RESPOSTA DA DENSIDADE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO
DE *Pinus oocarpa* SCHIEDE AOS FATORES CLIMÁTICOS

LUIZ ROBERTO TROVATI

Orientador: EPAMINONDAS S. B. FERRAZ

Dissertação apresentada a Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agrometeorologia.

PIRACICABA

Fevereiro - 1982

Aos meus pais, sogros, irmãos

A Sonia , Guilherme e Graziella

D E D I C O

A G R A D E C I M E N T O S

Epaminondas Sansígolo de Barroz Ferraz

Mário Tomazello Filho

Cássio Roberto de Melo Godoi

Rodolfo Hoffmann

Edivaldo Modesto de Abreu

Ariovaldo Miguel Carvalho

Francisco Carlos Pellegrino

Rosa Maria V. B. Oliveira

Marialice Metzger Poggiani

Jefferson Mortatti

Clóvis Angeli Sansígolo

Maria Guiomar Carneiro

José Roberto Ferreira

- FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, através do Convênio B/3380/125/00/00
- CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear, através da Pesquisa PT 1.06.11/80-81.
- CAPEP-MEC - Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- INEMET - Instituto Nacional de Meteorologia - M. A. , 7º Distrito - São Paulo
- BNDE - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico, através do Projeto "Pesquisa Tecnológica para Melhoria da Qualidade do Pinho", programa de Desenvolvimento Tecnológico - FUNTEC nº 305/76
- CAFMA - Companhia Agro - Florestal Monte Alegre
- CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura
- ESALQ/USP - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidade de São Paulo

Í N D I C E

	Página
R E S U M O	vi
S U M M A R Y	viii
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 - Crescimento Secundário - os anéis e o câmbio	3
2.2 - Fatores Limitantes ao Crescimento	8
2.3 - Medidas e Análises dos Anéis de Cresci- mento	11
2.4 - As Relações Anéis de Crescimento e Cli- ma - dendroclimatologia	13
3 - MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 - Características da Área	21
3.1.1 - Local da amostragem	21
3.1.2 - Histórico do talhão e amostragem ...	22
3.1.3 - Solo e clima	24
3.2 - Preparo das Amostras	34
3.2.1 - Aplainamento, secagem e condicio- namento	34
3.2.2 - Datação dos anéis de crescimento ...	35

	Página
3.3 - Densimetria	38
3.3.1 - Atenuação da radiação gama	38
3.3.2 - Fonte radioativa, colimação e equi- pamentos	40
3.3.3 - Perfil radial de densidade	42
3.4 - Estatística da Densidade e dos Dados Cli- máticos	45
3.4.1 - Estandardização	45
3.4.2 - Cronologia média	48
3.4.3 - Regressão após a extração dos com- ponentes principais	49
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
4.1 - Estandardização e Cronologia Média	61
4.2 - Regressão após a Extração dos Componen- tes Principais	65
4.3 - Função de Resposta	72
5 - CONCLUSÕES	86
6 - BIBLIOGRAFIA	88

RESPOSTA DA DENSIDADE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE *Pinus oocarpa* SCHIEDE AOS FATORES CLIMÁTICOS

LUIZ ROBERTO TROVATI

EPAMINONDAS S.B. FERRAZ
Orientador

RESUMO

Perfis radiais de densidade dos anéis de crescimento foram determinados pela técnica de atenuação de radiação gama (^{241}Am ; 60 kev). As séries de densidade foram estandardizadas e a cronologia média obtida. Componentes principais das médias mensais da precipitação, das temperaturas média, máxima e mínima, da energia líquida disponível e do déficit hídrico, foram extraídos e usados separadamente como variáveis independentes na estimativa dos índices de máxima densidade. As funções de respostas foram calculadas e as relações indicaram uma grande dependência da densidade máxima às condições ambientais de verão - outono. O sinal climático decorrente da máxima densidade, exceto para a temperatura mínima, mostrou-se forte. Em média, 60% das variações na densi-

dade máxima, foram explicadas pela precipitação e pelo déficit hídrico do período de janeiro a abril e 70% pela energia líquida disponível e pelas temperaturas média e máxima do período de janeiro a março.

RESPONSE OF TREE - RING DENSITY OF *Pinus oocarpa*
SCHIEDE TO CLIMATE FACTORS

LUIZ ROBERTO TROVATI

EPAMINONDAS S.B. FERRAZ
Advisor

SUMMARY

Density radial profile of tree rings was determined by gamma-ray attenuation technique (^{241}Am - 60 kev). Density series were standardized and the mean chronology obtained. Principal components of precipitation, medium, maximum and minimum temperatures, net radiation and water deficit monthly average were determined and used separately, as independent variables, to estimate the maximum density indices. Response functions of the variables were calculated and the relationships showed a high dependence of the maximum density on summer-fall conditions. Except for minimum temperature, there was a strong climate signal resulting from

maximum density. On average, 60% of the variations in maximum density were due to precipitation and water deficit from January to April and 70% by available net energy, maximum and medium temperatures from January to March.

1 - INTRODUÇÃO

Os estudos dos anéis de crescimento das árvores, especificamente os aplicados nas análises climáticas, visando investigar as variações do clima nos períodos passado e presente, têm trazido valiosas contribuições para diversos campos de pesquisa. As contribuições nessa área são tão significativas que, atualmente, a dendroclimatologia tem sido considerada uma nova ciência.

Os aneis de crescimento, conforme salientado por FRITTS (1976), são uma excepcional fonte de informações paleoclimáticas e possibilitam quantificar e reconstituir as variações climáticas ocorridas em um intervalo de tempo anterior às medições instrumentais diretas.

A dendroclimatologia tem sido aplicada, também, nos estudos ecológicos, para avaliar as alterações causadas pelo homem no meio ambiente, tais como: evolução e grau de poluição ambiental, desmatamentos, etc. Na hidrologia, permite aumentar e corrigir as curtas séries dos registros hidrológicos, de modo a auxiliar no manejo adequado das bacias hidrográficas. Outras aplicações têm sido verificadas em ramos da ciência bastante diversificados, como na arqueologia, biologia e geologia.

Na área florestal, os anéis de crescimento permitem analisar e explicar o comportamento sazonal de crescimento em diâmetro e altura das árvores, bem como quantificar a influência do meio ambiente, do fogo e de outras técnicas de manejo. A estimativa da produtividade das florestas e a seleção adequada das espécies, em função das condições ecológicas do local, também podem ser obtidas a partir dos estudos dos anéis de crescimento.

O presente trabalho tem como objetivo, estimar a influência dos fatores ambientais pela análise do perfil de densidade dos anéis de crescimento de árvores de *Pinus oocarpa* Schiede.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - CRESCIMENTO SECUNDÁRIO - OS ANÉIS E O CÂMBIO

Os anéis de crescimento são camadas de células de madeira que se formam no xilema do tronco e das raízes, pela diferenciação das células do câmbio. As células do xilema são diferenciadas em direção ao lado interno do câmbio, enquanto as células do floema são diferenciadas em direção ao lado externo do câmbio.

As primeiras células do xilema em coníferas, formadas no início da estação de crescimento, são grandes, com parede celular de espessura fina resultando numa camada de madeira de menor densidade, denominada lenho inicial.

Ao passo que sucessivos revestimentos de células são diferenciados durante a marcha da estação de crescimento, as condições fisiológicas dentro da árvore mudam gradual-

mente, induzindo a formação de células mais estreitas e com parede celular mais espessa do que aquelas formadas no início da estação. Dessa maneira, na parte mais externa do anel anual de crescimento, ocorre a formação de uma camada de madeira mais densa e mais escura chamada de lenho tardio.

Os termos lenho inicial e lenho tardio são encontrados na literatura, respectivamente, como sinônimos para lenho primaveril ou leve e lenho outonal ou denso. Estes detalhes e as relações entre os lenhos podem ser vistos em KRAMER e KOZLOWSKI (1979).

A abrupta mudança no tamanho das células, na passagem do lenho tardio para o lenho inicial, usualmente delimita o contorno entre os incrementos do crescimento anual (BANNAN, 1962 ; FRITTS, 1967.b).

Segundo HUSCH (1962), os contornos no tronco principal da árvore são geralmente aproximados a uma série justaposta, com superfícies cônicas superpostas, sendo que em certos casos a superfície pode ser melhor descrita por um cilindro parabolóide ou neilóide.

A transição nas dimensões das células do lenho inicial para o lenho tardio, dentro de cada crescimento anual, é frequentemente gradual. Entretanto, o número e a estrutura das células, dentro dessa transição, podem variar de um ano para o próximo, dependendo do meio ambiente e dos fatores fisiológicos que limitam as taxas de divisão celular, o enlarguecimento e a maturação das células (ZAHNER, 1968 ; BANNAN, 1962).

De uma maneira geral, as variações de densidade, que indiretamente refletem as dimensões das células, podem ser comparadas a uma função "dente de serra", com uma transição lenta e gradual do lenho inicial para o tardio e uma abrupta mudança do lenho tardio para o inicial. A cada comprimento de onda poder-se-ia associar um ciclo de crescimento anual e as variações de amplitude estariam relacionadas aos fatores ambientais e fisiológicos.

No entanto, a dimensão e a estrutura dos anéis de crescimento são função da hereditariedade da árvore e da atuação do meio ambiente, desde o seu desenvolvimento inicial até o envelhecimento (KRAMER e KOZLOWSKI, 1962, 1979 ; FRITTS, 1966). Assim, a quantidade e a qualidade do crescimento das plantas depende das interações entre a potencialidade hereditária e o meio ambiente no qual elas estão crescendo.

FRITTS (1976, p. 51) reporta que, todas reações, de um organismo são efeitos cumulativos do meio ambiente atuando nos processos fisiológicos e que, estes processos dependem da constituição genética do organismo. Segundo ele, as relações entre hereditariedade e meio ambiente e a maneira como elas afetam os processos e a estrutura da planta pode ser mostrada no diagrama a seguir:

A hereditariedade determina quais processos podem ocorrer, quais fatores ambientais podem afetá-los e qual fator ambiental poderá ter um efeito limitante (FRITTS, 1976, p. 51).

Portanto, a avaliação de uma característica estrutural, ao longo de uma secção transversal na base do tronco, representa o produto de uma variedade de gradientes agindo através do tempo, na vida da árvore (DUFF e NOLAN, 1953 ; FRITTS *et alii*, 1965 ; SMITH e WILSIE, 1961 ; conforme FRITTS, 1967.a).

Segundo FRITTS (1976), a hereditariedade é um fator constante durante a vida da árvore e por isso ela não contribui, de ano para ano, nas variações das características estruturais dos anéis de crescimento.

A estrutura dos anéis de crescimento reflete o ambiente climático, pois o câmbio depende dos compostos orgânicos sintetizados pela copa da árvore.

A atividade cambial inicia-se aproximadamente no mesmo tempo que as atividades dos meristemas apicais. O período de atividade varia de um ano para outro, em função das diferenças climáticas anuais, diferenças ambientais de um *sítio* para outro e das diferenças entre as espécies (LADEFOGED, 1952 ; citado por FRITTS, 1976).

