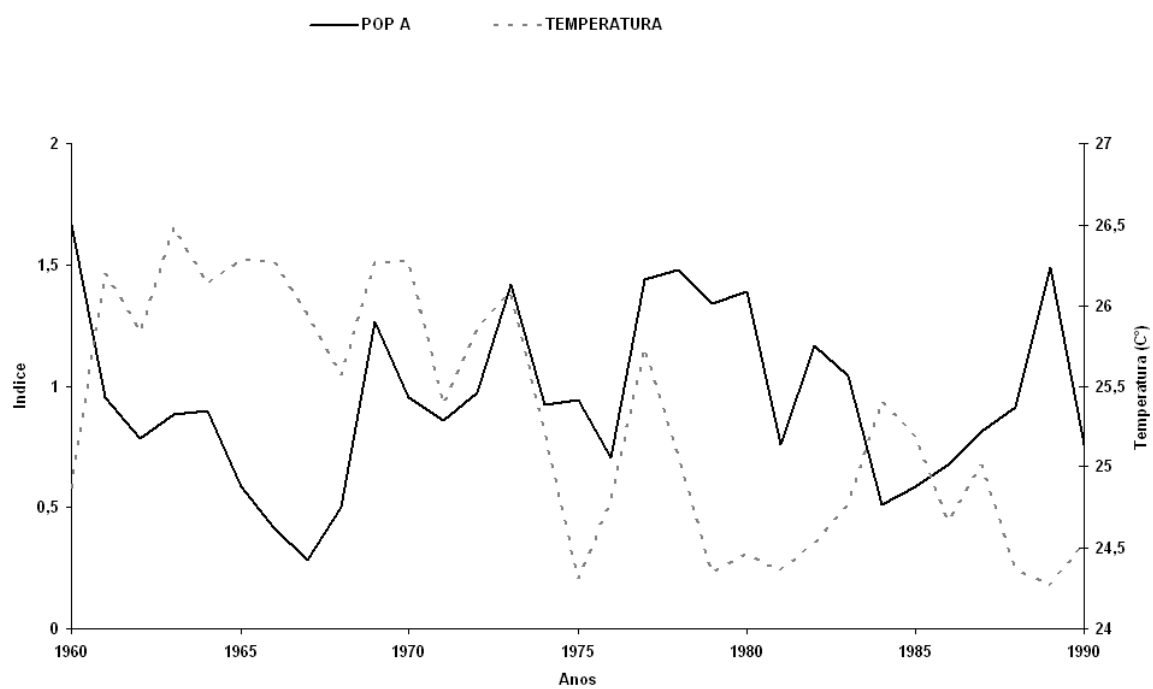


Figura 28 – Correlação entre a cronologia master da população A com a Temperatura média e precipitação média do Departamento de Madre de Dios

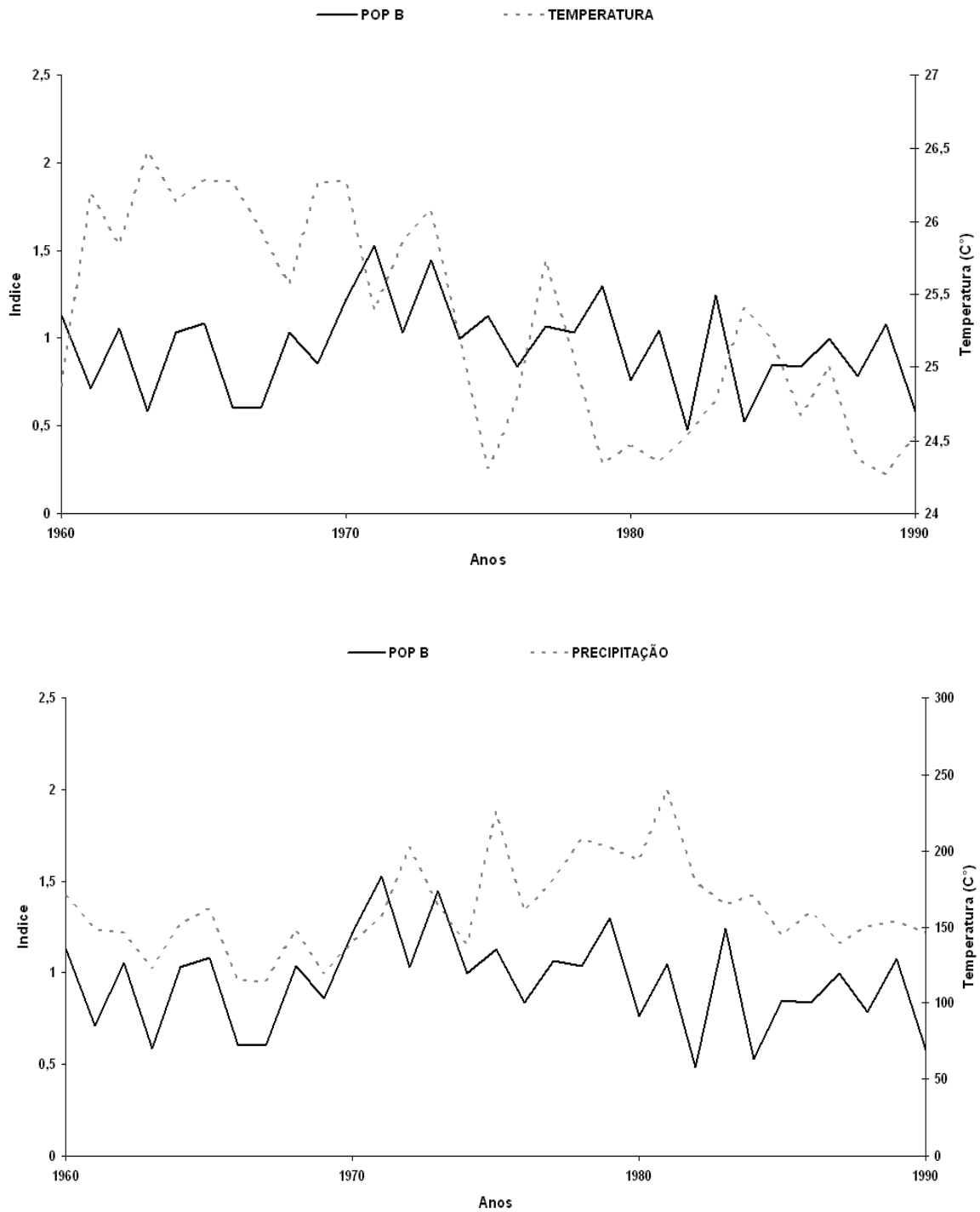


Figura 29 – Correlação entre a cronologia master da população B com a Temperatura média e precipitação média do Departamento de Madre de Dios

A análise detalhada da influência das variáveis climáticas (precipitação e temperatura), através da correlação de Pearson (vide item 3.7.3) entre as cronologias de anéis de crescimento/registros climáticos mensais (de junho do ano anterior ao período de crescimento até agosto do ano corrente: período de 15 meses), através do programa RESPO (HOLMES, 1994), determinou em que período as variáveis climáticas influem significativamente no crescimento em diâmetro das árvores de mogno. As saídas do programa são mostradas nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 – Coeficiente de correlação de Pearson para a relação entre índices de largura de anéis da população A (cronologias máster), valores mensais de precipitação (PPT_{med} , mm) e temperaturas médias (T_{med} , °C)

RESPO População A			
Temperatura		Precipitação	
Meses	Correlação de Pearson	Meses	Correlação de Pearson
Junho	-0,3489 ⁺	Junho	0,1829
Julho	0,0048	Julho	0,1644
Agosto	-0,182	Agosto	0,2345
Setembro	-0,2578	Setembro	0,1132
Outubro	-0,2591	Outubro	-0,0377
Novembro	-0,0972	Novembro	0,1696
Dezembro	-0,0508	Dezembro	0,3474 ⁺
Janeiro	0,0342	Janeiro	-0,0794
Fevereiro	0,388 ⁺	Fevereiro	0,2043
Março	0,374 ⁺	Março	0,1887
Abril	0,0733	Abril	-0,1081
Mai	-0,2094	Mai	0,281
Junho	-0,2378	Junho	0,1911
Julho	-0,113	Julho	0,1982
Agosto	-0,3567 ⁺	Agosto	0,1295

Notas: ⁺ nível de 95% de confiança.

Para as árvores de mogno da população A, obtiveram-se *correlações negativas* do crescimento do tronco com a temperatura na estação seca (inverno), significativas nos meses de junho do ano prévio e no de agosto do ano corrente; e *positiva e significativa* na estação chuvosa nos meses de fevereiro e março do ano corrente. Correlação *positiva e significativa* do crescimento do tronco com a precipitação no início da estação chuvosa (verão) no mês de dezembro do ano corrente (Figura 30). Esses resultados indicam que os níveis de precipitação apresentam uma maior influência no crescimento em diâmetro do tronco das árvores de mogno da População A no início da estação chuvosa, particularmente no mês de dezembro, onde a correlação foi positiva e significativa; no final da estação chuvosa, principalmente no mês de maio, a correlação embora positiva não foi significativa. Estes dados corroboram as observações de Dunish et al. (2003), para as árvores de mogno na Amazônia brasileira, indicando o maior

crescimento em diâmetro no início (novembro-janeiro) e no final (maio) da estação de crescimento, sendo que o armazenamento de compostos orgânicos produzidos no processo fotossintético neste último período é utilizado no crescimento das árvores, no início da estação de crescimento seguinte. Por outro lado, a temperatura pode influir negativamente no crescimento das árvores de mogno, nos meses prévios (junho-agosto) a estação de crescimento devido, possivelmente, a redução da reserva de água no solo com o aumento da temperatura. Aliás, mudanças na temperatura podem, também, influir positivamente no crescimento no início da estação chuvosa (fevereiro-março) devido, possivelmente, ao efeito da radiação solar e ao aumento da atividade fotossintética (CLARK; CLARK, 1994).

Tabela 10 – Coeficiente de correlação de Pearson para a relação entre índices de largura de anéis da população B (cronologias máster), valores mensais de precipitação (PPT_{med} , mm) e temperaturas médias (T_{med} , °C)

RESPO População B			
Temperatura		Precipitação	
Meses	Correlação de Pearson	Meses	Correlação de Pearson
Junho	0,1348	Junho	0,3521 ⁺
Julho	0,263	Julho	0,088
Agosto	0,052	Agosto	0,3243 ⁺
Setembro	0,2735	Setembro	-0,193
Outubro	0,1197	Outubro	0,1238
Novembro	0,1022	Novembro	0,0301
Dezembro	0,252	Dezembro	-0,0372
Janeiro	0,1295	Janeiro	0,0987
Fevereiro	0,0869	Fevereiro	0,0489
Março	0,1886	Março	,2277
Abril	0,1317	Abril	-0,0372
Mai	-0,0588	Mai	0,1675
Junho	-0,0582	Junho	0,1799
Julho	-0,1972	Julho	0,2161
Agosto	-0,1078	Agosto	0,2726

Notas: ⁺ nível de 95% de confiança.

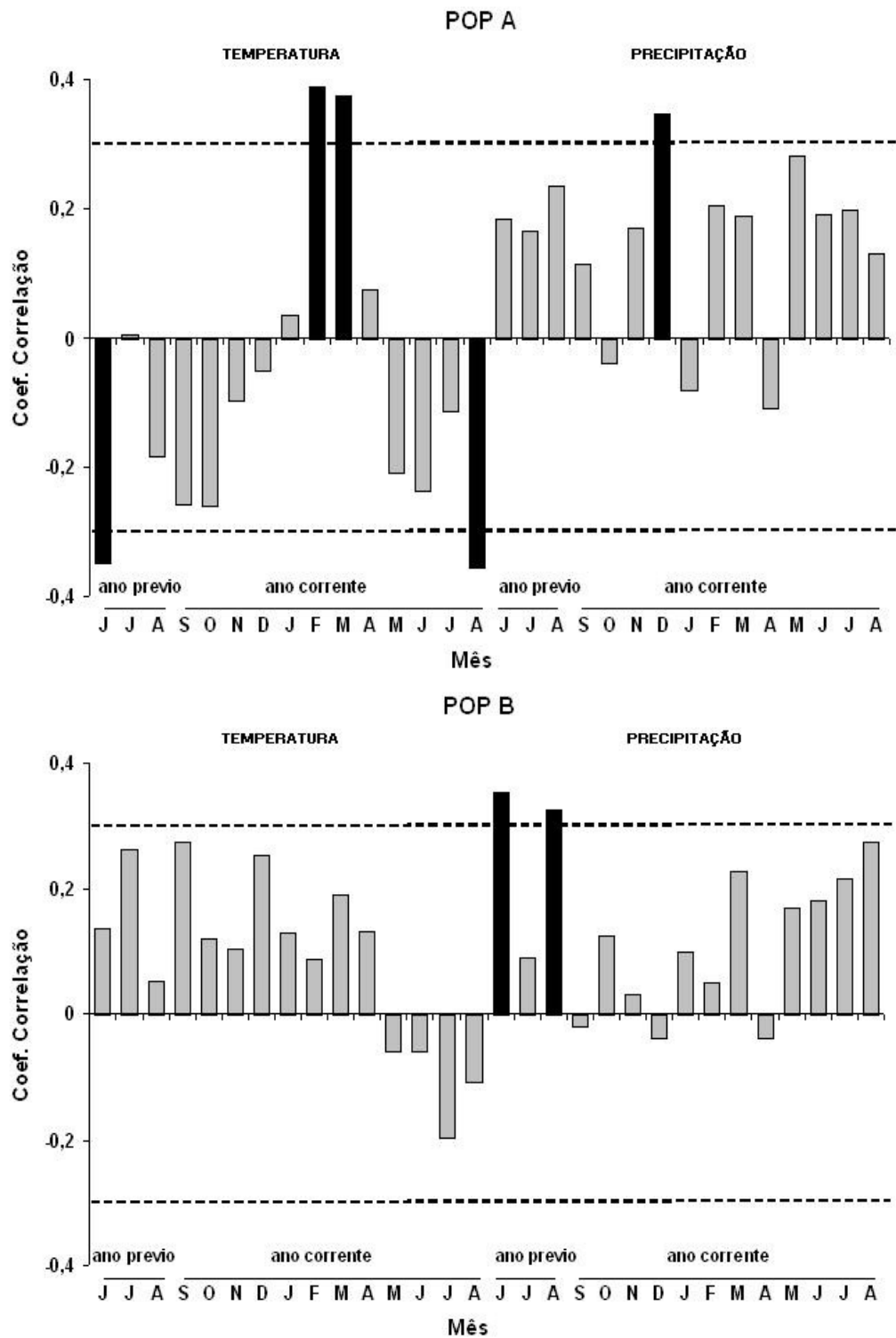


Figura 30 – Correlações entre índices de anéis de crescimento com as variáveis climáticas mensais da região para a população A (superior) e população B (inferior)

Para as árvores de mogno da população B, obtiveram-se correlações positivas e significativas entre crescimento do tronco com a precipitação nos meses prévios à estação de crescimento (julho-agosto) e correlação positiva mas não significativa no fim da estação chuvosa e início da estação seca (maio-gosto) do ano corrente. As árvores de mogno dessa população não apresentaram correlações de Pearson significativas entre o crescimento e os valores médios mensais de temperatura (Figura 30). Este resultado indica que as árvores de mogno da População B apresentam uma maior sensibilidade à precipitação nos meses da estação seca, prévios ao crescimento (junho-agosto), possivelmente pelo efeito do déficit hídrico no solo, nos anos de menor índice de precipitação, afetando o crescimento das árvores de mogno. A temperatura da estação seca (maio-agosto) do ano corrente correlacionou-se negativa, mas não significativamente, com o crescimento do tronco das árvores de mogno evidenciando, também, uma resposta negativa devido ao déficit de água no solo.

Comportamento similar ao observado para as árvores de mogno foi apresentado por Brien (2005) para as árvores de *A. cearensis* e de *Tachigali sp*, na floresta da Amazônia tropical boliviana, explicando que a sensibilidade detectada no início da estação chuvosa deve ser devida ao gradual suprimento das reservas de água no solo nos 2-3º meses iniciais da estação chuvosa, mantendo um balanço de água positivo, durante toda a estação de crescimento. Pry e Bhat (1999) explicam que a formação das camadas de crescimento no lenho das árvores, é mais intensa logo após o início da estação chuvosa e menos intensa no seu final devido, possivelmente, a diminuição da capacidade fotossintética das folhas velhas e as mudanças no armazenamento e disponibilidade dos nutrientes do solo. Estes fatores climáticos isolados e/ou em combinação visam explicar a maior importância dos níveis de precipitação pluviométrica no início da estação chuvosa para o crescimento em diâmetro das árvores, em relação ao total da precipitação no ano corrente.

Nesse aspecto, em árvores de *Cedrela angustifolia*, ocorrentes em florestas de baixa latitude, no norte da Argentina e da Bolívia, Villalba, Boninsegna e Holmes (1985) observaram que o crescimento do tronco inicia-se de setembro até abril-maio, quando as árvores apresentam-se totalmente desfolhadas, formando anéis de crescimento distintos e anuais; a temperatura e a precipitação no início da estação de crescimento induzem um aumento na espessura dos anéis de crescimento. Por outro lado, em ecossistemas florestais xeromórficos o crescimento em diâmetro do tronco das árvores é controlado pela temperatura e pela chuva dos meses da primavera e início

do verão, havendo correlação positiva entre a espessura dos anéis de crescimento com os fatores climáticos (VILLALBA, 1995 apud TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000).

Para as árvores de mogno das Populações A e B da província Madre de Dios as diferenças observadas devem-se, provavelmente, a capacidade de armazenamento e de disponibilidade da água no solo relacionada com as condições fisiográficas do sítio. As árvores da População A mostraram-se mais sensíveis à precipitação do mês de dezembro, devido ao acúmulo de água nos meses anteriores. Por outro lado, as árvores da população B foram altamente sensíveis à precipitação nos meses de junho-agosto anteriores a estação de crescimento, coincidente com a estação seca, indicando maior crescimento em diâmetro do tronco nos anos com menor intensidade de precipitação nessa estação, resultando em um menor déficit hídrico no solo. Nesse aspecto, Dunish et al. (2002) observou que a alta influência da água armazenada no solo no período de atividade cambial, com o efeito positivo da precipitação de novembro até fevereiro e em maio, demonstrando que a intensidade da atividade cambial reage aos níveis de precipitação devido a formação de sistema radicular de absorção nas camadas superficiais do solo (NOLDT et al., 2001).

5 DETERMINAÇÃO DA PODRIDÃO DO LENHO (OCO DO TRONCO) DAS ÁRVORES DE *S. macrophylla*

Das árvores de mogno avaliadas nas Populações A e B no Departamento de Madre de Dios, 20 % apresentam seus troncos com oco interno, causado pela podridão do lenho por organismos xilófagos; sendo constatado somente nas árvores de mogno com DAP acima de 62 cm como mostra a Tabela 11. A mensuração das amostras do lenho extraídas com a sonda de Pressler indicou que o oco do lenho atingiu valores variando de 37,2 a 186,4 cm do diâmetro interno do tronco das árvores de mogno, registrando-se um volume de lenho biodeteriorado (equivalente ao volume oco) de cerca 77% da tora basal, considerando o DAP como referência mostrado também na Tabela 12. A descrição das características das árvores de mogno, incluindo a incidência de podridão interna e oco no seu tronco, é apresentada no Anexo A.

A constatação da incidência de biodeterioração do lenho das árvores de mogno com o diâmetro do tronco acima de 62 cm indica, possivelmente, o início de sua fase de redução da resistência natural do seu cerne aos organismos xilófagos. Quanto ao aspecto ecológico implica na gradativa senescência das árvores de mogno afetando, posteriormente, a sua estabilidade e resultando na sua queda e abertura de clareiras, no processo de sucessão de espécies e de ciclagem de nutrientes. Quanto a utilização do lenho, implica no comprometimento do uso do tronco das árvores em serraria, para a obtenção de madeira serrada.

Tabela 11 – Informações do lenho das amostras obtidas com sonda de Pressler em árvores ocas, localizadas no Departamento de Madre de Dios

Amostra	DAP (cm)	Espessura casca (cm)	DAP sem casca (cm)	Raio estimado (cm)	Comprimento da bagueta	
					r1 (cm)	r2 (cm)
MJA3	71	1,200	68,60	34,300	13,54	10,97
MJA5	213	1,625	209,25	104,625	11,43	11,43
MRA6	70	0,675	68,65	34,325	17,38	14,07
MJA9	62	0,975	60,05	30,025	16,10	16,10

Amostra	% Raio analisado		Oco		Diâmetro Oco (cm)	% Oco transversal
	r1	r2	r1	r2		
MJA3	39,5	32,0	20,8	23,3	44,1	64,3
MJA5	10,9	10,9	93,2	93,2	186,6	89,1
MRA6	50,6	41,0	16,9	20,3	37,2	54,2
MJA9	53,6	53,6	13,9	13,9	27,9	46,4

Tabela 12 – Volume de perda de lenho estimado na altura do DAP das árvores de *S. macrophylla*

Local	Amostra	DAP (cm)	Volume DAP (m³)	DAP Oco (cm)	Volume DAP Oco (m³)	Perda de Lenho (%)
Departamento	MJA3	71	0,51	44,09	0,20	38,56
	MJA5	213	4,61	186,39	3,55	76,94
Madre de Dios	MRA6	70	0,50	37,20	0,14	28,24
	MJA9	62	0,39	27,90	0,08	20,25

6 APLICAÇÃO DA DENDROCRONOLOGIA DE ÁRVORES DE *S. macrophylla* NA TECNOLOGIA DA MADEIRA

6.1 Variação da densidade do lenho no sentido radial do tronco das árvores de *S. macrophylla* pelo método de densitometria de raios X

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores de mogno das Populações A e B permitem obter informações sobre a qualidade do lenho, bem como as diferenças entre as árvores, relacionadas no Anexo G e H.

Os perfis de densidade aparente do lenho das árvores das 2 populações mostram tendência de aumento dos valores de densidade aparente no sentido medula-casca, com redução dos valores na região próxima a casca. As árvores de mogno mais velhas possuem lenho com valores mais altos de densidade aparente devido a maior porcentagem de madeira adulta e a deposição de extrativos na região do cerne. Da mesma forma, redução dos valores de densidade aparente na região do alburno em comparação ao cerne periférico deve-se a presença de extrativos no cerne não funcional em relação ao alburno funcional (Figura 31). O efeito dos extrativos na densidade da madeira foi observado por Tomazello Filho (2008) no lenho de árvores de *Eucalyptus* sp. que explica a presença de uma grande atenuação dos raios X no cerne (maior densidade) devido a tilos, baixa permeabilidade e a alta resistência contra microorganismos. Já o alburno (menor densidade) representa o xilema funcional com os vasos abertos.

Os valores de densidade aparente média, mínima e máxima do lenho das árvores de mogno da população A foram de 0.70, 0.29 e 1.01 g.cm⁻³ (Tabela 13) e para a população B de 0.81, 0.29 e 1.19 g.cm⁻³ (Tabela 14); as diferenças de densidade média do lenho das árvores de mogno de uma mesma população devem, provavelmente, a idade das árvores amostradas. Já as densidades médias, máximas e mínimas gerais do lenho de cada população não se mostram significativamente diferentes. Os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores de mogno MJA5, MJA9, MJA3 e MRA6 estão incompletos, restringindo-se a amostra do lenho não afetado, extraída do tronco oco, com a sonda de Pressler, observando-se, no entanto, as mesmas características das demais árvores (Anexo I).

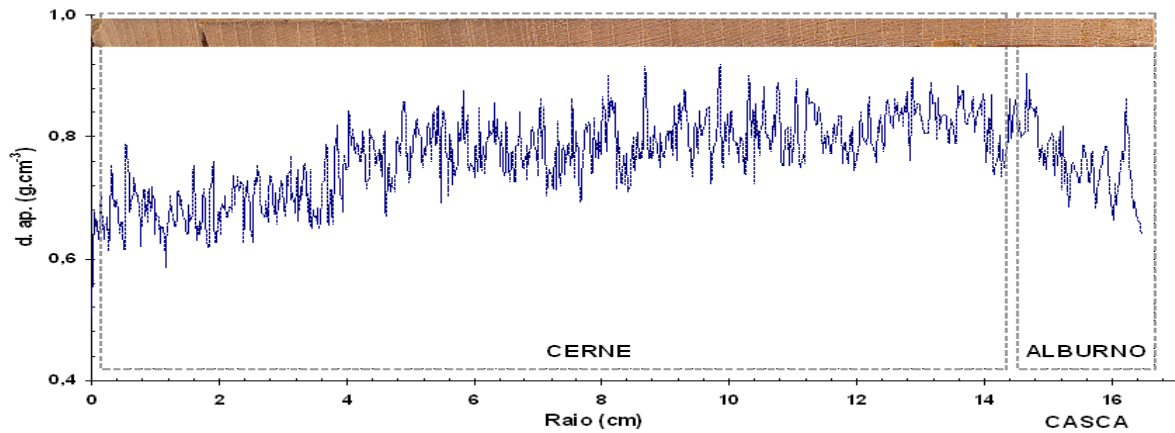


Figura 31 – Perfil radial de densidade aparente no lenho das árvores de *S. macrophylla*. Tendência de crescimento e diferenciação de Cerne e Alburno no perfil

Tabela 13 – Densidade aparente do lenho de árvores de *S. macrophylla* correspondente à População A

Amostras	Densidade Média (g.cm ⁻³)	Densidade Máxima (g.cm ⁻³)	Densidade Mínima (g.cm ⁻³)	Desvio Padrão
MRA1R2	0,67	0,91	0,30	0,07
MRA2R1	0,51	0,69	0,25	0,06
MRA2R2	0,76	0,92	0,51	0,07
MRA3R1	0,77	1,14	0,40	0,13
MRA3R2	0,82	1,50	0,28	0,17
MRA4R1	0,77	1,09	0,25	0,12
MRA5R2	0,58	1,18	0,19	0,17
MRA6R2	0,66	0,86	0,34	0,09
MRA7R2	0,61	0,80	0,22	0,05
MÉDIA	0,70	1,01	0,29	0,10

Tabela 14 – Densidade aparente do lenho de árvores de *S. macrophylla* correspondente à População B

Amostra	Densidade Média (g.cm ⁻³)	Densidade Máxima (g.cm ⁻³)	Densidade Mínima (g.cm ⁻³)	Desvio Padrão
MJA1R2	0,59	0,80	0,42	0,07
MJA3R1	1,01	1,50	0,49	0,14
MJA3R2	0,77	1,12	0,09	0,14
MJA4R1	0,93	1,21	0,23	0,11
MJA4R2	0,82	1,04	0,21	0,12
MJA5R1	0,77	1,12	0,21	0,12
MJA7R2	0,60	0,88	0,27	0,08
MJA9R2	1,01	1,57	0,46	0,13
MEA1	0,75	1,48	0,25	0,30
MEDIA	0,81	1,19	0,29	0,13

6.2 Demarcação e avaliação da largura dos anéis de crescimento das árvores de *S. macrophylla* pela densitometria por raios X

O perfil radial de densidade aparente do lenho das árvores de mogno é característico e mostra uma redução dos valores de densidade coincidente com a demarcação dos limites dos anéis de crescimento, em função da presença do parênquima longitudinal marginal. Essa redução de densidade deve-se a composição anatômica das células finas e maior largura e diâmetro do parênquima/vasos em porosidade difusa, que mostram uma menor atenuação dos raios X, durante o processo de irradiação das amostras do lenho (Figura 32). A demarcação dos anéis de crescimento no lenho das árvores de mogno através do perfil radial de densidade pode apresentar um maior grau de precisão quando comparada com a imagem da respectiva seção transversal polida, pela visualização e correspondência dos anéis de crescimento. Essa metodologia de delimitação dos anéis de crescimento foi aplicada por vários autores (FUJII; MARSOEM; FUJIWARA, 1998; TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000) para o lenho de árvores de diferentes espécies florestais, como a *Toona ciliata*, e que apresenta quedas no perfil densitométrico devido à presença de parênquima marginal e do anel semi-poroso (seqüência de vasos no lenho inicial).