Sabe-se que, nas regiões temperadas, a retomada da atividade cambial está correlacionada com o reativamento da brotação e com o desenvolvimento das folhas (ZIMMERMANN e BROWN, 1971).

Em muitas espécies de árvores a atividade cambial inicia-se antes da brotação e depende do armazenamento das reservas de carboidratos até que as folhas estejam completamente expandidas (JOHNSON e RISSER, 1973).

Por outro lado, nas regiões tropicais e sub-tropicais o início e a periodicidade da atividade cambial em algumas espécies é bem menos definida, porque os eventos climáticos não são claramente separados por períodos de atividade e dormência (ZIMMERMANN e BROWN, 1971).

Em algumas árvores tropicais, o câmbio pode permanecer ativo o ano inteiro com períodos de picos de atividades correspondendo a altas taxas de crescimento (ALVIM, 1964).

Ainda com respeito ao câmbio, FRITTS (1976, p. 84) reporta que para folhosas e coníferas a atividade cambial tende a ser mais longa nas árvores jovens do que nas árvores

velhas. É também mais longa nos climas tropicais do que nos climas temperados, sendo que em clima quente e úmido e nas baixas latitudes a estação de crescimento pode continuar por períodos de seis meses e em alguns casos até mais.

Uma série de trabalhos enfocando os aspectos dendrocronológicos, periodicidade do crescimento e taxas de crescimento em árvores tropicais foram editados por BORMANN e BERLYN (1981).

Contudo, como citaram ZIMMERMANN e BROWN (1971), verifica-se que muito pouco se conhece acerca dos padrões de atividade cambial em árvores tropicais, pois poucos estudos detalhados têm sido conduzidos para essas espécies, em comparação com as de origem temperada.

2.2 - FATORES LIMITANTES AO CRESCIMENTO

Existe uma considerável necessidade de se determinar as interações entre as plantas e o meio ambiente, pois importantes problemas encontrados pelos pesquisadores requerem o conhecimento da importância relativa dos fatores externos e internos que afetam o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Nos fatores externos, incluem-se as condições ambientais e ecológicas que geralmente são mais limitantes ao crescimento das plantas, tais como: água, luz, temperatura ,

O_2 , CO_2 , minerais do solo e os tratos culturais. Dentro das condições internas, os fatores limitantes mais comuns são a disponibilidade das quantidades de alimentos, minerais, reguladores de crescimento, enzimas e água. Mas na realidade, o nível dos fatores internos é muitas vezes o resultado dos fatores externos que foram limitantes num tempo anterior na vida da planta (FRITTS, 1976).

É bem sabido, que a taxa de crescimento das árvores, bem como o desenvolvimento dos tecidos podem ser alterados ou prejudicados por fatores climáticos e não climáticos.

Segundo KRAMER e KOZLOWSKY (1979), o problema básico com respeito a esses fatores, é explicar quanto ou de que forma certos estímulos são sentidos e convertidos em processos metabólicos modificando a quantidade e a qualidade do crescimento. Dentre esses estímulos, cita-se a flutuação na precipitação, as oscilações de temperatura, de fotoperíodo e os distúrbios e mudanças na estrutura do "stand" da floresta, causadas por catástrofes naturais ou pelos tratos culturais.

Especialmente interessantes são os modelos descritos por FRITTS (1967.a , 1971.a , 1976) e FRITTS *et alii* (1971.b), que mostram como as condições climáticas afetam os processos fisiológicos e as conseqüentes influências nas características de largura do anel.

KRAMER e KOZLOWSKI (1979), comentaram as dificuldades do estudo dos efeitos ambientais sobre o crescimento,

pois a importância relativa de um fator ambiental pode mudar durante as estações de crescimento. Por exemplo, uma dada quantidade de precipitação no início da estação de crescimento, quando o solo está inteiramente carregado de água pode causar uma pequena diferença no crescimento cambial, entretanto, uma metade dessa quantidade na estação posterior poderá afetar marcadamente o crescimento cambial.

Extensiva literatura e discussão sobre a relação entre o crescimento cambial e fatores climáticos são encontradas em ZANHER (1968) , KOZLOWSKI (1962 , 1971) , ZIMMERMANN e BROWN (1971) , FRITTS (1976) e KRAMER e KOZLOWSKI (1979).

Por outro lado, nos estudos dendrocronológicos e dendroclimatológicos é importante estar atento às influências causadas pelos fatores não climáticos. Alguns desses fatores como, o aumento da idade das árvores, as diferenças de solo, drenagem e inclinação dos *sites* , os tratos culturais , competição, desbaste e fertilização. Fenômenos temporários como, fogo e desfolhamento por insetos podem também causar muitas mudanças no crescimento e nas características estruturais dos anéis de crescimento. As influências destes fatores na largura e/ou densidade dos anéis foram comentadas detalhadamente por FRITTS (1976) , SCHWEINGRUBER *et alii* (1979) e SCHWEINGRUBER (1980) , alguns deles foram avaliados por POLGE (1973 , 1978) , SMITH (1977) e OTHA (1981).

2.3 - MEDIDAS E ANÁLISES DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Existem vários métodos e equipamentos para medida das propriedades físicas e anatômicas dos anéis de crescimento, como a gravimetria, microscopia, fotometria, densimetria por raios X, β e γ . A adoção de qualquer um desses métodos depende do objetivo do investigador e as comparações entre eles, somente podem ser feitas, ainda assim com muito cuidado, dentro de uma mesma área.

Segundo LOSS (1965), HARRIS (1969) e BRAZIER (1969), os primeiros estudos densimétricos precisos utilizando o método de atenuação de radiação em madeiras, particularmente nas medidas das propriedades dos anéis de crescimento foram feitos por CAMERON *et alii* (1959), utilizando um feixe colimado de radiação beta do ^{90}Sr .

Estudos semelhantes, com o aperfeiçoamento da metodologia beta seguiram-se com PHILLIPS (1960), PHILLIPS *et alii* (1962) e HARRIS (1969).

A técnica de atenuação por radiação gama usando ^{210}Pb e ^{137}Cs , para determinação de densidade e umidade de madeira, foi inicialmente utilizada entre outros por LOSS (1961, 1965).

Simultaneamente FERRAZ (1976), no Brasil, e MAY *et alii* (1976), na Alemanha, introduziram o ^{241}Am como fonte de radiação gama, dando uma nova e importante opção aos estudos da densimetria em madeiras.

O uso de raio X para medidas de densidade de anéis de crescimento foi proposto por POLGE (1965.a , 1965.b), na França. O método utiliza amostras tomadas com sonda *Pressler* as quais são fotografadas por raio X. O negativo do filme radiográfico é colocado num microdensitômetro, pelo qual as variações de contraste do negativo podem ser detectadas e convertidas em densidade.

Atualmente as novas técnicas incorporadas aos microdensitômetros permitem medidas simultâneas de largura e densidade dos anéis de crescimento.

Algumas considerações e comparações a respeito dos métodos e técnicas de medidas densimétricas, usadas nas determinações de propriedades das madeiras, foram abordadas por PHILLIPS (1965.a , 1965.b , 1968) , POLGE (1965.a) , HARRIS e POLGE (1967) e BRAZIER (1969).

Por outro lado, as considerações e comparações acerca das técnicas de análises estatísticas usadas nos estudos dendroclimáticos e consequentes recomendações para suas interpretações são dadas em FRITTS (1960 , 1962.a , 1971.a , 1976) e FRITTS *et alii* (1971.b).

2.4 - AS RELAÇÕES ANÉIS DE CRESCIMENTO E CLIMA - DENDRO-CLIMATOLOGIA

A questão das relações entre os anéis de crescimento e o clima tem sido indagada pelos cientistas europeus e americanos desde 1850. No entanto, somente nas regiões áridas do sudoeste da América do Norte era possível se estabelecer uma clara relação entre os fenômenos climáticos e as características dos anéis de crescimento sobre extensas áreas (SCHWEINGRUBER *et alii*, 1979).

O desenvolvimento e aplicação das novas técnicas de medidas e análises, ocorridas nos últimos vinte anos, especialmente as medidas densimétricas e as poderosas técnicas estatísticas de análise multivariada, aliadas ao gradual entendimento dos processos biológicos ligados ao crescimento e ao clima, tem permitido a expansão destes estudos para novas áreas geográficas (La MARCHE, 1978), como para regiões úmidas, temperadas e frias (SCHWEINGRUBER *et alii*, 1979).

As informações climáticas derivadas dos anéis das árvores podem ser encontradas nas diferenças de larguras dos anéis que ocorrem de um ano para outro e também nas variações de densidade da madeira. Ambas fontes de informações climáticas refletem variações diárias e sazonais nas taxas de crescimento e o modo como essas taxas são afetadas pelas condições ambientais (FRITTS, 1976, p. 74).

A densidade que é uma função das características celulares, como a espessura da parede, o diâmetro do lumem além da estrutura do arranjo celular é especialmente importante nas pesquisas sobre a qualidade da madeira.

A densidade está correlacionada com vários fatores físicos, químicos e anatômicos da madeira e revela, portanto, informações básicas no que concerne aos problemas de tecnologia da madeira, de floresta e climatologia (KELLER, 1968 ; POLGE, 1970 , 1978 ; FRITTS, 1976 ; HUBER, 1976).

As relações entre os anéis de crescimento e o clima tem sido estudadas principalmente à luz das variações de largura e densidade.

O primeiro fator que controla a largura relativa dos anéis, de ano para ano, em clima semiárido é a precipitação, pois ela afeta a umidade do solo e o balanço de água da árvore. Entretanto, a alta temperatura afetando a evapotranspiração e limitando certos processos como a fotossíntese líquida pode também ser um fator controlador (FRITTS, 1962.a ; FRITTS, 1967.a).

Pela análise de 50 anéis de um tronco de *Quercus alba* e outro de *Fagus grandifolia* , FRITTS (1962.b) verificou que 80% e 70% das variações na largura dos anéis estavam associadas, respectivamente, a chuva e ao déficit hídrico calculado.

ZANHER (1968), ao discutir os vários efeitos do déficit de água sobre os anéis de crescimento, relata que acima de 90% das variações na largura dos anéis em climas semiáridos e acima de 80% em zonas temperadas úmidas, podem ser atribuídas ao *stress* de umidade, pois os anos secos ficam registrados nos anéis de crescimento.

No oeste semiárido da América do Norte, a precipitação é usualmente correlacionada de maneira positiva com a largura dos anéis, enquanto a temperatura é em geral correlacionada negativamente, pois ela afeta a evapotranspiração e alguns processos fisiológicos da árvore. Porém, durante a metade do inverno e o início da primavera, a temperatura é em geral, positivamente correlacionada (FRITTS, 1967.a).

FRITTS (1967.a) afirmou, também, que as diferenças de largura dos anéis podem ser atribuídas às mudanças de suprimentos e hormônios. Em *sítes* úmidos ou durante períodos de clima favorável pode-se ter alimentos suficientes para produção de anéis largos. Mas em *sítes* secos ou durante os anos de baixa umidade no solo e altas temperaturas, a competição por alimentos é grande. Logo, baixas quantidades de reservas são acumuladas, sendo baixo o crescimento na primavera e no verão resultando, na formação de um anel estreito.