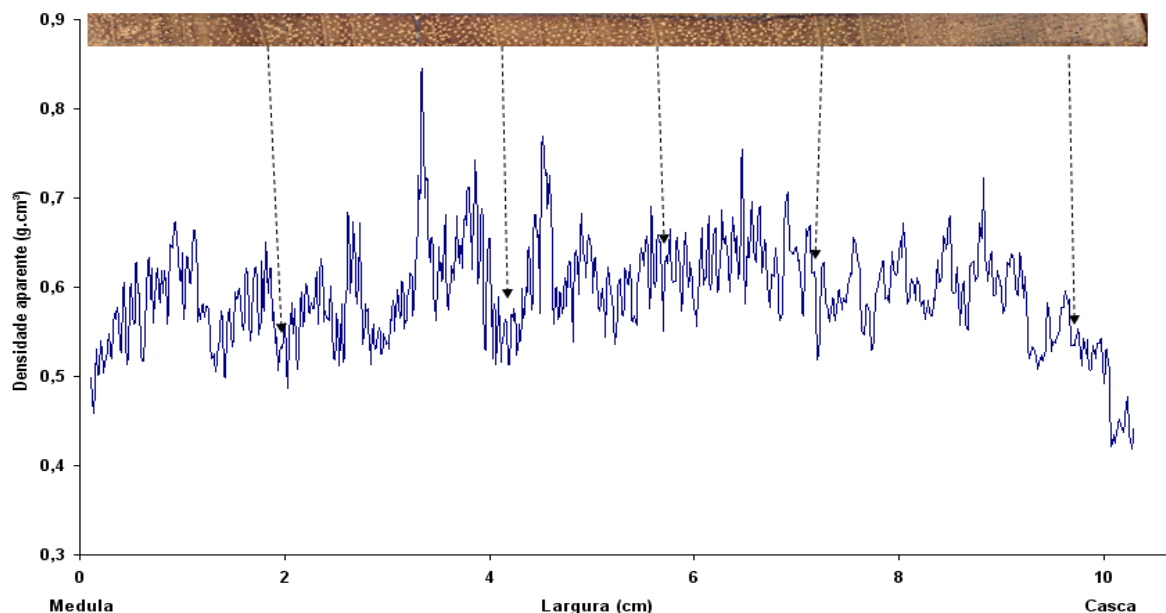


Figura 32 – Demarcação do limite da camada de crescimento em árvores de *S. macrophylla*, identificação de alguns limites de anéis de crescimento no perfil densitométrico

A largura dos anéis de crescimento das árvores de mogno, obtida através do perfil radial de densidade aparente do lenho (vide item 3.9.6) e da mesa de medição (vide item 3.7.2) foi correlacionada. A análise de regressão das medidas da largura dos anéis de crescimento mostrou um valor do coeficiente de determinação para as árvores de mogno da População A de $r^2 = 0,9371$ e $p < 0,05$ e para a População B de $r^2 = 0,9277$ e $p < 0,05$, sendo altamente significativos (Figura 33). Desta maneira, a densitometria de raios X constitui-se em uma importante metodologia para a determinação exata dos limites dos anéis de crescimento e na identificação da presença de anéis de crescimento falsos, como potencial para a aplicação em estudos dendrocronológicos.

Por outro lado, não houve correlação entre a largura dos anéis de crescimento e os respectivos valores de densidade média aparente do lenho para as árvores de mogno da População A ($r^2 = 0,0518$; $p = 0,112$) e População B ($r^2 = 0,0226$; $p = 0,2916$) (Figura 33). Para as árvores de mogno, a variável resposta da densidade aparente do lenho do anel de crescimento é independente da largura do respectivo anel de crescimento: os valores de densidade aparente do lenho/anel de crescimento apresentam-se muito dispersos, sem uma clara tendência e visualizado graficamente pelo valor baixo de r^2 . Foram testadas, também, regressões de 2º ($r^2 = 0,0365$ e $p = 0,1616$) e de 3º ($r^2 = 0,0411$ e $p = 0,2509$) obtendo-se o mesmo resultado. A inexistência de correlação entre a densidade aparente do lenho e a largura dos anéis de crescimento em árvores de *Araucaria columnaris* foi obtida, da mesma forma, por Medeiros (2005).

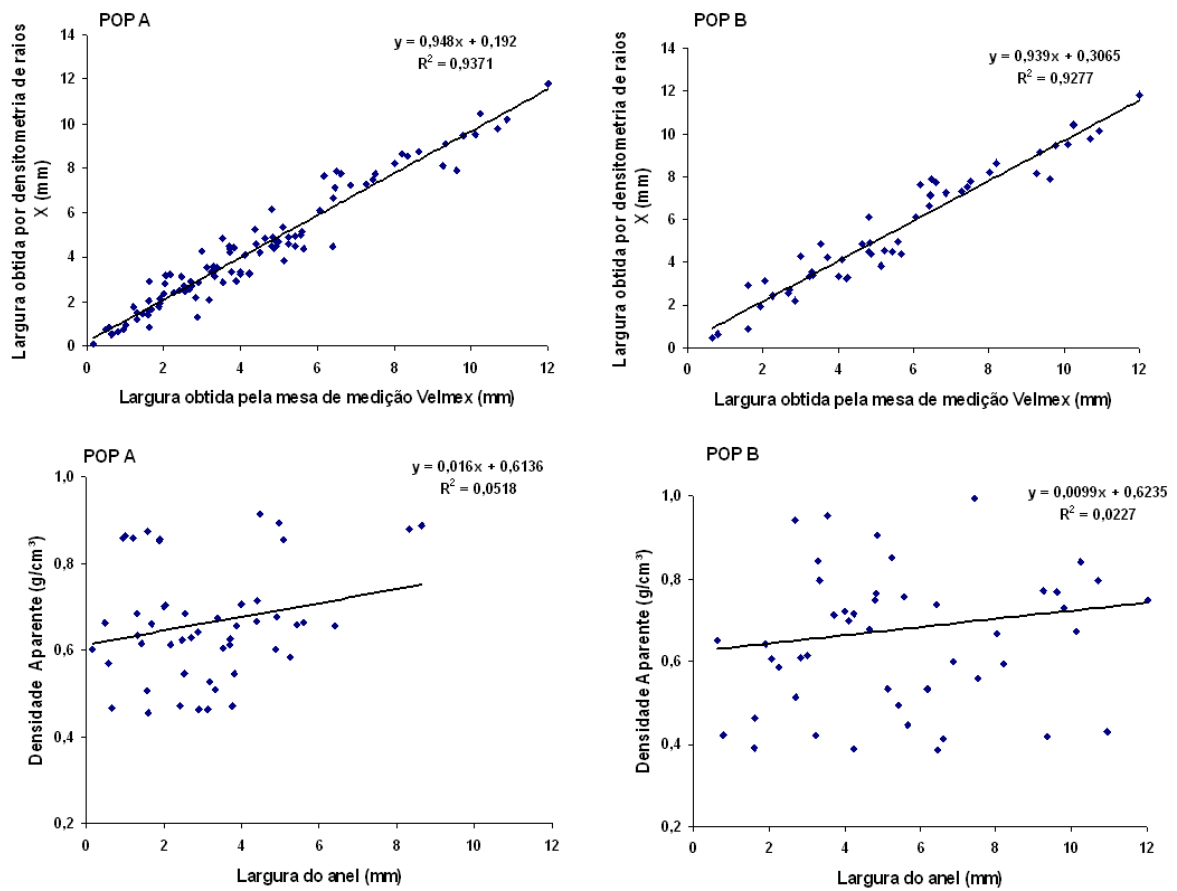


Figura 33 – Regressão linear da largura dos anéis de crescimento determinada pela mesa de mensuração e pela metodologia de densitometria de raios X em ambas populações (topo), relação entre a densidade aparente média g.cm³ e a largura (mm) das camadas de crescimento. a linha contínua mostra a tendência dos dados

7 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho obtidos permitem concluir, para as árvores de mogno, ocorrentes na floresta tropical da Amazônia Peruana:

- a estrutura anatômica das árvores de mogno é característica e similar as descritas na literatura para as árvores da espécie e típica da família Meliaceae, apresentando anéis de crescimento distintos, delimitados pelo parênquima axial marginal e, ocasionalmente, por uma seqüência de vasos e canais de goma. Anéis de crescimento ausentes e falsos ocorrem, da mesma forma, no lenho das árvores de mogno.
- as árvores de mogno formam anéis de crescimento anuais, comprovados pela técnica de injúrias da camada cambial e demarcação de cicatrizes no lenho e pela sincronização da largura dos anéis de crescimento pela metodologia de dendrocronologia.
- as análises dendrocronológicas demonstraram que as árvores de mogno nas duas populações analisadas apresentaram idades variando de 32 a 122 anos.
- as árvores de mogno, acima de um diâmetro do tronco de 62 cm, apresentam o seu lenho afetado por organismos xilófagos e, em consequência, a presença de oco interno.
- as árvores de mogno mostraram, em relação ao crescimento em diâmetro do tronco, alta sensibilidade com a precipitação no final da estação seca (julho-agosto) e no início da estação chuvosa (dezembro), indicando o seu potencial para reconstruções climáticas da região.
- as árvores de mogno apresentam para o crescimento em diâmetro do tronco um sinal climático de resposta comum, referente à precipitação pluviométrica, e influenciada pelas condições do sítio.
- a densitometria de raios X possibilitou a identificação e a demarcação exata dos limites dos anéis de crescimento, bem como as variações de densidade do lenho intra e inter-anéis de crescimento e no sentido radial.
- as árvores de mogno das duas populações não apresentaram diferenças significativas para a densidade aparente média do lenho.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lenho das árvores de mogno, coletado em florestas primárias do Departamento de Madre de Dios, Peru, caracteriza-se por apresentar anéis de crescimento com alta variabilidade nos valores de largura. Essa característica da espécie, relaciona-se com a alta sensibilidade das árvores as variações das condições locais de crescimento, como clareiras, topografia, qualidade do sítio, clima, etc.

Para o desenvolvimento de estudos dendrocronológicos com as árvores de mogno, a exemplo das demais espécies, há necessidade da extração de mais do que 2 amostras do lenho, através de método não destrutivo, minimizando o efeito da variabilidade dos anéis de crescimento.

As árvores de mogno apresentam em algumas regiões do lenho, anéis de crescimento muitos estreitos e anéis de crescimento falsos tornando complexo e trabalhoso o processo de sincronização (“crossdating”) e diminuindo os valores das inter-correlações entre as árvores. Essas limitações poderão ser solucionadas quando há possibilidade de analisar a seção transversal de discos de lenho do tronco das árvores de mogno.

A técnica de injúrias cambiais (janela de Mariaux) propiciou a formação de precisa cicatriz no lenho das árvores de mogno, sendo importante demarcador do crescimento cambial. Pode fornecer dados acurados da atividade cambial, bem como os valores de incremento em diâmetro do tronco no período de estudo (2006-2007), com potencial para definir o período de formação dos lenhos inicial-tardio dos anéis de crescimento anuais.

A determinação de cronologias de anéis de crescimento do lenho das árvores de mogno, relacionadas positivamente com a precipitação média da região, evidencia o efeito de um sinal climático comum que condiciona o crescimento dessas árvores. No entanto, verificaram-se diferenças na sensibilidade do crescimento das árvores de mogno nas duas populações, em relação à precipitação pluviométrica dos meses de dezembro e julho-agosto. A correlação da largura dos anéis de crescimento com a precipitação evidencia a alta sensibilidade das árvores de mogno as condições locais do sítio de crescimento e que devem ser consideradas nas futuras pesquisas de reconstrução climática. Cabe ressaltar a importância de reunir os estudos de eco-fisiologia das árvores da espécie, com a finalidade de entender o seu comportamento em relação a

evapotranspiração, absorção de água no solo, percentagem de água disponível no solo, taxa fotossintética, fenologia, etc.

A dendrocronologia e a densitometria de raios X podem ser aplicadas no estudo e caracterização do lenho das árvores de mogno, direcionadas para o manejo florestal sustentado e tecnologia da madeira, como a determinação da idade, das taxas de crescimento anuais em diâmetro do tronco, da percentagem de lenho inicial/tardio, quantidade de carbono fixado/ano, variação da densidade do lenho, etc.

REFERÊNCIAS

AKACHUKU, J. Estimation of volume and weight growth in *Gmelina arborea* with X ray. In: FOREST RESOURCE INVENTORY, GROWTH MODELS, MANAGEMENT PLANNING AND REMOTE SENSING, 1981, Orono. **Proceedings...** Orono: University of Maine, the Plate Tree Institute of the School of Forest Resources, 1981 p. 105-113.

_____. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood properties of *Gmelina arborea*. **Forest Science**. Maryland. v. 30, n. 2, p. 275-283, 1984.

_____. Intra anual variation in wood density in *Gmelina arborea* from X-ray densitometry and its relations with rainfall. **Tree Ring Bulletin**. Tucson, v. 45, p. 43-45, 1985.

ALVIM, P.T.; ALVIM R. Relation of climate to growth periodicity in tropical trees. In: TOMLISON, P.B.; ZIMMERMANN, M.H. **Tropical trees as living systems**. London: Cambridge University Press, 1978.p. 445-464.

AMARAL, A.C.B. **Implantação da metodologia de densitometria de raios X em madeiras**. 1994. 143 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1994.

AMARAL, A.C.B.; TOMAZELLO FILHO, M. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda*, através da microdensitometria de raios X. In: MEETING ON NUCLEAR APPLICATIONS, 4., 1997, Poços de Calda. **Programas e resumos...** São Paulo: SBF, 1997. p. 202.

_____. Avaliação das características dos anéis de crescimento de *Pinus taeda* através de microdensitometria de raios X. **Revista Ciência e Tecnologia**. Piracicaba, v. 11/12, n. 6, p. 17-23, 1998.

ASOCIACIÓN INTERÉTNICA DE DESARROLLO DE LA SELVA PERUANA. **Memória institucional**. Lima: AIDSESEP, 2002. 233 p

BASCOPE, F., BERNARDI A.L; LAMPRECHT H. *Swietenia macrophylla* King. Mérida: Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación, 1957. 18 p. (Descripciones de Arboles Forestales, 1).

BAUCH, J.; DUNISH, O. Comparison of growth dynamics and wood characteristics of plantation-grown and primary forest *Carapa guianensis* in Central Amazonia. **IAWA Journal**. National Herbarium Nederland, Leiden, v. 21, p. 321-333, 2000.

BAUCH, J.; D. ECKSTEIN. Wood biological investigations on panels of Rembrandt paintings. **Wood Science and Technolgy**, Berlin, v. 15, p. 251-263, 1981.

BOTOSSO, P.C.; POVOA DE MATTOS, P. **Conhecer a idade das árvores**: importância e aplicação. Colombo: EMBRAPA, 2002. 25 p. (Documento, 75):

BRAZIER, J.D.; LAVERS, G. The density and strength of Brazilian mahogany. **Journal of Institute of Wood Science**, London, v. 7, p. 15-19, 1977.

BRIENEN, R. **Tree rings in the tropics, a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees**. Riberalta: PROMAB, 2005. 144p (Scientific Series, 10).

BRIENEN, R.; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forest: a test for six species using tree-ring analysis. In: BRIENEN, R. (Comp.). **Tree rings in the tropics, a study on growth and ages of Bolivian rain forest trees**. Riberalta: PROMAB, 2005. chap. 2, p 19-34. (Scientific Series, 10).

BRISCOE, C.B.; HARRIS, J.B.; WYCKOFF, D. Variation of specific gravity in plantation-grown trees of bigleaf mahogany. **Caribbean Forester**, Rio Piedras, v. 24, p. 67-74, 1963.

BROWN, W.H. **Timbers of the world. 2. South America**. High Wycombe: Timber Research and Development Association, 1978. 121 p.

CAMPOS-ZUMAETA, L.E.; LOBÃO, M.; ROSERO ALVARADO, J; TOMAZELLO FILHO, M; LISI, C.S.; TORRES, G.; YEPES, F. Potencialidad de especies forestales para dendrocronología a través de la caracterización anatómica de los anillos de crecimiento en la Amazonía peruano-brasilera. In: CONGRESO DE ESTUDIANTES FORESTALES, 7., 2008, Madre de Dios. **Anales electronicos...** Madre de Dios: UNAMAD, 2008. Disponível em: <<http://www.unamad.edu.pe/eventosuni/conaef/>>. Acesso em: 08 fev. 2008.

CARDOSO, N.S.; TOMAZELLO FILHO, M. Análise da estrutura anatômica da madeira e dos anéis de crescimento de *Toona ciliata*, Meliaceae. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE PAULISTA DE BOTÂNICA, 7., **Anais...** Rio Claro: UNESP, 1988. p. 17-29.

CARLQUIST, S.J. **Comparative wood anatomy: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood**. Berlin: Springer Verlag, 1988. 436 p.

CARRERAS, R.; PÉREZ, E. Estudio anatómico de la madera de *Swietenia mahogany*, *Swietenia macrophylla* y su F1. **Revista Forestal Baracoa**, Havana, v. 19, p. 5-27, 1982.

CHAFE, S.C. Cell wall formation and protective layer development in the xylem parenchyma of trembling aspen. **Protoplasma**, Berlin, v. 89, p. 129-147, 1974.

CHALK, L. Growth rings. In: METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of dicotyledons**. Oxford: Clarendon Press, 1983. v. 2.

CHOWDHURY, K.A. The formation of growth rings in Indian trees. III. A study of the effect of locality. **Indian Forest Records**, Calcutta, v. 2, n. 3, p. 59-75, 1940.

CHOWDHURY, K.A.; RAO, K.R. The formation of growth rings in Indian trees. IV. **Indian Forest Records**, Calcutta, v. 1, n. 1, p. 1-15, 1948.

CHUDNOFF, M. **Tropical timbers of the world**. Madison: USDA, Forest Service, 1984. 464 p. (Handbook, 607).

CHUDNOFF, M.; GEARY, T.F. On the heritability of wood density in *Swietenia macrophylla*. **Revista Turrialba**, San José, v. 23, p. 359-362, 1973.

COOK, E.R. **A time series analysis approach to tree-ring standardization**. 1985. 171 p. Thesis (PhD in Management of Watersheds) - University of Arizona, Tucson, 1985.

_____. A conceptual linear aggregate model for tree rings. In: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. p. 102-103.

COOK, E.R.; HOLMES, R.L. **Users manual for program ARSTAN**. Palisades: Lamont-Doherty Earth Observatory, 1985. 28 p.

COOK, E.R.; KAIRIUKSTIS, L. **Methods of dendrochronology: application on the environmental sciences**. Dordrecht: Kluwer Academic, 1989. 394 p.

CÓRDOVA MARTINES, E.I. **Reconstrucción climática a partir del anillado de los árboles de la costa norte del Perú**. 2003. 143 p. Tesis (Graduación en Ingeniería Industrial) - Universidad de Piura, Piura, 2003.

CORONA, E. **Dendrochronologia: principi e applicazioni**. Verona: Intituti Italiano de Dendrochronologia, 1986. 103 p.

CORREA, J.E. Dendrocronología, buscando las edades del árbol tropical. **Revista el Mueble y la Madera**, 2003. Disponível em: <<http://www.revista-mm.com/rev41/art11.htm>> Acesso em: 04 fev. 2009.

_____. **Aproximaciones a la escanografía por rayos X para su aplicación en la xilología y en las prácticas con barreno de pressler**. 2004. 120 p. Monografía (Trabajo de Conclusión de Curso de Ingeniería Florestal) – Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2004.

DADSWELL, H.E.. **Tree growth wood property interrelationship**. Raleigh: North Carolina State University, 1960. 86 p.

DALLWITZ, M.J. **Applications and documentation of the DELTA System 1993 onwards**. Disponível em: <<http://delta-intkey.com>>. Acesso em: 04 fev. 2009.

DELGADO S.C. Aplicaciones estadísticas en estudios dendrocronológicos. In: ROIG, F.A. (Comp.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, 2000. p. 79-102.

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

DÜNISH, O.; AZEVEDO, C.P.; GASPAROTTO, L.; MONTÓIA, G.R.; DA SILVA, G.J.; SCHWARZ, T. Light, water and nutrient demand for the growth of three high quality timber species (Meliaceae). **Journal of Applied Botany**, Göttingen, v. 76, p. 29-40, 2002.

ECKSTEIN, D.; OGDEN, J.; JACOBY, C.G.; ASH, J. Age and growth rate determination in tropical trees: the application of dendrochronological methods. In: BORMANM, F.H.; BERLYN, G. (Ed.). **Age and growth rate of tropical trees: new directions for research**. Connecticut Yale University School of Forestry & Environment Studies, 1981. p. 83-106. (Bulletin, 94).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ESCOBAR, C.G. **Características y usos de la madera de 19 especies forestales con valor comercial en Panamá**: Proyecto Desarrollo Forestal de Panamá. Ciudad de Panamá: FAO; PNUD-PAN/82004, 1982. 55 p. (Documento de Trabajo, 3).

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

FUJII, T.; MARSOEM, S.N.; FUJIWARA, T. Annual growth rings in mahogany - *Swietenia macrophylla* - grown in Java. **IAWA Journal**, National Herbarium Nederland, Leiden. v. 19, n. 4, p. 256-264, 1998.

GLEASON; H.A.; PANSHIN, A.J. *Swietenia krukovii*: a new species of mahogany from Brazil. **American Journal of Botany**, St Louis, v. 23, p. 21-25, 1936.

GOOGLE EARTH. **Google earth 4.2**: mountain view, 2008. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 12 out. 2008.

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

GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. **Mogno na Amazônia Brasileira**: ecologia e perspectivas de manejo. Belém: Imazon, 2002. 40 p.

GULLISON, R.E.; PANFIL, S.N.; STROUSE, S.S.; HUBBEL, S.P. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. **Botanical Journal of the Linnean Society**. London, v. 122, p. 9-34, 1996.

HAYGREEN, J.; BOWYER J. **Forest products and world science**: an introduction. Ames: The Iowa State University Press 1982. 496 p.

HIENRICH, I. **Dendroclimatology of *Toona ciliata***. 2004. 235 p. Thesis (PhD in Management Resources and Environmental Science) - School of Resources, Environment and Society, Australian National University, Canberra, 2004.

HOLMES, R.L. **Dendrochronology**: program manual. Tucson: Laboratory of Tree-Ring Research, 1994. 40 p.

HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K.; FRITTS, H.C. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: _____. **Tree-ring chronologies of Western North America**: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson: Arizona University, 1986. p. 15-35

IAWA Committee. IAWA List of microscopic feature for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.3, p. 219 - 332, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I.** Angiospermae, II. Gimnospermae. Brasília, 1991. 19 p

INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES. **Mapa de suelos del Perú.** Lima: INRENA, 1975. 1 mapa. Escala 1:100 000.

_____. **Plan Maestro de Manejo Forestal para Alto Purus.** Lima: INRENA, 1994. 33p.

_____. **Mapa de ecorregiones del Perú.** Lima: INRENA, 1995. 1 mapa. Escala 1:100 000.

_____. **Mapa de forestal del Peru.** Lima: INRENA, 2000. 1 mapa. Escala 1:100 000.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Racionalizando el comercio de la caoba.** Pucallpa: ITTO, 2004. 56 p. (ITTO. Série Técnica, 22):

JACOBY, G. Overview of tree-ring analysis in tropical regions. **IAWA Bulletin**, National Herbarium Nederland, Leiden, v. 10, n. 2, p. 99-108, 1989.

JOHANSEN, D.A. **Plant microtechnique.** New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.

KAENNEL, M.; SCHWEINGRUBER, F.H. **Multilingual glossary of dendrocronology: terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian.** Birmensdorf Berne; Stuttgart; Vienna: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research; 1995. 467 p.

KALLIOLA, R; PUHAKKA, M; DANJOY, W **Amazonía peruana: vegetación húmeda tropical en el llano subandino.** Lima: INRENA; 1993. 265 p.

KRIBS, D.A. **Commercial foreign wood on the American market.** University Park: Pennsylvania State University Press, 1959. 163 p.

KURODA, K. Wound effects on cytodifferentiation in the secondary xylem of woody plants. **Wood Research. Bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University**, Kyoto, v. 72, p. 67-118, 1986.

KURODA, K.; SHIMAJI K. Traumatic resin canal formation as a marker of xylem growth. **Forest Science**, Maryland, v. 29, p. 653-659, 1983.

_____. Wound effects on cytodifferentiation in hardwood xylem. **IAWA Bulletin**, National Herbarium Nederland, Leiden, v. 6, p. 107-118, 1985.

LAMB F. B. **Mahogany of tropical America: its ecology and management.** Ann Arbor: University of Michigan Press, 1966. 220 p.

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

LARA, A; VILLALBA, R; ARAVENA, J.C.; WOLODARSKY, A.; NEIRA, E. Desarrollo de una red de cronologías de *Fitzroya cupressoides* (Alerce) para Chile y Argentina. In: ROIG, F.A. (Comp.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, 2000. p. 217-244..