Ainda segundo FRITTS (1967.a), as árvores em seu meio ambiente fabricam e acumulam mais alimentos durante o fim da primavera, no verão e no início do outono. Portanto,

nesse período a largura dos anéis é mais fortemente correlacionada com o clima.

JONSSON (1969), analisando a série de anéis em *Pinus sylvestris* e *Picea abies* produzidos de 1901 - 1960, na Suécia, verificou que existe uma significativa correlação entre um dado anel e o seu predecessor imediato. Em ambas espécies as altas temperaturas de março ou abril, e as precipitações de maio - julho, tem um claro efeito no crescimento em diâmetro.

Nas regiões áridas e semiáridas, a largura dos anéis varia diretamente com a intensidade e a duração da seca, enquanto que nas regiões frias e nas altas elevações a largura dos anéis é mais afetada pelas baixas temperaturas (FRITTS, 1971.a ; FRITTS, 1976). Porém a largura dos anéis de árvores de regiões temperadas, em geral, não é fortemente correlacionada com nenhum fator climático isoladamente (FRITTS, 1971.a; ECKSTEIN, 1972).

PARKER e HENNOCH (1971), estabeleceram uma forte correlação entre as máximas densidades do lenho tardio de *Picea engelmannii* com a temperatura do mês de agosto. Mostraram que os dados de densidade podem conter mais informações climáticas que as medidas de largura dos anéis.

ECKSTEIN (1972), apresentou os importantes estudos dendrocronológicos e dendroclimáticos e suas aplicações na Europa.

JOHNSON e RISSER (1973) investigaram os efeitos da precipitação sobre as taxas de crescimento de *Quercus stellata* e de *Quercus marilandica* em Oklahoma, pela medição da largura dos anéis do período 1892 - 1971. Os resultados mostraram que para esta área, classificada como subtropical úmida, 60% da variância nos índices de largura dos anéis de ambas espécies podem ser explicadas pela precipitação e pelas taxas de crescimento dos anos anteriores.

POLGE (1973), demonstrou a importância dos fatores climáticos e edáficos na qualidade e propriedades da madeira. Citou, por exemplo, que muitas vezes o efeito do meio ambiente é muito mais importante que o efeito das espécies.

HUBER (1976), revelou que a máxima densidade de *Pinus sylvestris* em regiões da Europa é dependente das precipitações do verão.

Em FRITTS (1976) muitos trabalhos, técnicas de medidas e análises, princípios e conceitos desse campo de pesquisa foram apresentados detalhadamente.

SCHWEINGRUBER *et alii*, 1978, analisaram a largura e densidade dos lenhos e a largura total dos anéis de crescimento de algumas árvores dos *sites* de regiões subalpinas da Suíça, onde o clima é moderadamente úmido. Os resultados mostraram que a temperatura e a precipitação, durante a estação de crescimento tem influência no aumento de densidade, pois em média 50% da variância da densidade máxima foi expli-

cada por estes dois fatores climáticos, especialmente pela temperatura do verão (agosto e setembro). Por outro lado, nenhum cálculo indicou relações claras entre densidade mínima e a temepratura ou a precipitação. As informações dadas pela largura do lenho inicial, revelaram diferentes relações entre árvore e clima de um síte para outro. Enquanto, a largura do lenho tardio, indicou respostas similares, mas menos significantes que aquelas observadas na densidade máxima. A largura total dos anéis, indicaram uma mistura de informações dos lenhos iniciais e tardios.

A superioridade da densidade máxima nos estudos dendrocronológicos e dendroclimatológicos foi comentada por POLGE (1978). Ele afirma que esta superioridade é consequência da alta sensibilidade aos fatores climáticos, mas a densidade máxima é também sensível a outras fontes de variação, como genótipo, solos e a localização da madeira no tronco.

SCHWEINGRUBER *et alii* (1979), relataram e compararam as respostas de largura e densidade dos anéis de coníferas, em diferentes regiões climáticas da Europa. Por exemplo, em sítes com suficientes disponibilidades de água a atividade cambial e a espessura da parede celular dos traqueídeos são dependentes da temperatura, em regiões secas e em sítes xerotérmicos a chuva é o fator limitante.

CONKEY (1979), revelou em seu estudo dendroclimatológico, no nordeste dos Estados Unidos, que o sinal climáti

tico proveniente da densidade máxima é mais poderoso e pode ser mais específico em uma estação do que o fornecido pela largura do anel. Os valores dos picos anuais de mudança da densidade máxima, de um ano para o próximo, mostraram mais variação que os valores de largura do anel, e uma menor autocorrelação. As séries de 200 - 300 anos de *Picea rubens*, mostraram que dos 70% da variância dos índices de máxima densidade, 67% foram explicados pelas médias mensais de precipitação e temperatura média, enquanto que para os índices de largura dos anéis, dos 66% da causa da variância apenas 34% foram descritos pelos mesmos fatores climáticos.

BERGER *et alii* (1979), mostraram a influência favorável da precipitação do verão e da temperatura média durante o inverno na largura dos anéis de árvores de *Cedrus atlantica* crescidas em clima de montanha, no Marrocos. Contudo, estes resultados devem ser tomados com cautela, pois os dados climáticos foram tomados a aproximadamente 100 km e numa altitude inferior do local de amostragem das árvores, provavelmente com uma maior influência de clima marítimo. Por outro lado, eles descreveram uma técnica original de regressão múltipla sobre os componentes principais, especialmente aplicadas as curtas séries de registros climáticos, para a seleção das variáveis mais significativas.

FERRAZ (1980), com o uso do método de atenuação por radiação gama do ^{241}Am , analisou o perfil de densidade de cinco espécies de eucalíptos da região de Itupeva, SP, e correlacionou com o déficit hídrico calculado. Os resultados mostraram que as máximas densidades dos lenhos tardios eram fortemente correlacionadas com os períodos de deficiência hídrica no solo.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - CARACTERÍSTICAS DA ÁREA

3.1.1 - LOCAL DE AMOSTRAGEM

Os componentes básicos utilizados neste estudo, procederam da região central do Estado de São Paulo.

Os anéis de crescimento estudados foram coletados de árvores de *Pinus oocarpa* Schiede, no reflorestamento da Companhia Agro-Florestal Monte Alegre (CAFMA), situado no Município de Agudos à 22°25' de latitude sul e 48°50' de longitude oeste a uma altitude de 600 metros. As árvores amostradas, pertenciam à quadra 13 , conforme mostra a Figura 1.

FIGURA 1 - Local de amostragem das árvores (▨▨▨), estação de dados climáticos (*)

3.1.2 - HISTÓRICO DO TALHÃO E AMOSTRAGEM

O povoamento de *Pinus oocarpa*, foi instalado no mês de outubro de 1961 em área de 49,55 ha, em espaçamento de 2,0 x 2,0 metros. Não foram efetuadas adubações nem irrigações em nenhum período, destacando-se a condução de quatro desbastes seletivos, conforme informações da companhia

Os dados referentes aos desbastes são encontrados na Tabela 1.

TABELA 1 - Data, porcentagem e volume da madeira retirado em cada um dos desbastes do talhão de *Pinus oocarpa*

Desbaste	Data (mês e ano)	% de desbaste <u>a/</u>	Volume de madeira retirado (m^3 .S.C./ ha) <u>b/</u>
01	09/70	35,53	22
02	02/72	19,30	20
03	05/74	25,17	29
04	05/77	17,33	58

a/ porcentagem de desbastes em relação ao total de árvores remanescentes.

b/ metros cúbicos sem casca por hectare.

FONTE: CAFMA

No final do mês de setembro de 1978, foram amostradas 25 árvores do referido talhão de *Pinus oocarpa*. Normalmente, esse é o mês, no qual iniciam-se as primeiras atividades meristemáticas da nova estação de crescimento.

As árvores tinham em média 25 metros de altura e o diâmetro a altura do peito (DAP), variava entre 17,5 e 29,5 cm. A amostragem foi conduzida através de classes de

diâmetro, para que o número de árvores amostradas representasse da melhor maneira a população.

A amostragem constitui-se de 25 discos, um de cada árvore, com aproximadamente 8 cm de espessura que foram seccionados transversalmente ao tronco no D.A.P., sendo que em cada disco foram marcadas as posições geométricas norte, sul, leste e oeste.

Segundo FRITTS (1971.a ; 1976 p. 31) para uma boa datação e alta sensibilidade aos parâmetros climáticos é necessário, com amostragens através de sonda, no mínimo dois raios a partir de 20 ou 30 árvores.

3.1.3 - SOLO E CLIMA

Dentro de um relevo suavemente ondulado, onde predominava a vegetação de cerrado, o talhão reflorestado com *Pinus oocarpa* situa-se em meia encosta, levemente inclinada para o sul.

O solo é profundo, poroso e bem drenado, classificado por RANZANI (1971) como Latossol Vermelho Amarelo Fase Arenosa , e composto por cerca de 80% de areia e 15% de argila.

O clima da região pode ser classificado como Sub-Úmido, com uma precipitação média anual de 1.330 mm. Distingue-se um período chuvoso que vai de outubro a março no

qual caem 70% do total anual de chuva, correspondente à primavera-verão, com temperatura média em torno de 23°C . No outono-inverno a temperatura média mensal é próxima a 19°C , oscilando entre 16° e 18° no mês mais frio.

Entretanto, por se tratar de uma região de transição entre clima Tropical e Temperado as estações não apresentam uma homogeneidade temporal, pois frequentemente ocorrem deficiências hídricas, verânicos, dentro da estação chuvosa e em outras vezes excedentes hídricos na estação seca.

Essa não homogeneidade temporal do clima, também causa dificuldades na caracterização do comprimento da estação de crescimento anual, pois em alguns anos as condições ambientais podem permanecer favoráveis ao crescimento por até 8 meses consecutivos e em outros anos por menos de 6 meses.

Segundo JULIAN e FRITTS (1968), citados por FRITTS (1971.a ; 1976, p. 29), o local de amostragem das árvores nunca deve exceder a 32 km da estação de dados meteorológicos, devido à marcante redução de correlação entre a largura dos anéis e os registros climáticos da estação a partir desse limite.

Como as variações de densidade são ainda mais sensíveis aos parâmetros climáticos este limite pode se tornar ainda menor. Mas, pelo fato da não disponibilidade de registros meteorológicos, do período completo de estudos no lo-

cal de amostragem, estes foram tomados na estação meteorológica oficial da cidade de Bauru, situada a 590 m de altitude e a 10 km da floresta amostrada (Figura 1).

As Tabelas 2 , 3 , 4 e 5 contêm, respectivamente as médias mensais das variáveis, precipitação, temperaturas média , máxima e mínima, durante o período 1963 a 1978.