LARSON, P.R. Microscopic wood characteristics and their variations with tree growth. In: IUFRO CONGRESS: MEETING OF THE SECTION 41, 14., 1963, Madison. Madison, 1963. p. 11-13.

LLOYD, J.A. Distribution of extractives in *Pinus radiata* earlywood and latewood. **Journal of Forestry Science**, Praha, v. 8, n. 2, p. 288-294, Nov. 1978.

LOMBARDI, I.; HUERTA, P. Monitoring mahogany In: INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical forest update ITTO** Yokohama: International Organizations Center. 2007 . p. 5-9

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa. Editora Plantarum, 1992. v. 1, 352 p.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. **Catálogo de madeiras da Amazônia**. Belém: Ministério do Interior; Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia, 1968. v. 2, 411 p.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1979. v. 1, 245 p.

LOUZADA, C.T.D. Desenvolvimento de metodologia de inventario florestal continuo em eucalyptus para classificação de sitio. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** São Paulo: SBS; SBEF, 1990. v. 3, p. 67-72.

MAINIERI, C.; PEREIRA J.A. Madeiras do Brasil. **Anuário brasileiro de economia florestal**. Rio de Janeiro, v. 17, p. 1-282, 1965.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características de madeiras brasileiras**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 418 p. (IPT. Publicação, 1791):

MALAVASSI, I.M.C. **Maderas de Costa Rica**: 150 espécies forestales. San Jose: Editora Universidad de Costa Rica, 1992. 338 p.

MARCATI, C.R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Alguns aspectos sobre a sazonalidade cambial em espécies tropicais. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTANICA, 50, 1999, Blumenau. **Anais...** Blumenau: UFSC, 1999. p. 15-27.

MARIAUX, A. Les cernes dans les bois tropicaux africains, nature et périodicité. **Bois et Forêts des Tropiques**, Montpellier, v. 113, p. 3-14, 1967.

MATTOS, P.P.; SEITZ, R.A.; MUNIZ, G.I.B. Identification of annual growth rings base don periodical growth of branches. In: IUFRO CONGRESS. DIVISION 5 CONFERENCE, 241., 1997, Pullman. **Proceedings...**

MEDEIROS, J.G.S. **Anéis de crescimento de árvores de *Araucaria columnis* Hook.:** caracterização anatômica, densitométrica e aplicação no monitoramento ambiental. 2005. 85 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

MONTEIRO, L. **Anatomia, identificação e usos de trinta e uma espécies de madeiras comercializadas no estado do maranhão, Brasil.** 1996. 197 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

MOTHE, F.; DUCHANOIS, G.; ZANNIER, B.; LEBAN, J.M. Microdensitometric analysis of wood samples: Data computation method used at Inra-ERQB (Cerd Program). **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 55, n. 3, p. 301-313, 1998.

NAIR, M.N.B. Wood anatomy of some members of the meliaceae. **Phytomorphology**, New Delhi, v. 41, p. 63-73, 1991.

NEWTON, A.C; BAKER, P; RAMNARINE, S; MESÉN, J.F; LEAKEY, R.R.B. The mahogany shoot borer: prospects for control. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 57, p. 301-328, 1993

NOBUCHI, T.; OGATA, Y.; SIRIPATANADILOK S. Seasonal characteristics of wood formation in *Hopea odorata* and *shorea henryana*. **IAWA Journal**, National Herbarium Nederland, Leiden, v. 16, p. 361-369, 1995.

NOLDT, G.; BAUCH, J.; KOCH, G.; SCIMITT, U. Fine roots of *Carapa guianensis* Aubl. and *Swietenia macrophylla* King: cell structure and adaptation to the dry season in Central Amazonia. **Journal of Applied Botany**, Göttingen, v. 75, p. 152-158, 2001

PANSHIN, A.J. *Comparative wood anatomy of the woods of the Meliaceae, subfamily Swietenioideae.* **American Journal of Botany**, St. Louis, v. 20, p. 638-668, 1933.

PARKER, M.; MELESKE, K. Preparation of X-ray negatives of tree ring specimens for dendrochronological analysis. **Tree Ring Bulletin**, Tucson, v. 30, p. 1-22, 1970.

PENNINGTON, T.D.; J. SARUKHÁN. **Árbores tropicales de México.** Cidade do México. Editora Universidad Nacional Autónoma de Mexico, 1998. 521 p.

PERES OLVERA, C.P.; CARMONA VALDOVINOS, T.F.; GOMEZ, M.A. **Estúdio anatômico de la madera de 43 especies tropicales.** Coyoacán: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 1980. 276 p. (Boletín Técnico, 63).

POLGE, H. Fifteen years of wood radiation densitometry. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 12, p. 187-196, 1978.

_____. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière de sur des arbres vivants. Application dans les domaines technologique et physiologique. **Annales Sciences Forestières**, Versailles, v. 23, n. 1, p. 1-206, 1966.

POLGE, H.; ILLY, J. Observations sur l'anisotropie du Pin maritime des Landes. **Annales Sciences Forestières**, Versailles, v. 26, n. 1, p. 45-64, 1967.

PRANCE; T.G.; SILVA, M.F. **Árvores de Manaus**. Manaus. INPA, 1975. 312 p.

PROGRAMA DE ACCIÓN INTEGRADO PERUANO BOLIVIANO. **Diagnostico Regional Integrado, Perú, Bolivia**. OEA, 1998. 150 p.

PUMIJUMNONG, N.; ECKSTEIN, D.; SASS, U. Reconstruction of rainfall in Northern Thailand from tree-ring series of teak. In: IGBP-PAGES/PEP II SYMPOSIUM ON PALAEOCLIMATE AND ENVIRONMENT VARIABILITY DURING THE PAST 2000 YEARS IN AUSTRAL-ASIAN TRANSECT, 1995, Nagoya. Nagoya: Nagoya University, 1996. p. 186-191.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**: manual de dendrologia brasileira. São Paulo: Edgard Blücher, 1978. 296 p.

ROCAS, A.N. **Árboles y arbustos útiles de México**. Cidade do México: Editorial Limusa, 1986. 206 p.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. **Fisiología vegetal**. Nápoles: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994. 159 p.

SASS, J.E. **Botanical microtechnique**. 3rd ed. Iowa: State Press., 1951. 228 p.

SASS, U.; ECKSTEIN, D.; KILLMAN, W. Periodicity of growth in a Malaysian dipterocarp. In: WORKSHOP ON DENDROCHRONOLOGY IN ASIA AND THE PACIFIC REGION, 1995, Tsukuba. **Proceedings...** p. 75-94.

SCHMITT, U.; MOELLER, R.; ECKSTEIN, D. Seasonal wood formation dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as determined by the "pinning" technique. **Angewandte Botanik**, Berlin, v. 74, n. 1/2, p. 10-16, 2000.

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

SEDENIO, P. Influence of growth rate on specific gravity, fiber length and cell wall thickness of an even-aged mahogany stand (*Swietenia macrophylla*). **Central Mindanao University Journal of Science**, Bukidnon, v. 4, p. 2-20, 1991.

SEO, J.W.; ECKSTEIN, D.; SCHMITT, U. The pinning method: from pinning to data preparation. **Dendrochronologia**, Jena., v. 25, p. 79-86, 2007.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. **Datos meteorológicos de precipitación y temperatura total mensual (mm), Estacion: Iñapari e Ibéria, Departamento de Madre de Dios.** Lima: SENAMHI, Oficina General de Estadística e Informática, 2008. 4 p.

SHIOKURA T.; A method to measure radial increment in tropical trees. **IAWA Bulletin National Herbarium Nederland, Leiden**, v. 10, p. 147-154, 1989.

SILVA, E.A.M.; PEREIRA, L.A.R.; PINHEIRO, A.L.; RAMALHO, R.S. Variação sazonal na atividade cambial de três espécies florestais na região de Viçosa-MG. **Revista Seiva, Viçosa**. v. 50, n. 99, p. 49-52, 1991.

SLUDER, E.R. Variation in specific gravity of yellow-poplar in the southern Appalachians. **Journal of Institute of Wood Science**. London, v. 5, p. 132-138, 1972.

STAHLE, D.W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. **IAWA Journal National Herbarium Nederland, Leiden**, v. 20, p. 249-253, 1999.

SUPERINTENDÊNCIA PARA O DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Pesquisas e informações sobre espécies florestais da Amazônia.** Belém, 1979. 111 p.

TEREZO, F.M. **Status do Mogno (*Swietenia macrophylla*, King) na Amazônia Brasileira.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1999. 32 p. (Documento de Trabalho, 16).

TITMUSS, F.H. **Commercial timbers of the world.** London: CRC Press, 1971. 351 p.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C. Potencialidade da família Meliaceae para estudos dendrocronologia em regiões tropicais e subtropicais In: ROIG, F.A. (Comp.). **Dendrocronologia en América Latina.** Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, 2000. p. 381-434.

_____. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores. In: MAIA, N.; MARTOS, H.; BARRELLA, W. (Org.). **Indicadores ambientais conceitos e aplicações.** São Paulo: Educ. 2001. p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P.; OLIVEIRA, J.T.S.; BALLARIN, A.W. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. **Maderas: Ciencia y Tecnologia, Concepción**, v. 10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TOMLINSON, P.B.; CRAIGHEAD, F.C. Growth ring studies on native trees of sub-tropical Florida. In: GHOUSE, A.K.M.; YUNUS, M. (Ed.). **Research trends in plant anatomy.** New Delhi: Tata McGraw-Hill, 1972. p. 39-51.

TOMOYUKI, F.; NUGROHO, S.; FUJIWARA, T. Annual growth rings of mahogany (*Swietenia macrophylla*) growing in Central Java. In: KIM, Y.S (Ed.). **New horizons in wood anatomy.** Korea: Chonnam National University Press, 2000. p. 256- 264.

VALES; M.A.; CARRERAS, R. Anatomia de maderas de Cuba, I. **Acta Botanica Hungarica**, Budapest, v. 32, p. 231-245, 1986.

VAZQUEZ, I.; PETIT, J. **Maderas comerciales de Venezuela. Caoba, *Swietenia macrophylla***. Mérida: Instituto Forestal, 1994. 45 p. (Ficha Técnica,35).

VETTER, R.E. Growth periodicity and age for Amazonian tree species. method for their determination. In: ROIG, F.A. (Comp.). **Dendrocronología en América Latina**. Mendoza: Editorial de la Universidad Nacional de Cuyo, 2000. p. 135-155.

VETTER, R.E.; BOTOSSO, P.C. Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. **IAWA Bulletin** National Herbarium Nederland, Leiden, v. 10, n. 2, p. 133-145, 1989.

VILLALBA, R.; BONINSEGNA, J.A.; HOLMES, R.L. *Cedrela angustifolia* and *Julgans australis*: two new tropical species useful in dendrochronology. **Tree-Ring Bulletin**, Tucson, v. 45, p. 25-35, 1985

VILLALBA, R.; BONINSEGNA, J.A.; RIPALTA, A. Climate, site conditions and tree growth variations in subtropical northwestern Argentina. **Canadian Journal Forest Research**, New Westminster, v. 17, p. 1527-1539, 1987.

WALSH. **Estudio de factibilidad de la interconexión vial Iñapari** – Puerto Marítimo del Sur – Tramo III (Etapa I). Lima: Walsh-Perú Ingenieros y científicos consultores, 2005. 215p.

WOLTER, K.E. A new method for making xylem growth. **Forest Science**; Maryland, v. 14, p. 102-104, 1968

WORBES, M. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review **IAWA Journal**, National Herbarium Nederland, Leiden, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

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

WORBES, M.; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W.J. Tree ring analysis reveals structure dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 173, p. 105-123, 2003.

YAP, S.K.; TOMA, T.; MANOKARAN, N.; KIMURA, K.; AVANG, M.; FURUKAWA, A.; ABDULAH, A.M. **Growth parameters and phenology of trees in tropical rain forest**: research report of FRIM/NIES/UPM Joint Research Project for 1994. Malasya, 1994. 35 p.

ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO-ACRE. **Zoneamento ecológico- econômico do Estado de Acre**. Acre, 1999 308p

ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA. **Propuesta de zonificación ecológica económica como base para el ordenamiento territorial de Madre de Dios y del diagnóstico regional integrado, Perú, Bolivia**. Puerto Maldonado, 1998. 120 p.