Na Tabela 6 encontra-se uma estimativa mensal da energia líquida disponível sobre a floresta, calculada pela equação 1 , PENMANN (1948):

$$H = Q_0 \left(a + b \frac{n}{N} \right) (1 - r) - \sigma T^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{UR \cdot e_s}) (0,1 + 0,9 \frac{n}{N}) \quad (1)$$

onde:

- Q_0 = constante solar (mm . ev . eq.),
- n = insolação observada mensal (h/mês),
- N = insolação máxima mensal (h/mês),
- σ = constante de Stefan-Boltzmann,
- T = temperatura do ar, média mensal ($^{\circ}\text{K}$),
- UR = umidade relativa, média mensal (decimal),
- e_s = tensão de saturação do vapor d'água atmosférico, a temperatura do ar (mm Hg).

Foram adotados os parâmetros $a = 0,26$ e $b = 0,51$, valores determinados por OMETTO (1968) para a região. Utilizou-se $r = 0,15$, como o poder refletor das florestas de coníferas, conforme BUDYKO (1974).

O déficit hídrico, sintetizado na Tabela 7, foi calculado pelo método dos índices térmicos de THORNTHWAITE (1948), considerando-se como 300 mm a capacidade de armazenamento do solo até a profundidade de dois metros.

TABELA 2 - Valores de médias mensais da precipitação (mm) de Bauru, SP, durante o período de setembro / 1963 a agosto / 1978.

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA,
7º Distrito.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
63/64	17.6	102.0	125.0	73.5	133.5	386.5	129.2	.7	45.8	24.7	43.4	37.0
64/65	123.8	180.6	93.3	446.4	414.9	242.8	171.9	68.5	91.4	37.5	65.5	4.5
65/66	61.7	141.7	158.9	222.4	109.6	198.5	33.0	87.4	18.1	3.0	17.7	22.5
66/67	45.6	176.8	62.7	264.7	275.3	204.1	145.6	10.1	.0	80.5	14.5	.0
67/68	95.2	152.0	147.8	215.3	295.9	40.5	76.3	34.7	9.2	25.2	6.7	42.5
68/69	11.2	120.8	45.6	96.0	162.0	114.0	122.3	41.5	15.9	31.6	24.1	6.6
69/70	39.2	147.9	153.1	99.5	337.2	375.1	177.0	45.1	45.5	28.1	11.0	67.8
70/71	62.8	106.5	81.2	157.4	128.6	144.2	173.2	39.3	58.7	105.3	59.8	.0
71/72	50.6	106.4	66.9	109.4	431.0	277.6	40.4	108.9	82.1	2.6	114.6	42.1
72/73	102.9	293.4	139.1	198.1	130.8	126.3	71.1	89.4	100.8	56.2	40.0	27.6
73/74	68.1	136.7	93.6	339.4	196.5	50.5	565.2	42.6	23.2	147.9	.0	15.7
74/75	40.9	146.5	68.6	379.5	143.2	156.6	165.9	110.0	12.3	6.1	35.6	.0
75/76	28.9	117.2	328.4	175.1	285.9	260.6	216.1	71.9	125.1	67.9	84.4	99.5
76/77	130.2	117.7	120.1	200.9	298.4	112.5	186.6	134.7	3.5	46.9	21.6	7.2
77/78	54.8	106.1	114.7	407.0	95.5	119.7	189.4	27.4	139.1	21.1	159.0	2.0

TABELA 3 - Valores de médias mensais das temperaturas médias ($^{\circ}\text{C}$) de Bauru, SP, durante o período de setembro / 1963 a agosto / 1978.

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA,
7º Distrito.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
63/64	23.8	23.3	24.0	23.3	23.5	22.7	22.8	22.8	18.1	17.0	15.4	19.7
64/65	21.0	20.3	20.7	21.6	22.3	22.9	21.5	21.2	18.9	18.8	17.6	19.9
65/66	22.2	21.4	23.2	23.2	24.0	24.6	23.2	21.3	19.3	18.0	18.5	18.4
66/67	19.6	21.9	23.0	24.2	23.4	23.7	23.1	21.7	20.0	17.5	17.7	21.0
67/68	21.5	23.1	22.0	21.7	23.1	23.0	23.3	19.4	16.4	18.8	16.9	17.9
68/69	20.2	21.7	24.6	24.2	24.8	25.0	24.3	21.4	19.3	18.3	18.2	20.0
69/70	22.0	20.2	22.3	22.7	23.4	23.1	23.6	21.9	20.8	19.0	17.5	17.1
70/71	19.7	21.6	21.8	24.2	25.0	24.3	23.8	21.3	18.4	17.6	18.2	19.8
71/72	20.4	21.6	22.2	22.9	23.3	22.8	24.3	21.3	20.4	20.3	17.7	18.8
72/73	20.6	22.0	23.3	24.5	25.3	25.8	24.0	24.5	19.8	19.8	18.6	18.6
73/74	20.5	21.6	22.8	23.6	23.7	25.4	23.4	21.6	19.2	17.5	19.0	19.3
74/75	21.9	21.5	22.9	22.2	23.6	24.5	24.7	21.7	19.3	18.5	16.8	22.7
75/76	22.8	21.9	22.1	23.9	24.1	22.6	23.3	20.9	18.5	17.7	16.9	18.6
76/77	18.9	20.9	23.1	23.2	23.9	25.9	24.7	21.1	19.7	18.7	20.9	20.8
77/78	21.6	23.5	23.1	22.5	24.9	24.8	23.8	21.8	18.9	18.1	18.9	18.8

TABELA 4 - Valores de médias mensais das temperaturas máximas ($^{\circ}\text{C}$) de Bauru, SP, durante o período de setembro / 1963 a agosto / 1978.

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA,
7 $^{\circ}$ Distrito.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
63/64	33.2	31.5	32.0	31.8	31.4	29.4	29.9	30.1	25.1	24.5	23.3	28.5
64/65	30.1	27.9	28.7	28.3	28.9	29.3	28.0	28.7	25.8	25.6	24.5	28.0
65/66	30.4	28.3	30.2	28.1	30.0	30.3	29.3	27.7	25.7	26.2	26.3	27.0
66/67	27.4	29.4	29.7	30.6	29.7	29.7	29.0	28.8	28.2	24.3	25.2	29.9
67/68	29.6	29.9	28.6	27.3	29.2	29.5	29.8	26.8	24.8	24.8	24.8	25.7
68/69	28.2	30.4	32.3	31.0	32.0	31.6	31.5	28.5	27.0	25.9	26.3	28.2
69/70	31.1	27.2	28.5	29.4	29.9	28.9	30.1	28.8	28.0	26.0	24.5	25.9
70/71	26.9	28.7	28.7	31.1	32.0	31.9	31.6	29.1	25.9	23.8	25.7	28.0
71/72	28.1	29.0	29.7	29.3	30.1	29.1	31.3	27.6	27.7	28.4	24.9	25.8
72/73	27.7	28.3	29.6	31.0	31.8	32.8	31.0	30.9	26.7	27.4	26.2	26.2
73/74	27.3	28.7	29.6	30.2	29.6	32.5	29.1	28.4	26.7	23.9	26.7	27.7
74/75	30.5	28.9	30.7	27.6	30.6	30.5	31.6	28.4	26.2	25.7	24.8	30.8
75/76	30.9	28.9	28.3	30.1	30.2	28.2	29.3	27.0	24.1	24.5	23.3	25.2
76/77	24.7	28.1	29.9	29.3	29.9	32.8	31.4	27.3	26.2	25.0	28.4	28.5
77/78	28.8	31.2	29.5	28.5	31.4	32.1	30.3	29.2	25.6	25.0	25.7	26.3

TABELA 5 - Valores de médias mensais das temperaturas mínimas ($^{\circ}\text{C}$) de Bauru, SP, durante o período de setembro / 1963 a agosto / 1978.

Fonte: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA,
7 $^{\circ}$ Distrito.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
63/64	14.1	15.4	15.9	15.5	16.2	16.7	16.1	16.1	12.2	10.7	8.9	12.3
64/65	12.2	12.9	13.2	15.6	16.3	17.4	15.1	14.7	13.0	13.4	11.8	12.5
65/66	14.6	14.8	16.5	18.1	18.6	19.4	18.0	16.0	14.1	11.4	12.3	11.8
66/67	12.7	15.2	16.2	18.2	18.5	18.9	18.5	15.8	13.4	11.9	11.6	13.5
67/68	14.9	17.2	16.3	16.5	18.0	17.2	17.7	13.4	9.4	11.1	10.3	11.1
68/69	12.3	11.9	16.9	18.2	18.6	19.3	18.1	15.6	12.5	11.6	11.2	12.2
69/70	13.2	13.3	15.8	15.7	16.6	17.6	17.5	16.0	15.0	12.7	11.3	11.7
70/71	13.2	14.7	14.6	16.6	17.8	16.8	15.2	12.3	10.9	11.7	11.7	12.1
71/72	13.1	14.2	14.6	15.2	16.0	17.0	17.1	14.6	13.6	12.6	11.0	12.0
72/73	13.5	14.6	17.0	17.7	19.1	19.3	17.4	18.5	13.7	12.8	11.8	11.7
73/74	14.1	14.7	15.6	18.4	18.9	19.2	18.4	15.5	12.3	11.4	11.3	11.0
74/75	13.0	13.7	14.1	17.4	18.1	19.4	18.8	15.8	13.8	12.6	10.1	15.3
75/76	15.8	15.7	16.7	18.3	19.4	17.9	17.4	15.7	13.9	11.9	11.1	13.1
76/77	13.8	15.1	16.9	18.0	18.6	19.6	18.9	16.2	14.1	13.7	14.8	14.3
77/78	15.5	17.5	18.2	17.5	19.6	19.1	18.6	15.7	13.0	12.3	13.5	12.3

TABELA 6 - Estimativas mensais da energia líquida disponível (mm de evaporação equivalente) sobre a floresta, durante o período de setembro / 1963 a agosto / 1978.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
63/64	108.7	139.6	169.1	188.1	188.1	147.3	155.2	120.2	87.8	63.9	67.9	99.5
64/65	122.1	154.7	179.0	169.6	177.9	156.8	156.0	125.2	88.6	73.1	66.3	102.6
65/66	126.4	160.0	189.2	163.8	182.5	169.2	157.0	129.9	91.4	70.2	75.6	99.2
66/67	119.4	155.5	191.4	190.6	186.7	158.4	158.6	131.8	92.1	66.5	76.8	101.0
67/68	130.9	163.9	178.5	174.9	182.4	174.0	159.5	115.6	83.2	66.6	66.0	90.9
68/69	116.8	157.8	169.4	197.0	201.4	169.3	166.3	123.8	85.2	64.6	72.1	98.6
69/70	114.2	151.0	163.1	197.8	191.2	146.4	156.1	127.3	93.1	70.8	73.0	96.9
70/71	125.0	170.4	175.6	198.6	207.8	167.2	172.8	105.9	91.3	69.4	76.6	103.8
71/72	137.7	172.0	183.3	163.2	154.2	152.7	171.0	126.7	92.7	69.7	76.6	96.0
72/73	123.7	161.8	174.5	202.5	205.8	177.6	164.6	133.8	96.1	70.8	87.8	97.6
73/74	120.4	157.5	181.0	183.6	186.8	176.3	146.7	123.1	89.2	70.7	72.8	98.4
74/75	123.6	157.3	187.1	159.2	199.8	154.4	171.0	125.9	94.0	70.7	73.4	102.8
75/76	128.8	161.8	169.2	196.1	189.1	151.4	154.8	120.7	92.6	72.3	79.1	103.6
76/77	117.4	168.2	189.2	185.8	184.5	188.0	171.5	126.8	94.8	75.0	83.1	105.5
77/78	130.5	179.4	169.1	180.2	195.8	174.4	160.4	122.1	86.7	69.0	80.0	95.3

TABELA 7 - Estimativas mensais do déficit hídrico (mm), através dos índices térmicos de Thornthwaite, considerando-se a capacidade de armazenamento 300 mm para os dois metros do perfil de solo da floresta. Período de setembro / 1963 a agosto / 1978.