ANEXOS

Anexo A – Características das árvores amostradas no Departamento de Madre de Dios

(continua)

Área de Amostragem	Status	Código	Coordenadas		Raios	DAP (cm)	Altura Comercial (m)	Volume (m³)
			X	Y				
Maderera Rio Yaveryja	Área de exploração	MEA1	407934	8769554	19	54	8	1,325
		MEA2	419330	8771168		61,5	8	1,674
		MEA3	420601	8771498		58,5	14	1,402
		MJA3	394062	8774607		71	16	4,368
		MJA4	373913	8768968		69,5	10	2,812
		MJA1	372402	8771507		183,7	10	5,059
		MJA2	373824	8772305		55,5	10	1,188
		MJA7	377291	8769267		110	12	7,778
		MJA10	373275	8769393		58,1	12	2,467
		MJA8	373173	8769693		75,63	8	3,594
Rodal Semillero Tahuamani	Área de Conservação	MJA6	373146	8769079	14	96,5	17,25	8,273
		MJA5	372820	8768584		212,5	12	28,68
		MJA9	...	...		62	...	...
		MRA5	450281	8760242		45	1,05	1,166
		MRA6	449369	8759911		...	...	...
		MRA4	448832	8760970		35	7	0,51
		MRA1	449227	8759639		41	12,5	1,415
		MRA2	450301	8760051		46,5	18	...
		MRA7	449027	8759628		43,5	10	0,917
MRA3	452395	8760278	68	11,5	3,135			

Anexo A – Características das árvores amostradas no Departamento de Madre de Dios (conclusão)

Área de Amostragem	Status	Código	Raios	Raio de Copa (cm)				Espessura da casca (cm)	Nº de Anéis	Observações
				N	S	L	O			
Maderera Rio Yaveryja	Área de Exploração	MEA1	19	9	7,3	7	4,6	0,6	52	lenho em bom estado, amostra atinge medula
		MEA2		7,7	3	4,5	5	0,45	70	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MEA3		3,8	3,6	3,5	8,6	0,275	72	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA3		7,5	7,5	8	4,5	1,2	41	amostra incompleta, árvore oca
		MJA4		9	12,5	11	11,4	1,325	116	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA1		12	10,4	12	7,6	1,575	70	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA2		7	2	4	7,6	1,3	75	lenho em bom estado, amostra atinge medula, raio completo
		MJA7		11,5	13,4	10	11	2,05	92	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA10		4	5,2	6	6	0,55	102	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA8		8,4	12	9,4	5	1,2	37	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA6		7,6	9,6	7,5	9,7	2,875	56	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula
		MJA5		17,5	17	18	14	1,625	59	amostra incompleta, árvore oca
MJA9		...	...	...	...	....	85	amostra incompleta, árvore oca		
Rodal Semillero Tahuamanu	Área de Conservação	MRA5	14	...	...	...	....	0,775	74	lenho em bom estado, amostra atinge medula, raio completo
		MRA6		...	...	...	...	0,775	69	amostra incompleta, árvore oca
		MRA4		3,9	4,9	7,3	3,2	0,3625	53	lenho da amostra em deterioro num 50%
		MRA1		...	...	...	...	0,7	57	lenho em bom estado, amostra completa
		MRA2		...	...	...	...	0,65	89	lenho em bom estado, amostra completa
		MRA7		2,3	3,2	4,1	5	0,475	84	lenho da amostra em deterioro num 30%
		MRA3		3	11	13,8	5,1	1,1	97	lenho em bom estado, amostra quase atinge a medula

Anexo B – Dados climáticos (temperatura e precipitação) correspondentes à Estação Meteorológica Ibéria (1960-1974) Lat 11° 21' 1S Long. 69° 35' 1 W

Temperatura (°C)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1960	26	26	25,4	23,9	22,9	24,1	23,4	22,9	25,6	26,4	25,8	26,6
1961	26,9	26,9	26,3	26,2	25	23,1	23,3	25,6	26,4	26,9	26	25,9
1962	26,1	26,1	26	24,6	23,4	22	20	24,8	27	25,6	27,7	26,1
1963	26	26	25,5	24,9	23,5	22,8	23,1	25,5	26,8	26,7	27	26,2
1964	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1965	26,3	26,3	25,6	25,2	24,6	24,8	24,3	26,1	26	27,5	25,9	26,3
1966	27,1	27,1	26,2	25,4	23,1	24,9	22,8	23,2	...	27,3	26,1	26,6
1967	26,2	26,2	25,4	25,6	26,5	21,9	23,4	24,9	27,5	26	26,2	25,8
1968	25,2	25,2	...	25	21,5	...	24,3	24,9	24,5	27,5	26,7	26,5
1969	...	...	27,3	27,3	25,2	22,8	...	24,9	27,3	28,2	27,8	26,5
1970	26,7	26,7	25,7	26,4	26,3	24,3	24,3	25,6	26,7	28,1	27,7	26,6
1971	26,2	26,2	27,1	25,9	22,7	22,3	23,8	24,8	26,9	24,8	26,2	27,3
1972	26,8	26,8	...	...	...	...	25,2	...	26,6	...	26,9	27,9
1973	28,6	28,6	28,2	28,1	25,4	...	...	...	26,4	28,5	27,4	27,1
1974	...	...	27,1	25,7	25,5	24,2	24,7	25,6	26,1	26,6	26,1	26,2

Precipitação (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1960	245	185,5	215	239	73	41	0	150,5	62	234,5	246	196
1961	111	96	292	177	105,5	93,3	1	3	31	160,5	261,6	345,2
1962	329	164,4	298,7	217	27,2	31,8	12	17,6	43,6	29,8	87	341
1963	232,5	280	215,1	114	31	69	0	99	63	128	138	126
1964	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1965	253,5	72	229	286	6,7	28	8,5	7,5	108,5	215,5	133,5	229
1966	102	139,5	66,5	217	103,5	13,5	27,5	7,5	119	131	144	112
1967	55,5	131	302	85	50,3	7	48,5	25	59	85,5	63	140
1968	131	314	104	38	15	35	17	31	30	83	130	84
1969	112	186	190	147	71	26	6	10	64	56	89	133
1970	61	179	279	259	119	62	10	42	38	136	175	142
1971	209	226	179	269	74	58	21	90	83	200	260	75
1972	247	421	303	161	138	66	41	171	164	193	113	234
1973	180	251	227	148	62	245	25	139	81	142	294	246
1974	207	...	142	114	29	11	33	36	62	56	267	217
1994	186,4	198,4	181,5	254,1	165,3	13,6	0,3	32,1	154,2	...	...	...

... dado numérico não disponível.

Anexo C – Dados climáticos correspondentes à Estação Meteorológica Puerto Maldonado (1958-1999) Lat 12° 35' 37" S Long. 69° 06' 22" W

Temperatura (°C)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1958	27	27,4	27,3	26,8	25,2	27,2	27,3	24,7	27,4	27,1	26,5	26,4
1959	26,8	26,8	26,8	26,8	25,7	25,9	26,2	...	...	...	...	...
1961	27,5	26,8	26,1	...	...	25,6	24,5	27,7	28,2	26,3	27,3	26,7
1962	26,4	26,4	26,4	25,8	25,7	24,3	22,7	26,5	28,4	26,9	28,6	26,5
1963	26,2	26	26,3	26,7	26	25,2	26,4	27,9	28,2	28,7	27,2	27,6
1964	27,4	27,1	26,2	27	25,7	24,6	22,8	26,4	27	26,7	26,8	26
1965	26,6	27,1	26,1	26,2	25,9	26,1	24,4	26,6	26,4	27,3	27,8	26,7
1966	27,7	27,3	27,3	26,8	25,3	25,8	24,4	24,5	27,5	27,3	27,5	26,6
1967	26,8	26,3	25,4	26,5	26,6	22,7	24,3	26,2	27	26,8	26,4	26,8
1968	26,3	25,6	26,2	25,1	24,1	24,7	24,7	25,5	25,1	26,4	27,5	26,7
1969	26,6	26,6	26,9	26,7	26,1	23,5	23,9	25,4	27,7	26,8	27,6	27,1
1970	27,6	26,5	26	26,5	25,2	24,5	23,5	25,9	27,7	27,7	...	26,3
1971	26,2	25,5	26,4	25,1	24,2	22,7	24,4	24,9	26,7	25,2	27,1	26,1
1972	26,1	26,2	26,3	25,3	25,7	25,2	24,1	24,2	26,1	26,3	27	26,8
1973	26,8	26,6	27	27	24,9	24,3	22,9	23,8	27,1	27,4	26	26,6
1974	26,2	25,4	26,4	25,1	25,5	22,9	22,1	23,1	23,9	25	25,5	24,9
1975	25	24,9	24,8	25,1	23,5	22,9	21,2	23,1	25,3	25,7	25	25,1
1976	24,4	24,5	24,3	23,9	22,8	22,2	24,2	25,9	25,4	27,6	26,4	26
1977	26,8	25,3	26,4	25,6	24,5	24,4	26	25	26,2	26	26	26,5
1978	26,2	26,6	27	26	24,4	24,6	23,6	22,5	24,9	25,4	25,1	25
1979	25	25,3	24,6	23,8	23,7	21,1	22,6	25,3	24,3	25,8	25,9	25,9
1980	26,8	25,4	25,1	25,5	23,8	22,4	22,4	23,4	24,2	25,1	24,8	25,8

Temperatura (°C)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1961	...	...	...	...	...	...	...	...	28,2	27,4	...	26,7
1962	25,4	...	26,8	25,9	25,7	24,3	22,5	26,4	28,4	26,5	28,7	26,5
1963	26,1	26,5	26,3	26,7	26	25,2	26,3	27,9	28,2	28,7	...	27,6
1964	27,4	27,1	26,2	27	25,7	24,6	22,9	26,5	27	26,6	26,8	26,2
1965	26,5	27,1	26,1	26,2	25,9	26,2	24,4	26,6	26,4	27,3	27,9	26,7
1966	27,7	27,3	27,3	26,8	25,4	26,1	24,4	24,5	27,6	27,4	27,6	26,6
1967	26,8	26,3	25,4	26,6	26,8	24,1	24,2	26,2	27	26,9	26,5	26,9
1968	27,3	...	26	25	...	...	24,7	25,5	25,1	26,4	27,5	26,7
1969	26,7	26,6	27	26,8	26,1	23,5	23,9	25,5	27,8	26,8	27,6	27,1
1970	27,6	26,5	26	26,5	25,2	24,5	23,5	25,9	27,7	27,7	28,2	26,3
1971	26,2	25,5	26,8	25,1	24,2	22,6	24	24,9	26,7	25,1	27,1	26,1
1972	26,4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1973	26,7	26,6	27	...	24,8	23,9	...	23,8	27,6	...	26	26,6
1974	26,5	25,4	...	...	...	...	...	...	...	24,9	25,4	...
1975	...	...	...	...	...	23	21,4	23	...	...	...	...
1976	24,4	24,4	24,2	23,6	22,8	22,2	24,2	...	...	...	26,4	26,3
1977	...	25,8	26,4	...	24,4	24,4	25,9	25	...	...	...	...
1978	26,1	26,6	27	25,9	24,4	24,6	23,6	22,5	24,4	25,4	25,1	24,9
1979	24,9	25,3	24,4	24,1	23,7	21,1	22,6	25,3	24,3	24,4	25,9	25,2
1980	25,7	25,4	25,1	24,6	23,8	...	22,4	23,4	24,2	25,1	24,7	25,8
1981	24,8	24,8	25,6	25	24,1	22,5	21,9	23,6	23,8	25,2	25,7	...
1982	...	...	...	...	...	...	...	23,7	24,5	25,1	...	...
1983	...	...	25,3	...	...	...	...	...	24	25,2	24,5	24,8
1984	24,1	...	...	24,2	24	24	...	...	24,8	...	...	...
1985	...	24,9	...	22,1	...	...	...	23,1	24,8	25,6	...	...
1986	...	24,6	...	...	...	...	...	23,6	...	...	...	...
1987	...	25,3	...	24,4	...	...	...	...	24,7	...	...	25,4
1988	25,7	25,6	...	...	22,4	21,8	21	24,5	...	25,8	...	25,3
1989	24,7	24,9	24,3	24,5	...	23	...	...	23,3	25	...	...
1990	25	25	25,5	24,7	...	22	...	23	25	...	...	...
1991	...	25,3	...	...	...	...	...	...	27,7	26,7	...	...

As informações apresentadas na tabela superior pertencem a dados obtidos com outro aparelho dentro da Estação Meteorológica de Puerto Maldonado
 ... dado numérico não disponível.

Anexo D – Dados climáticos correspondentes à Estação Meteorológica Puerto Maldonado (1958-1999) Lat 12° 35' 37" S Long. 69° 06' 22" W

Precipitação (mm)												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1956	...	...	...	...	...	...	...	...	...	236	82	139
1957	106	135	...	...	...	...	...	...	...	...	...	604
1958	659	575	...	483	312	25	146	88	322	484	523	...
1959	1013	464	485	606	134	...	73	...	...	...	...	...
1960	...	...	...	...	...	...	...	...	95	...	430	...
1961	214	226	272	67	122	86	53	4	131	197	150	363
1962	284	343	236	71	49	10	34	131	44	88	121	491
1963	270	312	177	60	20	42	6	11	78	74	200	183
1964	320	253	252	77	112	16	71	17	84	196	166	259
1965	372	219	494	296	37	4	99	87	155	145	89	313
1966	283	184	212	198	42	59	38	70	57	82	117	229
1967	160	209	292	33	27	83	42	90	177	201	267	105
1968	252	488	389	63	67	187	99	41	123	174	220	438
1969	202	201	259	94	215	91	50	28	25	101	231	262
1970	234	310	152	215	120	47	61	8	24	148	...	371
1971	459	263	260	139	47	78	74	135	29	116	194	208
1972	230	322	202	117	90	97	209	283	107	265	283	411
1973	395	256	167	56	95	41	69	100	46	190	273	210
1974	237	164	264	283	2	140	24	178	81	224	198	181
1975	438	455	318	0	51	94	80	139	298	86	347	242
1976	327	99	300	104	98	31	5	44	170	271	177	296
1977	167	442	180	171	43	25	78	109	247	99	299	309
1978	273	458	204	195	141	0	115	0	96	136	283	455
1979	418	346	498	238	161	0	13	20	50	59	194	381
1980	400	486	321	163	111	30	7	53	47	284	242	178
1981	528	618	291	235	237	23	...	33	113	229	249	...
1982	...	...	365	232	...	96	...	69	216	189	...	238
1983	...	...	336	...	...	...	...	...	23	228	174	394
1984	536	...	...	396	27	27	9	16	59	...	317	92
1985	...	211	271	192	61	0	0	24	200	0	...	...
1986	...	604	...	...	...	...	22	132	23	144	...	193
1987	532	73	...	154	...	31	34	40	0	...	...	229
1988	365	472	...	72	127	15	7	3	44	75	193	252
1989	102	184	283	71	30	22	82	11	131	141	367	423
1990	235	352	111	178	...	60	117	50	136	...	...	...
1991	...	119	...	...	...	...	...	...	...	99	...	...
1992	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	70
1993	353	...	...	...	...	...	...	70	19	307	...	181
1994	128	176	...	...	196	69	...	...	...	...	...	...
1995	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
1996	529	103	...	172	22	13	6	100	...	160	...	253
1997	...	392	412	...	...	...	...	...	...	390	...	...
1998	...	...	...	...	...	...	13	...	...	263	...	418
1999	...	...	264	...	48	...	17	...	223	...	...	...

... dado numérico não disponível.

Anexo E – Temperaturas (°C) médias mensais do Departamento de Madre de Dios (1960-1990)

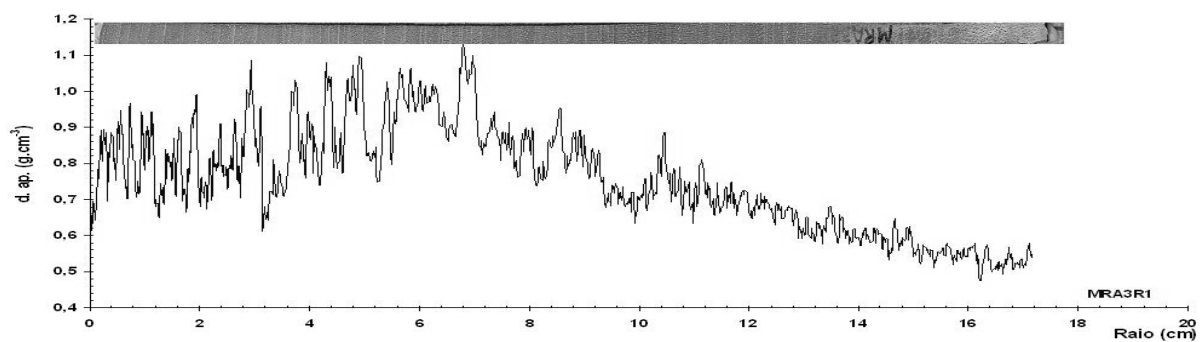
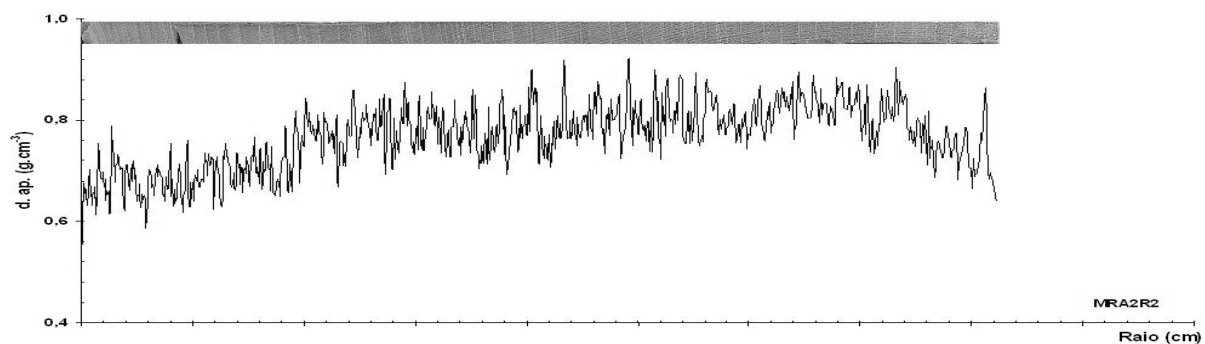
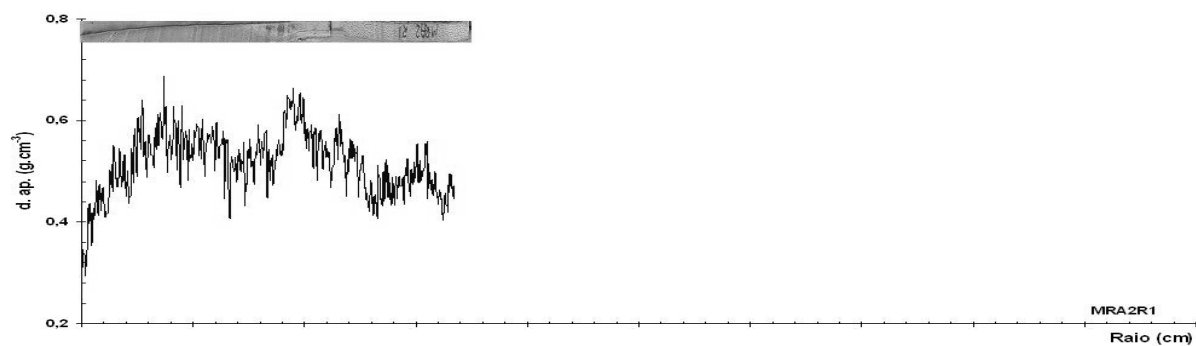
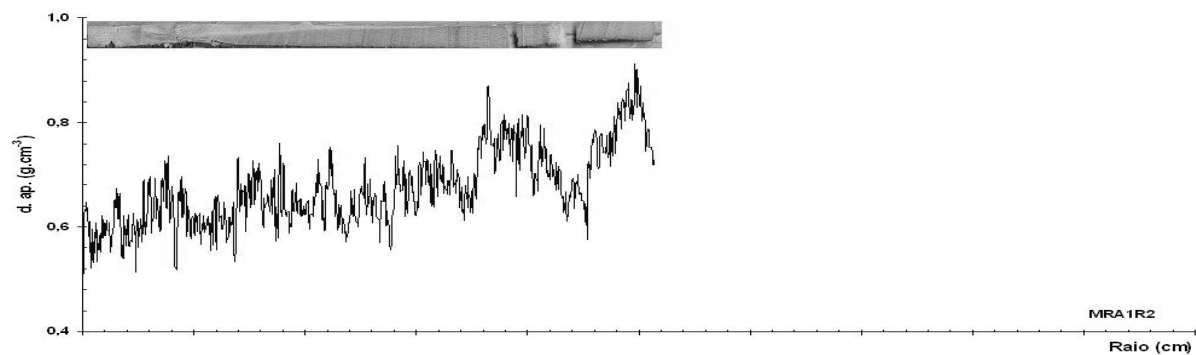
Temperatura (°C)													T°
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	media
1960	26,0	25,3	25,4	23,9	22,9	24,1	23,4	22,9	25,6	26,4	25,8	26,6	24,9
1961	27,2	26,6	26,2	26,2	25,0	24,4	24,1	26,7	27,8	27,0	26,7	26,5	26,2
1962	25,8	26,1	26,5	25,6	25,1	23,7	21,9	26,0	28,1	26,4	28,4	26,4	25,8
1963	26,1	26,0	26,1	26,3	25,4	24,6	25,5	27,3	27,9	28,2	27,1	27,3	26,5
1964	27,4	27,1	26,2	27,0	25,7	24,6	22,8	26,4	27,0	26,6	26,8	26,0	26,1
1965	26,5	27,0	26,0	26,0	25,6	25,8	24,4	26,5	26,3	27,3	27,4	26,6	26,3
1966	27,6	26,8	27,0	26,4	24,8	25,7	24,0	24,2	27,6	27,4	27,2	26,6	26,3
1967	26,7	26,4	25,4	26,3	26,7	23,2	24,0	25,9	27,1	26,6	26,4	26,6	25,9
1968	26,5	25,6	26,1	25,0	23,2	24,7	24,6	25,4	25,0	26,7	27,3	26,7	25,6
1969	26,7	26,8	27,0	26,9	25,9	23,4	23,9	25,3	27,6	27,2	27,6	26,9	26,3
1970	27,4	26,4	25,9	26,5	25,5	24,4	23,7	25,8	27,5	27,8	28,0	26,4	26,3
1971	26,2	25,7	26,8	25,3	23,8	22,6	24,1	24,9	26,8	25,1	26,9	26,4	25,4
1972	26,3	26,2	26,4	25,3	25,7	25,2	24,4	24,2	26,4	26,3	27,0	26,9	25,8
1973	27,2	26,6	27,3	27,6	25,0	24,0	23,5	23,8	27,2	27,7	26,4	26,7	26,1
1974	26,4	25,4	26,8	25,4	25,5	23,6	23,4	24,4	25,0	25,4	25,6	25,6	25,2
1975	25,0	24,9	24,8	25,1	23,5	23,0	21,3	23,0	25,3	25,7	25,0	25,1	24,3
1976	24,4	24,4	24,2	23,7	22,8	22,2	24,2	25,9	25,4	27,6	26,4	26,2	24,8
1977	26,8	25,6	26,4	25,6	24,4	24,4	25,9	25,0	26,2	26,0	26,0	26,5	25,7
1978	26,1	26,6	27,0	25,9	24,4	24,6	23,6	22,5	24,7	25,4	25,1	24,9	25,1
1979	24,9	25,3	24,5	24,0	23,7	21,1	22,6	25,3	24,3	25,1	25,9	25,4	24,3
1980	26,3	25,4	25,1	24,9	23,8	22,4	22,4	23,4	24,2	25,1	24,8	25,8	24,5
1981	24,8	24,75	25,6	25	24,1	22,5	21,9	23,6	23,8	25,2	25,7	25,3	24,4
1982	25,1	25,2	25,2	25	23	23	23,8	23,7	24,5	25,1	25,4	25,3	24,5
1983	25,0	25,0	25,3	26,5	24,1	23,1	22,9	24,3	24	25,2	26	25,8	24,8
1984	24,1	25,0	25,3	25,2	25	24	25,4	25,9	26,3	28,6	24,8	25,3	25,4
1985	25,6	24,9	26,3	24,3	26	25,1	23,1	24,6	24,8	26,8	25,4	25,3	25,2
1986	25,0	24,6	24,7	25,1	24,1	23,1	23,1	24,6	24,7	26,2	25,4	25,3	24,6
1987	25,0	25,3	25,3	25,2	24,1	23,1	23,7	24,3	25,7	27,6	25,4	25,4	25,0
1988	25,7	25,6	25,3	25,1	22,4	21,8	21	24,5	24,7	25,8	25,2	25,3	24,4
1989	24,7	24,9	24,3	24,5	24,1	23	23,1	24,3	23,3	25	25,4	24,6	24,3
1990	25	25	25,5	24,7	24,1	22	23,1	23	25	26,2	25,4	25,3	24,5

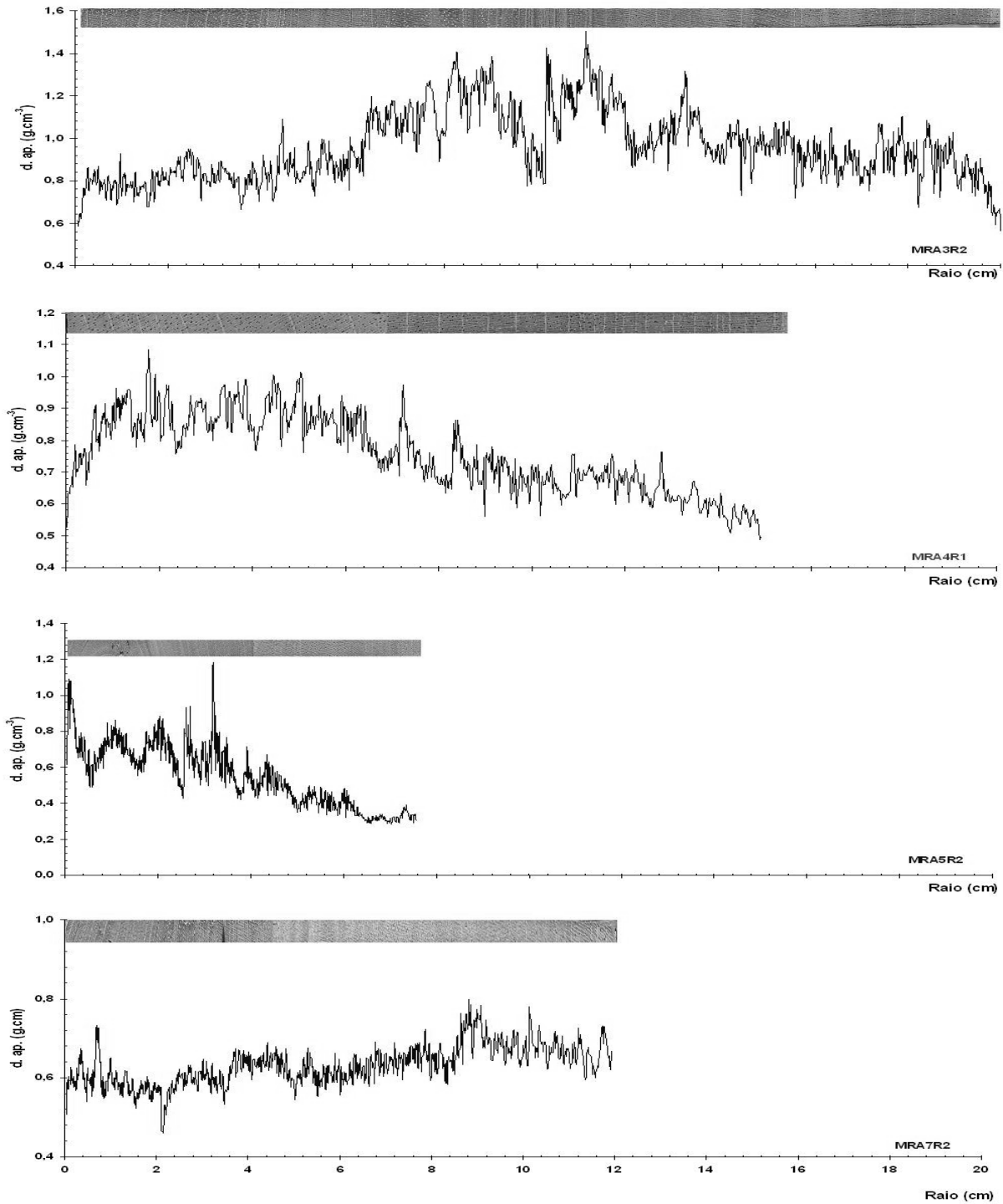
dados em negrito correspondem aos valores ajustados para o Departamento de Madre de Dios