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
63/64	77.	19.	00.	50.	00.	00.	00.	16.	01.	06.	00.	10.
64/65	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	06.
65/66	06.	00.	00.	00.	00.	00.	09.	00.	12.	17.	16.	18.
66/67	11.	00.	21.	00.	00.	00.	00.	09.	20.	00.	11.	34.
67/68	00.	00.	00.	00.	00.	07.	10.	10.	13.	14.	19.	07.
68/69	34.	00.	50.	24.	00.	06.	00.	27.	33.	14.	20.	59.
69/70	51.	00.	00.	08.	00.	00.	00.	02.	06.	06.	12.	00.
70/71	01.	00.	05.	00.	02.	00.	00.	02.	00.	00.	00.	07.
71/72	05.	00.	08.	05.	00.	00.	10.	00.	00.	12.	00.	02.
72/73	00.	00.	00.	00.	00.	01.	07.	06.	00.	01.	03.	07.
73/74	02.	00.	05.	00.	00.	09.	00.	02.	06.	00.	04.	12.
74/75	17.	00.	14.	00.	00.	00.	00.	00.	04.	09.	03.	40.
75/76	43.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.
76/77	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	00.	05.	01.	14.	28.
77/78	15.	08.	02.	00.	03.	00.	00.	05.	00.	01.	00.	05.

3.2 - PREPARO DAS AMOSTRAS

3.2.1 - APLAINAMENTO, SECAGEM E CONDICIONAMENTO

Os discos originalmente com cerca de 8 cm de espessura, foram inicialmente secos ao ar para perderem as maiores parcelas de umidade e de resina. Atingida a situação de massa constante, estes foram manipulados em torno mecânico quando procurou-se deixar as duas faces rigorosamente paralelas e planas. Nessa operação reduziu-se a espessura inicial para 4,5 cm.

A seguir, as amostras foram levadas à estufa a $55 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante o período necessário para complementação da secagem. Depois disso, os discos foram finamente lixados até reduzir-se a espessura para 3,5 cm, mantendo-se o critério de faces homogeneamente planas e paralelas.

As amostras assim padronizadas, em espessura de 3,5 cm e característica de superfície, estavam prontas para o condicionamento final.

O condicionamento foi realizado mantendo-se as amostras em laboratório com umidade relativa e temperatura constantes de $55 \pm 5\%$ e $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Isto é exigido, pois a madeira é altamente higroscópica e sua umidade de equilíbrio residual é facilmente alterada pelas variações ambientais.

O ambiente de condicionamento das amostras foi obtido no laboratório, com o funcionamento contínuo de dois condicionadores de ar. A umidade relativa e a temperatura foram registradas através de termohigrógrafo.

Acompanhamento diário das amostras, mostraram que a partir da terceira semana de condicionamento, não existiam mais variações significativas de massa. Com base nos estudos de umidade da madeira realizados em condicionamento semelhante, por AGUIAR (1980), neste estágio o conteúdo de umidade da madeira atinge $\approx 10\%$. SCHWERINGRUBER *et alii* (1978), recomendam condicionamento em condições higroscópicas de 55% para que o conteúdo de umidade seja 10%.

3.2.2 - DATAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO

Paralelamente ao período de condicionamento, foi realizada uma datação preliminar em todas as amostras, pois os lenhos eram visivelmente distintos. Adotou-se como referencial para o processo de datação dos anéis, o ano da correspondente estação de crescimento anual a que eles pertenciam.

Assim, conforme ilustra a Figura 2, o último lenho formado foi datado como lenho tardio de 1977, pois é resultante do crescimento anual que se iniciou em 1977, apesar de ter sido formado em 1978 pelo calendário civil.

FIGURA 2 - Corte transversal de uma amostra de *Pinus oocar*
pa (D.A.P.), apresentando a datação dos anéis ,
e os raios marcados para avaliação da densidade.
Nas camadas de 1970 , 1973 e 1977 , podem ser
observados alguns dos falsos anéis.

A partir da casca para medula foram datadas, para todas as amostras, 15 anéis anuais de crescimento, como mostra o exemplo na Figura 2.

Seguramente nenhum anel esteve ausente, pois pelo exame de amostras da base do tronco, verificaram-se os anéis dos anos de 1961 e 1962.

A presença de alguns falsos anéis, extremamente finos, com colaboração mais branda, com uma localização geométricamente desapropriada dentro do crescimento anual e com periodicidade em quase todas as amostras, eram tão inconfundíveis que auxiliavam o processo de datação.

Na realidade, estes falsos anéis em virtude de suas características, poderiam ser chamados de variações intra anuais de densidade, termo proposto por SCHWEINGRUBER (1980), para denominar os falsos anéis perceptíveis em certas zonas da Europa.

Frequentemente, coníferas jovens crescendo em solos arenosos e profundos podem apresentar numerosos falsos anéis na madeira juvenil, correspondendo a períodos intermitentes de seca e chuva durante uma única estação de crescimento (BROWN, 1978).

3.3 - DENSIMETRIA

3.3.1 - ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA

A atenuação de um feixe monoenergético de radiação gama por um absorvedor é regido pela lei de Lambert-Beer, representada pela expressão:

$$I = I_0 e^{-\mu \rho x} \quad (2)$$

sendo I_0 a intensidade do feixe de radiação gama na ausência do absorvedor, I a intensidade do feixe após passar pelo absorvedor de espessura x (cm) e densidade ρ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), o termo μ é o coeficiente de atenuação de massa ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) cujo valor depende do absorvedor e da energia da radiação gama.

Considerando-se uma amostra de madeira, com umidade abaixo do ponto de saturação das fibras, a equação 2 deve ser reescrita levando-se em conta a atenuação devido a água. Segundo AGUIAR (1980), para umidade em volume $< 30\%$, pode-se escrevê-la na forma:

$$I = I_0 \exp - \left[x \left(\mu_m d_m + \mu_w u \frac{d_m}{d_a} \right) \right] \quad (3)$$

onde μ_m e μ_w representam os coeficientes de atenuação de massa ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) da madeira e da água respectivamente, d_m a densidade da madeira ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), d_a a densidade da água adsorvida na parede celular ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e u a umidade da madeira

($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$). Experimentalmente AGUIAR *et alii* (1980), mostraram que a densidade da água adsorvida está relacionada à umidade da madeira pela equação:

$$d_a = \sqrt{(1,021 + 1,599 u^{-1})} \quad (4)$$

Então, explicitando-se a densidade da madeira, da equação 3, tem-se:

$$d_m = \frac{\ln(I_o / I)}{x (u \mu_w / d_a + \mu_m)} \quad (5)$$

Para o cálculo da densidade da madeira, foi considerado também a correção devido ao tempo morto de resposta do sistema eletrônico de detecção. Com essa correção a equação 5 resulta em:

$$d_m = \ln \left(\frac{\frac{I_o}{1 - \tau I_o}}{\frac{I}{1 - \tau I}} \right) \cdot \frac{1}{x (u \mu_w / d_a + \mu_m)} \quad (6)$$

sendo $\tau = 5 \times 10^{-6}$ segundos para o espectrômetro monocanal utilizado (FERRAZ, 1974).

3.3.2 - FONTE RADIOATIVA, COLIMAÇÃO E EQUIPAMENTOS

Como emissor de radiação gama foi utilizada uma fonte de ^{241}Am , com atividade de 100 mCi, sendo usados os raios gamas de 59,6 keV, com intensidade de emissão de 36% (LEDERER *et alii*, 1967).

Este radioisótopo, apresenta uma região livre de interferências de outras radiações gama, desde a energia de 40 até 80 keV, permitindo então o uso de detectores de cristal cintilador de NaI (Tl) os quais possuem alta eficiência mas limitado poder de resolução (FERRAZ e MANSELL, 1979).

O sistema de colimação feito em chumbo, permite a obtenção de um feixe de 3 mm de diâmetro na sua secção. A distância entre a fonte e o detector é de 11 cm e o percurso do feixe de radiação em cada colimador é de 3 cm. A geometria do sistema colimador pode ser visualizada na Figura 3. Entre os colimadores há uma plataforma de apoio para as amostras, que podem ser comandada por um par de eixos posicionadores, os quais permitem movimentos na horizontal e na vertical.

Nesta mesma figura, pode-se visualizar o posicionamento da amostra para análise e o espectrômetro gama monocal constituido por:

- Cristal cintilador de NaI (Tl) de 2 x 1/4 polegadas, tipo plano, acoplado à fotomultiplicadora e divisor de tensão.

FIGURA 3 - Vista geral do sistema colimador, equipamentos utilizados e posicionador da amostra.

Ponte de alta voltagem D. C. Hewlett Packard, modelo 6110A.

- Pré-amplificador Hewlett Packard, modelo 5554A.
- Amplificador Linear Hewlett Packard, modelo 5582A.
- Analisador de pulsos Hewlett Packard, modelo 5583A.
- "Scaler / timer" Hewlett Packard, modelo 5590A.

A detecção dos raios gamas de 59,6 keV do ^{241}Am foi feita posicionando-se o analisador de pulsos na região do fotópico, registrando-se os pulsos de 4,5 a 7,5 volts de amplitude. Nesta região obteve-se em média as taxas de 20.000 e 40.000 contagens por minuto, com e sem amostras respectivamente e uma taxa de radiação de fundo de 150 contagens por minuto.

3.3.3 - PERFIL RADIAL DE DENSIDADE

Os levantamentos dos perfis radiais de densidade das amostras, foram realizados segundo a técnica descrita, por FERRAZ (1976). Os coeficientes de atenuação de massa para madeira e água, foram obtidos segundo a técnica descrita por AGUIAR (1980), conseguindo-se os seguintes valores:

$$\mu_w = 0,2044 \quad (\text{água})$$

e

$$\mu_m = 0,1910 \quad (\textit{Pinus oocarpa}).$$

A espessura das amostras foi determinada individualmente, com paquímetro de precisão 2×10^{-3} cm, nos quatro raios previamente marcados após elas terem atingido o equilíbrio de umidade.

Para a análise de densidade ponto por ponto, as amostras foram fixadas na plataforma dos posicionadores (Figura 3). Através dos posicionadores vertical e horizontal, alinhou-se o centro da medula com o centro das colimadores. A partir daí, fez-se uma série de medidas, nas orientações norte-sul e leste-oeste, em pontos igualmente espaçados de um milímetro, deslocando-se a amostra pelo posicionador horizontal no sentido medula-casca.

Em cada ponto, foi tomado o valor da intensidade I do feixe atenuado pela amostra, após 30 segundos de contagem. Ao final da passagem de cada raio, a intensidade do feixe incidente I_0 foi avaliada por três minutos, sendo tomado o valor de média para 30 segundos.

Substituindo-se as referidas taxas de contagem na equação 6 e considerando-se a umidade de 10% em volume ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), foi calculada a densidade (d_m) da madeira ponto a ponto e com isso foram elaborados os perfis da densidade de cada raio das amostras.

A Figura 4.A mostra um exemplo do perfil de densidade do raio sul da amostra nº 6. O trecho segmentado

FIGURA 4 - A) Perfil de densidade da árvore n° 6 ; raio sul, com a curva de crescimento ajustada.

B) Índices de densidade estandardizados de 4.A.

Como a medula foi desprezado, para todas as amostras, pois elas apresentavam nesta região, uma estrutura parenquimatosa, não lignificada. Por esta razão, o perfil de densidade ficou considerado a partir da transição do lenho inicial para o tardio de 1963.

3.4 - ESTATÍSTICA DA DENSIDADE E DOS DADOS CLIMÁTICOS

3.4.1 - ESTANDARDIZAÇÃO

Uma vez que os perfis de densidade das amostras de *Pinus oocarpa* apresentaram uma tendência crescente com o aumento da idade das árvores, tornou-se necessário remover esta influência a fim de se poder relatar corretamente as flutuações de densidade em relação as variações climáticas.

O procedimento capaz de estimar e remover as tendências associadas ao aumento de idade das árvores é chamado de estandardização. Isto é realizado, pelo ajustamento computado de uma linha ou curva de regressão sobre a série de dados de cada raio e o valor dos dados é dividido pelo correspondente valor na curva ajustada, obtendo-se o valor estandardizado ou um índice.

Os detalhes deste processo, suas vantagens, problemas e as diversas formas de ajuste de curvas foram discutidos

das por FRITTS (1976 , p. 25 , 261-281).

Segundo HUGHES *et alii* (1980) a standardização pela divisão do valor real pelo valor calculado na curva de crescimento, pode ser mais apropriada para os dados de largura dos anéis. Os dados de densidade, podem somente requerer a computação das diferenças, desde que a variância da linha de densidade não apresente alterações através do tempo. Contudo a estabilização da densidade só ocorre na idade adulta das árvores.

Como os pontos da densidade eram igualmente espaçados e em grande número para cada raio, as curvas de crescimento foram ajustadas com senso no método dos quadrados mínimos, por polinômios ortogonais.

O uso de equações polinomiais para o ajuste da curva de crescimento de árvores tem sido amplamente discutido (FRITTS, 1976 ; CONKEY, 1979 ; HUGHES *et alii*, 1980), tanto pelo forçamento estatístico destes ajustes, o qual pode remover informações climáticas quando se adicionam os coeficientes, como por elas nem sempre representarem a curva biológica do crescimento das árvores. Entretanto, com alguns cuidados, os polinômios tem sido extensivamente usados.

Para que não houvessem riscos de serem removidas as informações climáticas pela adição dos coeficientes, adotou-se um critério de variância, de forma que, após a computação de cada grau, a variância era desenvolvida e somente

quando a diferença entre duas sucessivas variâncias fosse maior que o especificado critério adotado, um novo grau de polinômio era aceito. Com base em FRITTS (1976 , p. 264) adotou-se como 5% o critério de variância.

Paralelamente a cada curva de crescimento ajustada como no exemplo da Figura 4.A ; as séries de dados de densidade foram estandardizadas pela divisão. Com isso, o perfil de densidade de cada raio foi transformado em uma série de índices de densidade, como mostra o exemplo da Figura 4.B, exibindo média 1,0 e uma variância que é independente da idade da árvore e mais homogênea com respeito ao tempo (MATALAS, 1962 , conforme FRITTS, 1976 , p. 260).

Devido ao fato de, apenas 9 dos 100 raios terem exigido a computação de polinômios de 2º grau e não terem sido satisfatoriamente ajustados com o 1º grau eles foram desprezados. Pois, a percentagem de variância explicada pelo 1º grau não era significativa e ficava abaixo da média dos outros 91 ajustes lineares. Nas amostras, esses raios eram os mais curtos e ocorriam quando a medula era excêntrica.

Pela comparação dos perfis dos gráficos estandardizados com as amostras correspondentes, a datação dos anéis foi exatificada.

3.4.2 - CRONOLOGIA MÉDIA

Das séries de índices de densidade, estandardizadas pelo ajustamento linear, tirou-se a média aritmética dos respectivos valores de máxima e também de mínima densidade, para se obter a cronologia média (média dos índices estandardi-zados).

A média de todas as árvores proporciona uma melhor relação com o clima, porque a variação do crescimento que é associada com a variação climática, a qual é comum em todas as árvores é preservada quando tais médias são feitas. Por outro lado, uma grande parte dos efeitos não climáticos, os quais diferem entre árvores e de um local para outro, é minimizado pelo processo da média. Desta forma a relação sinal (fatores climáticos) - ruído (fatores não climáticos) pode ser maximizada (FRITTS, 1976).

Através do processo reverso ao que deu origem a estandardização, ou seja, pelo produto dos valores dos índices da cronologia média contra os valores da linha do ajustamento polinomial médio, o qual foi obtido pela média aritmética dos coeficientes dos polinômios, pode-se estimar o perfil médio do crescimento radial de densidade da população, não obstante com parte dos fatores não climáticos reduzidos.

A série de dados da cronologia média e da cronologia de cada raio, representa a sequência dos eventos em

função do tempo. Portanto, é necessário, que certas características estatísticas dessas séries sejam conhecidas.

Foram avaliadas as características estatísticas sensibilidade média, autocorrelação de 1.^a ordem e a intercorrelação, descritas por JOHNSON e RISSER (1973) e FRITTS (1976).

A sensibilidade média, que é uma medida das mudanças relativas dos índices de densidade de um ano para o próximo, indica se as árvores são sensíveis às variações climáticas.

A autocorrelação de 1.^a ordem, estima a dependência dos índices da densidade de um ano em relação ao outro, ou seja, é uma medida da tendência de um ano de alta densidade, ser seguido por um ano de alta densidade ou um de baixa, ser seguido por um de baixa.

A intercorrelação, calculada pela média dos coeficientes de correlação de todas as possíveis regressões simples entre, os índices da cronologia média e os da cronologia de cada raio, é uma medida da homogeneidade das amostras.

3.4.3 - REGRESSÃO APÓS A EXTRAÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Os 15 índices, relativos à máxima densidade da série de 15 anos da cronologia média, foram utilizados como a

variável dependente em uma regressão linear múltipla, denominada função de resposta (*response function*).

O objetivo da função de resposta na dendroclimatologia é analisar a influência mensal dos parâmetros climáticos no crescimento anual das árvores.

Segundo HUGHES *et alii* (1980), a função de resposta não mede a resposta crescimento-clima, mas a efetividade de um particular modelo estatístico, como estimador das variações dos elementos dos anéis de crescimento, forçadas pelos fatores externos.

O método utilizado para o cálculo da função de resposta, foi baseado no modelo descrito por FRITTS (1971.b, 1976). Entretanto, difere no número de variáveis climáticas anuais usadas para predizer as funções de resposta e na forma estatística de seleção das variáveis.

O conjunto de observações das médias mensais de precipitação, temperatura média, máxima e mínima, estimativa mensal da energia líquida e do déficit hídrico foi transformado em variáveis reduzidas da seguinte maneira:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, 15 \\ j = 1, \dots, 12 \end{array} \quad (7)$$

onde, $\bar{x}_j$ é a média e s_j o desvio padrão dos dados mensais x_{ij} . Isto foi realizado para que todas as variáveis ficassem adimensionais.

As variáveis reduzidas ordenadas em doze meses (setembro a agosto), foram arranjadas de forma a se obter um novo conjunto constituído por seis matrizes F_n^m , sendo $m = 12$ o número de variáveis climáticas (meses) e $n = 15$ o número de observações (anos), conforme as Tabelas 8 a 13.

Pelo fato do número de observações ser pequeno e a análise de componentes principais requerer $n \geq m$, as variáveis foram analisadas separadamente e para cada uma foi determinada a função de resposta. Esta análise foi semelhante para todas as variáveis, portanto, será descrita de maneira singular e na mesma notação usada por FRITTS (1971.b, 1976).

Os dados da matriz F_n^m foram submetidos a rotina do programa componentes principais I.B.M. (1967). O processo computacional envolvido na análise dos componentes principais, consiste em se obter a partir da matriz de correlação, os autovalores ⁽¹⁾ os quais dão as variâncias dos componentes e os associados autovetores ⁽²⁾, dos quais decorrem as combinações lineares das variáveis climáticas. Essas combinações lineares, tem duas propriedades estatísticas desejáveis, ou seja, são ordenadas decrescentemente segundo suas variâncias e são ortogonais entre si. Ademais a variância total do conjunto fica inalterada.

(1) Raízes características ou latentes.

(2) Vetores característicos ou latentes.

TABELA 8 - Variáveis reduzidas da precipitação, no período de setembro / 1963
a agosto / 1978 , arranjadas em uma matriz 12^F_{15} .

	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
S	-1.232	+1.700	-.014	-.459	+ .910	-1.409	-.636	+ .015	-.321	+1.123	+ .162	-.589	-.920	+1.877	-.205
O	-.856	+ .766	-.036	+ .687	+ .175	-.468	+ .091	-.763	-.765	+3.095	-.140	+ .062	-.542	-.532	-.771
N	+ .074	-.332	+ .574	-.843	+ .410	-1.095	+ .488	-.570	-.781	+ .282	-.338	-.756	+3.073	+ .002	-.077
D	-1.245	+1.861	-.030	+ .327	-.090	-1.097	-1.067	-.579	-.984	-.235	+ .957	+1.296	-.429	-.211	+1.528
J	-.315	+1.659	-1.074	+ .409	+ .594	-.604	+ .963	-.903	+1.803	-.894	-.295	-.773	+ .504	+ .616	-1.200
F	+1.837	+ .538	+ .106	+ .160	-1.398	-.698	+1.788	-.410	+ .860	-.581	-1.303	-.292	+ .698	-.712	-.643
M	-.281	+ .061	-1.053	-.149	-.705	-.336	+ .102	+ .072	-.994	-.747	+3.219	+ .013	+ .416	+ .179	+ .262
A	-1.541	+ .197	+ .631	-1.300	-.669	-.495	-.402	-.551	+1.232	+ .732	-.466	+1.261	+ .284	+1.894	-.856
M	-.121	+ .839	-.723	-1.116	-.916	-.771	-.127	+ .159	+ .867	+1.074	-.612	-.849	+1.602	-1.040	+1.906
J	-.515	-.200	-1.049	+ .358	-.503	-.345	-.431	+1.468	-1.059	+ .259	+2.517	-.973	+ .547	+ .031	-.604
J	-.070	+ .428	-.651	-.723	-.899	-.506	-.802	+ .299	+1.508	-.147	-1.051	-.246	+ .855	-.563	+2.541
A	+ .415	-.709	-.026	-.864	+ .605	-.636	+1.480	-.864	+ .591	+ .089	-.321	-.864	+2.576	-.615	-.795

TABELA 9 - Variáveis reduzidas das temperaturas médias, no período de setembro / 1963 a agosto / 1978 , arranjadas em uma matriz 12×15 .