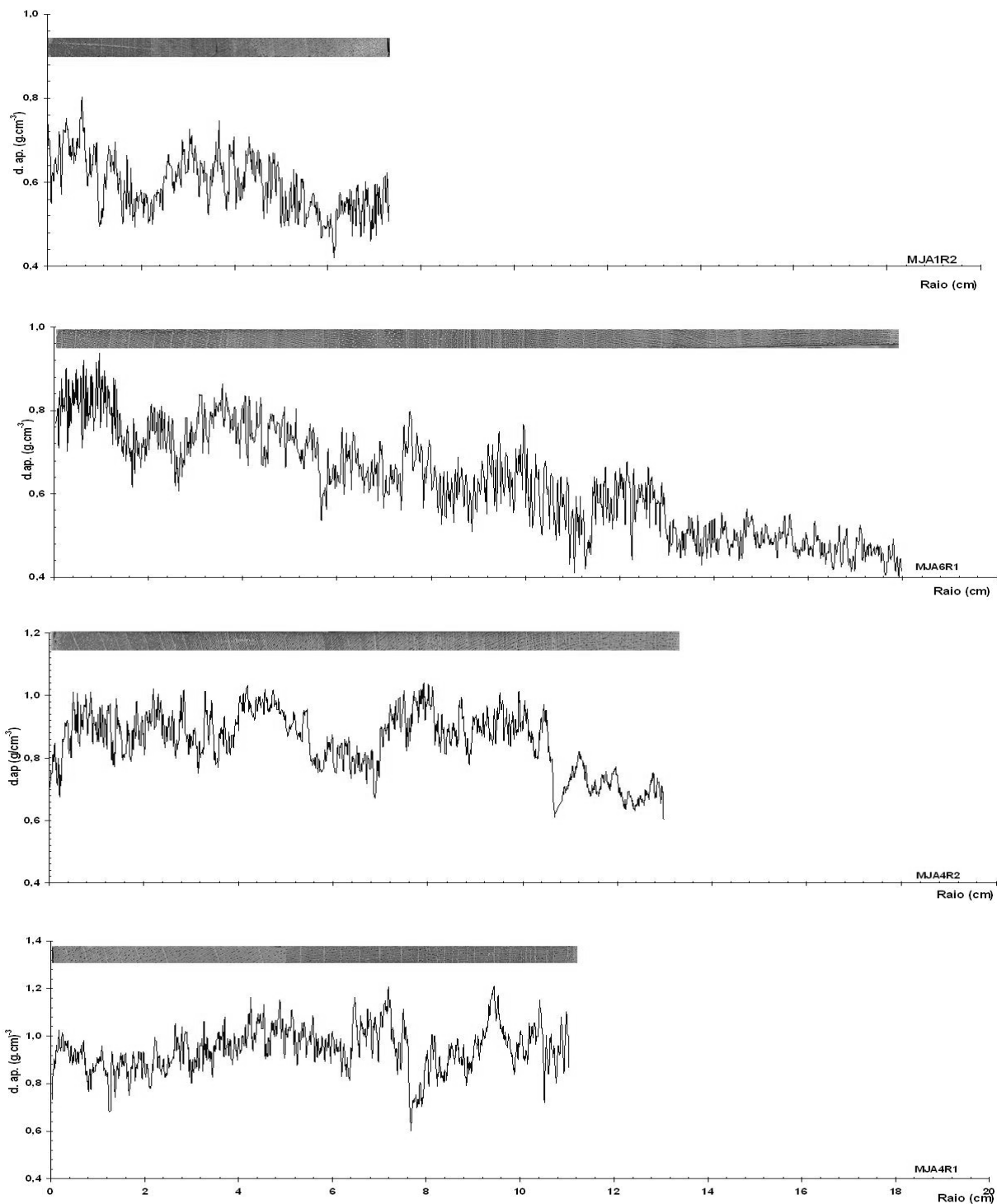
Anexo F – Precipitações (mm) médias mensais do Departamento de Madre de Dios (1960-1990)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	PP media
1960	245	185,5	215	239	73	41	10	150,5	78,5	234,5	338	196	170,7
1961	162,5	161	282	122	113,75	89,65	27	3,5	81	178,75	205,8	354,1	148,4
1962	306,5	253,7	267,35	144	38,1	20,9	23	74,3	43,8	58,9	104	416	145,9
1963	251,25	296	196,05	87	25,5	55,5	3	55	70,5	101	169	154,5	122,0
1964	320	253	252	77	112	16	71	17	84	196	166	259	151,9
1965	312,75	145,5	361,5	291	21,85	16	53,75	47,25	131,75	180,25	111,25	271	162,0
1966	192,5	161,75	139,25	207,5	72,75	36,25	32,75	38,75	88	106,5	130,5	170,5	114,8
1967	107,75	170	297	59	38,65	45	45,25	57,5	118	143,25	165	122,5	114,1
1968	191,5	401	246,5	50,5	41	111	58	36	76,5	128,5	175	261	148,0
1969	157	193,5	224,5	120,5	143	58,5	28	19	44,5	78,5	160	197,5	118,7
1970	147,5	244,5	215,5	237	119,5	54,5	35,5	25	31	142	175	256,5	140,3
1971	334	244,5	219,5	204	60,5	68	47,5	112,5	56	158	227	141,5	156,1
1972	238,5	371,5	252,5	139	114	81,5	125	227	135,5	229	198	322,5	202,8
1973	287,5	253,5	197	102	78,5	143	47	119,5	63,5	166	283,5	228	164,1
1974	222	164	203	198,5	15,5	75,5	28,5	107	71,5	140	232,5	199	138,1
1975	438	455	318	159,2	51	94	80	139	298	86	347	242	225,6
1976	327	99	300	104	98	31	5	44	170	271	177	296	160,2
1977	167	442	180	171	43	25	78	109	247	99	299	309	180,8
1978	273	458	204	195	141	54,8	115	86,9	96	136	283	455	208,1
1979	418	346	498	238	161	54,8	13	20	50	59	194	381	202,7
1980	400	486	321	163	111	30	7	53	47	284	242	178	193,5
1981	528	618	291	235	237	23	52,9	33	113	229	249	273,5	240,2
1982	245,3	272,7	365	232	53,9	96	30,1	69	216	189	140,2	238	178,9
1983	245,3	272,7	336	153,9	53,9	27,6	30,1	39,2	23	228	174	394	164,8
1984	536	272,7	179,8	396	27	27	9	16	59	117,3	317	92	170,7
1985	245,3	211	271	192	61	27,6	30,1	24	200	117,3	140,2	206,6	143,8
1986	245,3	604	179,8	153,9	53,9	27,6	22	132	23	144	140,2	193	159,9
1987	532	73	179,8	154	53,9	31	34	40	90,2	117,3	140,2	229	139,5
1988	365	472	179,8	72	127	15	7	3	44	75	193	252	150,4
1989	102	184	283	71	30	22	82	11	131	141	367	423	153,9
1990	235	352	111	178	53,9	60	117	50	136	117,3	140,2	206,6	146,4

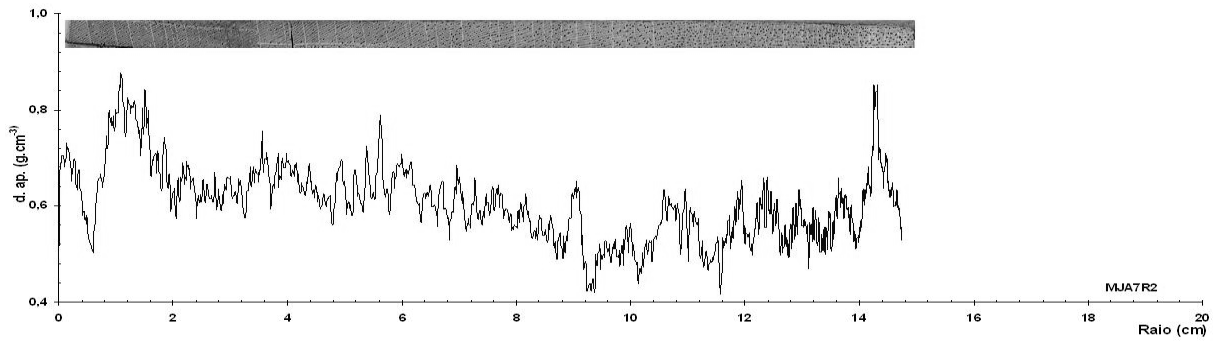
dados em negrito correspondem aos valores ajustados para o Departamento de Madre de Dios

Anexo G – Perfis de densidade aparente do lenho de *S. macrophylla* correspondentes à população A (continuação)

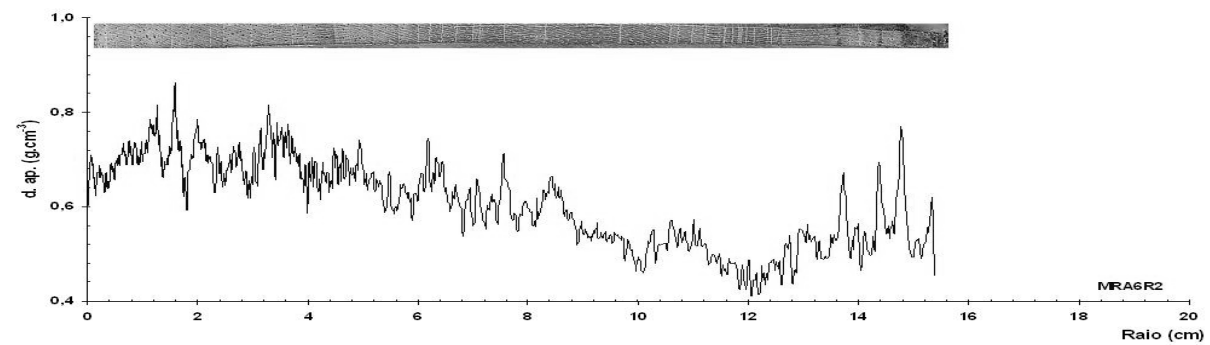
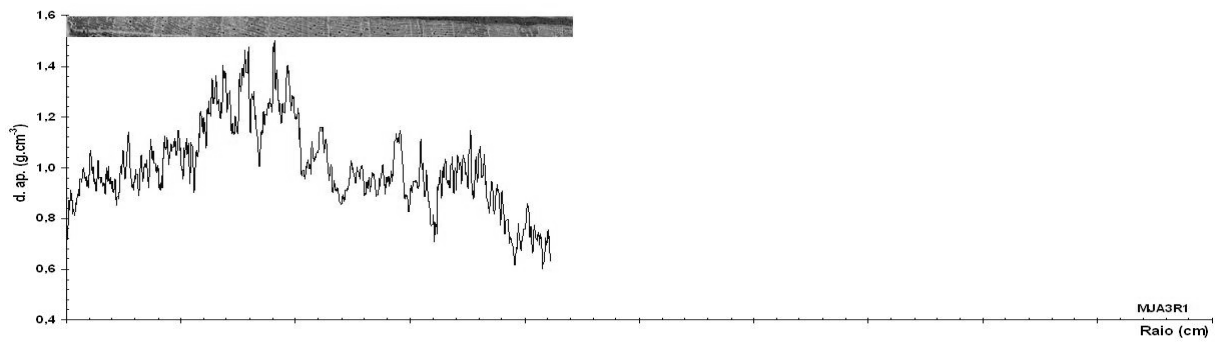
Anexo G – Perfis de densidade aparente do lenho de *S. macrophylla* correspondentes à população A (conclusão)

Anexo H – Perfis de densidade aparente do lenho de *S. macrophylla* correspondentes à população B (continuação)

Anexo H – Perfis de densidade aparente do lenho das árvores de *S. macrophylla* correspondentes à população B (conclusão)



Anexo I – Perfis de densidade aparente do lenho das árvores ocas da espécie *S. macrophylla* correspondentes à população A e B (continuação)



Anexo I – Perfis de densidade aparente do lenho das árvores ocas de *S. macrophylla* correspondentes à população A e B (conclusão)