	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
S	+2.042	- .086	+ .826	-1.150	+ .293	- .694	+ .674	-1.074	- .542	- .390	- .466	+ .598	+1.282	-1.682	+ .370
O	+1.599	-1.529	- .382	+ .139	+1.390	- .069	-1.633	- .173	- .173	+ .243	- .173	- .278	+ .139	- .903	+1.807
N	+1.037	-2.166	+ .488	+ .276	- .785	+1.975	- .467	- .998	- .573	+ .594	+ .063	+ .169	- .679	+ .382	+ .382
D	+ .115	-1.721	+ .007	+1.087	-1.613	+1.087	- .533	+1.087	- .316	+1.411	+ .439	-1.073	+ .763	+ .007	- .749
J	- .472	-1.938	+ .138	- .594	- .961	+1.115	- .594	+1.360	- .716	+1.726	- .228	- .350	+ .260	+ .016	+1.238
F	-1.170	-1.000	+ .448	- .318	- .914	+ .789	- .829	+ .193	-1.085	+1.471	+1.130	+ .363	-1.255	+1.557	+ .619
M	- .964	-2.557	- .473	- .596	- .351	+ .874	+ .016	+ .261	+ .874	+ .506	- .228	+1.364	- .351	+1.364	+ .261
A	+1.126	- .367	- .273	+ .099	-2.048	- .180	+ .286	- .273	- .273	+2.714	+ .006	+ .099	- .647	- .460	+ .193
M	- .979	- .221	+ .158	+ .821	-2.591	+ .158	+1.580	- .695	+1.200	+ .632	+ .063	+ .158	- .600	+ .537	- .221
J	-1.527	+ .474	- .415	- .971	+ .474	- .081	+ .697	- .860	+2.143	+1.587	- .971	+ .140	- .749	+ .363	- .304
J	-2.009	- .255	+ .462	- .175	- .813	+ .223	- .334	+ .223	- .175	+ .542	+ .861	- .892	- .813	+2.375	+ .781
A	+ .197	+ .342	- .741	+1.136	-1.103	+ .414	-1.681	+ .269	- .452	- .597	- .091	+2.365	- .597	+ .992	- .452

TABELA 10 - Variáveis reduzidas das temperaturas máximas, no período de setembro/1963 a agosto / 1978 , arranjadas em uma matriz 12×15 .

	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
S	+1.933	+ .521	+ .653	- .751	+ .256	- .374	+ .993	- .987	- .421	- .609	- .798	+ .710	+ .899	-2.024	- .091
O	+1.927	- .990	- .658	+ .254	+ .669	+1.084	-1.571	- .326	- .077	- .658	- .326	- .160	- .160	- .824	+1.748
N	+1.826	- .864	+ .390	- .027	- .943	+2.147	-1.032	- .864	- .027	- .111	- .111	+ .808	-1.199	+ .139	- .125
D	+1.595	- .912	-1.055	+ .735	-1.628	+1.022	- .124	+1.093	- .195	+1.022	+ .449	-1.413	+ .377	- .195	- .769
J	+ .930	-1.509	- .435	- .723	-1.216	+1.516	- .533	+1.516	- .338	+1.320	- .826	+ .149	- .240	- .533	+ .930
F	- .748	- .812	- .174	- .557	- .685	+ .655	-1.067	+ .846	- .940	+1.421	+1.229	- .046	-1.514	+1.421	+ .974
M	- .274	-1.937	- .739	-1.061	- .361	+1.126	- .099	+1.213	+ .951	+ .688	- .974	+1.213	- .799	+1.033	+ .075
A	+1.445	+ .191	- .704	+ .280	-1.511	+ .011	+ .280	+ .549	- .794	+2.162	- .077	- .077	-1.332	-1.063	+ .639
M	- .983	- .383	- .468	+1.675	-1.240	+ .646	+1.503	- .297	+1.246	+ .388	+ .388	- .040	-1.840	- .040	- .554
J	- .706	+ .157	+ .638	- .863	- .471	+ .392	+ .471	-1.256	+2.355	+1.570	-1.177	+ .235	- .706	- .314	- .314
J	-1.565	- .659	+ .699	- .130	- .432	+ .699	- .659	+ .246	- .357	+ .624	+1.001	- .432	-1.565	+2.284	+ .246
A	+ .647	+ .340	- .274	+1.509	-1.074	+ .463	- .951	+ .340	-1.012	- .766	+ .155	+2.062	-1.382	+ .647	- .785

TABELA 11 - Variáveis reduzidas das temperaturas mínimas, no período de setembro / 1963 a agosto / 1978 , arranjadas em uma matriz 12^F_{15} .

	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
S	+ .334	-1.339	+ .730	- .942	+1.064	-1.307	- .486	- .486	- .577	- .212	+ .334	- .669	+1.885	+ .060	+1.612
O	+ .457	-1.241	+ .049	+ .321	+1.631	-1.921	- .969	- .018	- .358	- .086	- .018	- .697	+ .661	+ .253	+1.885
N	- .030	-2.072	+ .450	+ .230	+ .307	+ .767	- .076	- .997	- .997	+ .844	- .230	-1.381	+ .614	+ .767	+1.755
D	-1.338	-1.312	+ .836	+ .922	- .533	+ .922	-1.226	- .452	-1.656	+ .492	+1.094	+ .234	+1.008	+ .750	+ .320
J	-1.522	-1.438	+ .435	+ .481	- .016	+ .485	-1.187	- .184	-1.689	+ .903	+ .736	+ .066	+1.154	+ .485	+1.321
F	-1.466	- .632	+ .977	+ .525	-1.013	+ .887	- .651	-1.375	-1.194	+ .887	+ .796	+ .977	- .380	+1.158	+ .706
M	-1.173	-1.999	+ .336	+ .809	+ .143	+ .479	- .016	-1.917	- .347	- .099	+ .727	+1.057	- .099	+1.140	+ .892
A	+ .463	- .550	+ .391	+ .246	-1.491	+ .101	+ .391	-2.283	- .622	+2.201	+ .028	+ .246	+ .173	+ .535	+ .173
M	- .564	+ .004	+ .787	+ .239	-2.557	- .351	+1.428	-1.490	+ .431	+ .503	- .493	+ .574	+ .645	+ .787	+ .004
J	-1.674	+1.509	- .849	- .259	-1.203	- .613	+ .684	- .495	+ .566	+ .802	- .849	+ .566	- .259	+1.863	+ .212
J	-1.899	+ .208	+ .571	+ .062	- .331	- .227	- .155	+ .135	- .373	+ .208	- .155	-1.027	- .300	+2.389	+1.444
A	- .137	+ .034	- .566	+ .893	-1.168	- .223	- .652	- .309	- .395	- .652	-1.254	+2.439	+ .549	+1.580	- .137

TABELA 12 - Variáveis reduzidas da energia líquida disponível, no período de setembro / 1963 a agosto / 1978 , arranjadas em uma matriz 12×15 .

	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
S	-1.950	-.127	+.456	-.425	+1.063	-.848	-1.202	+.266	+1.993	+.039	-.359	+.076	+.783	-.766	+1.014
O	-2.215	-.631	-.076	-.548	+.332	-.306	-1.012	+1.014	+1.182	+.112	-.338	-.359	+.112	+.783	+1.957
N	-.979	+.122	+1.272	+1.520	+.066	-.959	-1.670	-.260	+.607	-.384	+.348	+1.035	-.982	+1.272	-.993
D	+1.220	-.293	-1.361	+.494	-.593	+.937	+.992	+1.048	-1.403	+1.387	+.009	-1.680	+.874	+.161	-.226
J	-.053	-.641	-.490	-.170	-.498	+.950	+.172	+1.438	-2.648	+1.285	-.162	+.838	+.012	-.338	+.523
F	-1.339	-.537	+.333	-.461	+.773	+.401	-1.410	+.235	-.912	+1.053	+.955	-.777	-1.015	+1.331	+.805
M	-.005	-.702	-.573	-.366	-.249	+.629	-.689	+1.469	+1.236	+.409	-1.904	+1.236	-.857	+1.301	-.133
A	-.615	+.137	+.877	+1.155	-1.220	-.017	+.495	-2.643	+.407	+1.449	-.120	+.250	-.472	+.422	-.266
X	-.755	-.538	+.220	+.410	-2.002	-1.460	+.681	+.193	+.573	+1.494	-.375	+.925	+.545	+1.142	-1.052
J	-1.349	+1.160	+.211	-.998	-.966	-1.620	+.407	-.050	+.047	+.407	+.375	+.375	+.898	+1.781	-.181
J	-1.382	-1.489	+.076	+.275	-1.519	-.505	-.355	+.242	+.242	+2.104	-.388	-.289	+.658	+1.323	+.807
A	+.013	+.813	-.063	+.400	-2.204	-.213	-.657	+1.123	-.889	-.476	-.270	+.865	+1.071	+1.561	-1.059

TABELA 13 - Variáveis reduzidas do déficit hídrico, no período de setembro /
1963 a agosto / 1978, arranjadas em uma matriz $12^F 15$.

	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78
S	+2.545	-.746	-.420	-.276	-.746	+ .706	+1.433	-.703	-.532	-.746	-.661	-.619	+1.091	-.746	-.105
O	+3.317	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	-.347	+1.195
N	-.521	-.521	-.521	+1.043	-.521	+3.205	-.521	-.149	+ .074	-.521	-.149	+ .521	-.521	-.521	-.372
D	+3.206	-.420	-.420	-.420	-.420	+1.320	+ .159	-.420	-.058	-.420	-.420	-.420	-.420	-.420	-.420
J	-.370	-.370	-.370	-.370	-.370	-.370	-.370	+1.852	-.370	-.370	-.370	-.370	-.370	-.370	+2.963
F	-.499	-.499	-.499	-.499	+1.782	+1.456	-.499	-.499	-.499	-.173	+2.434	-.499	-.499	-.499	-.499
M	-.575	-.575	+1.582	-.575	+1.621	-.575	-.575	-.575	+1.821	+1.102	-.575	-.575	-.575	-.575	-.575
A	+1.339	-.686	-.686	+ .436	+ .617	+2.834	-.426	-.426	-.686	+ .095	-.426	-.686	-.686	-.686	-.686
M	-.599	-.705	+ .564	+1.411	+ .670	+2.737	-.070	-.705	-.705	-.705	-.070	-.282	-.705	-.176	-.705
J	+ .096	-.866	+1.861	-.866	+1.380	+1.380	+ .096	-.866	+1.059	-.706	-.866	+ .577	-.866	-.706	-.706
J	-.889	-.889	+1.203	+ .549	+1.535	+1.726	+ .680	-.889	-.889	-.497	-.366	-.497	-.889	+ .941	-.889
A	-.330	-.563	+ .136	+1.068	-.505	+2.526	-.913	-.505	-.796	-.505	-.213	+1.418	-.913	+ .719	-.621

A primeira propriedade, pode permitir uma redução no número de variáveis climáticas, enquanto a ortogonalidade é exigida para dar estabilidade aos coeficientes de regressão em sistemas com alta correlação interna, como é o caso das variáveis climáticas.

Dos componentes obtidos, os menos importantes, aqueles com uma percentagem de variância não significativamente diferente de zero ($< 1\%$), foram rejeitados, por trazerem imprecisão aos coeficientes de regressão (BERGER *et alii*, 1979). Tomando-se então, os mais importantes componentes principais, designou-se a matriz de autovetores por $E_{m \ p}$, sendo os subscritos m e p , o número de variáveis climáticas e o número de componentes principais, respectivamente.

A matriz de escores X foi obtida por:

$$X_{p \ n} = E'_{p \ m} F_{m \ n} \quad (8)$$

onde, o apóstrofo designa a matriz transposta dos autovetores e os subscritos são os mesmos definidos anteriormente:

$$m = 12, \quad n = 15 \quad \text{e} \quad p = 1, \dots, 10.$$

As variáveis da matriz de escores, são ortogonais e contêm a porção significativa das variâncias dos dados climáticos originais. Essas novas variáveis, foram usadas numa análise de regressão passo a passo, como variáveis independentes, na estimativa dos 15 índices de máxima densidade da cronologia média.

A estimativa dos índices da cronologia média pode ser escrita como:

$${}_1\hat{P}_n = {}_1R_p X_n \quad (9)$$

onde os P são os valores estimados dos índices de máxima densidade e os R os coeficientes de regressão múltipla significativos.

A ortogonalidade dos dados da matriz de escores, permite que os coeficientes de regressão sejam obtidos de forma sistemática e eficiente.

Substituindo-se a equação (8) em (9), temos:

$${}_1\hat{P}_n = {}_1R_p E'_m F_n = {}_1T_m F_n \quad (10)$$

onde,

$${}_1T_m = {}_1R_p E'_m \quad (11)$$

sendo T a função de resposta, com os m elementos representando a magnitude da resposta dos índices de máxima para cada variável climática. Em outras palavras, os doze elementos de T , podem ser considerados pesos que se atribui a cada variável climática na composição da estimativa dos P .

Visto que, os elementos da função da resposta são associados com as variáveis climáticas originais, equação (10), e não com os escores, cada elemento pode ser diretamente interpretado em termos de anomalias das variáveis climáticas.

Os intervalos de confiança dos elementos da função de resposta, foram obtidos a partir dos erros padrão dos coeficientes R da regressão múltipla, pela seguinte transformação:

$$S_m = E_p U_p U_p' E_m \quad (12)$$

onde, U é a matriz diagonal dos erros padrão dos elementos de R e S é uma matriz simétrica, onde os elementos da diagonal são o quadrado dos erros padrão dos elementos de T .

Os desejados intervalos de confiança foram obtidos, multiplicando-se cada elemento da diagonal da matriz S pelo valor apropriado de F com v_1/v_2 graus de liberdade, tomando-se depois a raiz quadrada. Aqui, $v_1 = 1$ e $v_2 = n - 2 - k$ sendo, $n = 15$ (observações) e $k = 1, \dots, p$ o número de coeficientes significativos da regressão.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - ESTANDARDIZAÇÃO E CRONOLOGIA MÉDIA

Os ajustes das curvas de crescimento de densidade por polinômios ortogonais foram altamente significativos e permitiram a seleção das amostras.

No caso das amostras com medula exêntrica, observou-se que os raios mais curtos, geralmente requerem um ajuste polinomial de 2º grau. Contudo, se o ajuste for linear, a curva de crescimento apresenta um coeficiente angular maior que os dos raios normais e um baixo nível de significância. Essa tendência no perfil de densidade das amostras com medula exêntrica, ocorre devido ao estreitamento dos anéis de crescimento, gerado por uma forte assimetria circular a partir de uma certa idade. As densidades máximas e mínimas são as mesmas

para todos os raios, porém, as menores larguras dos anéis causam uma defassagem no perfil de densidade e mudam o comportamento da curva de ajuste.

As mudanças bruscas na largura dos anéis, forçando o ajustamento estatístico e também os problemas de madeira de reação, foram os motivos para negligenciar esses raios das análises.

A Figura 5.A , mostra a cronologia média, donde derivaram os 15 índices correspondentes à máxima densidade os quais foram usados nas funções de respostas como a variável dependente.

Através do perfil de cronologia média verifica-se, para o período 1966-1971, a ocorrência de marcantes flutuações na densidade e um decréscimo sistemático a partir de 1973. Especialmente interessantes são os lenhos tardios das estações de 1967 e 1968 , pois além de estreitos, apresentam densidade baixa em relação aos seus vizinhos. É pouco provável, que essa anomalia nos lenhos tardios de 1967 e 1968 seja devida à competição entre as árvores, note que, o lenho tardio de 1969, não apresenta esta característica e foi formado sob competição até mais severa. Conforme dados da Tabela 1 , o primeiro desbaste só ocorreu no início da estação de crescimento de 1970 , onde justamente a densidade do lenho inicial se mostra mais alta.

FIGURA 5 - A) Cronologia média, obtida pela média aritmética dos índices de máxima e mínima densidade de todos os raios;

B) Perfil médio da densidade, obtido de 5.A, representando o crescimento potencial das árvores de *Pinus oocarpa*.

Por outro lado, através da cronologia média, o sinal climático foi maximizado e os desbastes seletivos e demais fatores foram minimizados. Dessa forma, pode-se considerar que as flutuações dos índices de densidade são devidas aos fatores climáticos.

A Figura 5.B mostra a estimativa do perfil médio de densidade da população, sendo a linha de regressão, a média de todos os coeficientes polinomiais de primeiro grau. Este gráfico pode ser considerado como o padrão de crescimento potencial de densidade radial das árvores de *Pinus oocarpa*.

As características estatísticas dos índices de máxima densidade são as seguintes:

Sensitividade média	0,06
Autocorrelação de 1. ^a ordem	0,05
Intercorrelação	0,74

O valor encontrado para a sensibilidade média é baixo, porém, superior aos valores encontrados por SCHWEINGRUBER *et alii* (1978) para *Pinus cembra* e *Larix decidua* na Suíça. Apesar da sensibilidade média ser baixa, a quantidade de informações climáticas contida na máxima densidade dos lenhos tardios parece ser grande, como sugerem as flutuações na cronologia média.

O baixo valor da autocorrelação de 1.^a ordem, indica que a densidade máxima dos lenhos tardios não depende da densidade do ano anterior, portanto, nem do clima do ano anterior.

Por outro lado, a intercorrelação revela que as árvores de *Pinus oocarpa* respondem de forma homogênea às variações ambientais.

4.2 - REGRESSÃO APÓS A EXTRAÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Os resultados das análises dos componentes principais para precipitação, temperaturas, média, máxima e mínima, energia líquida e para o déficit hídrico, assim como as correlações desses com a variável dependente, encontram-se nas Tabelas 14 a 19.

Quando as variáveis são ortogonais, o critério de seleção na regressão múltipla passo a passo é dado pelos coeficientes de correlação, ou seja, a regressão passo a passo fica reduzida a uma forma de regressão univariante. Como as variáveis independentes são variáveis reduzidas, o termo constante da regressão será igual em todos os casos, sendo seu valor a média dos dados que compõe a variável dependente. Portanto, os coeficientes de correlação indicam a prioridade de entrada dos componentes principais na regressão.

TABELA 14 - Resultado da análise dos componentes principais da precipitação
 (* indicam os componentes usados na função de resposta).

Componentes principais	Autovalores	% de variância explicada	% de variância acumulada	Coefficiente de correlação
1	3.01	25.1	25.1	- .2347 *
2	2.07	17.2	42.3	.2047 *
3	1.88	15.6	57.9	.0830
4	1.69	14.1	72.0	- .1356
5	1.10	9.2	81.2	- .0256
6	0.85	7.1	88.3	- .4796 *
7	0.53	4.4	92.7	.1610
8	0.44	3.7	96.4	- .5611 *
9	0.28	2.3	98.7	.2556 *
10	0.12	1.0	99.7	- .2395 *
11	0.02			
12	0.01			

TABELA 15 - Resultado da análise dos componentes principais da temperatura média (* indicam os componentes usados na função de resposta).

Componentes principais	Autovalores	% de variância explicada	% de variância acumulada	Coeficiente de correlação
1	3.98	33.2	33.2	- .0644
2	2.47	20.6	53.8	.0460
3	1.48	12.3	66.1	.6245 *
4	1.21	10.1	76.2	- .5602 *
5	0.99	8.3	84.5	.1035
6	0.60	5.0	89.5	.0849
7	0.53	4.4	93.9	.0090
8	0.36	3.0	96.9	- .0746
9	0.20	1.6	98.5	.2628 *
10	0.08	0.7	99.2	
11	0.05			
12	0.02			

TABELA 16 - Resultado da análise dos componentes principais da temperatura máxima (* indicam os componentes usados na função de resposta).

Componentes principais	Autovalores	% de variância explicada	% de variância acumulada	Coeficiente de correlação	
1	3.58	29.8	29.8	.0955	
2	2.59	21.6	51.4	-.0167	
3	1.57	13.1	64.5	.3902	*
4	1.27	10.6	75.1	.6540	*
5	1.17	9.9	85.0	.2529	*
6	0.62	5.2	90.2	-.0449	
7	0.56	4.7	94.9	.0895	
8	0.36	3.0	97.9	.1122	
9	0.16	1.3	99.2	.0134	
10	0.06	0.6	99.8		
11	0.02				
12	0.00				

TABELA 17 - Resultado da análise dos componentes principais da temperatura mínima (* indicam os componentes usados na função de resposta).

Componentes principais	Autovalores	% de variância explicada	% de variância acumulada	Coefficiente de correlação
1	4.69	39.1	39.1	.2189
2	2.99	24.9	64.0	.3411
3	1.21	10.1	74.1	.1676
4	1.07	8.9	83.0	-.4476
5	0.86	7.2	90.2	.1953
6	0.41	3.4	93.6	.1720
7	0.30	2.5	96.1	-.1760
8	0.24	2.0	98.1	-.0293
9	0.12	1.0	99.1	.5119 *
10	0.07	0.6	99.7	
11	0.03			
12	0.00			

TABELA 18 - Resultado da análise dos componentes principais da energia líquida da (* indicam os componentes usados na função de resposta).

Componentes principais	Autovalores	% de variância explicada	% de variância acumulada	Coefficiente de correlação
1	3.29	27.5	27.5	.0405
2	2.51	20.9	48.4	.2718 *
3	2.08	17.3	65.7	.6782 *
4	1.21	10.1	75.8	- .0762
5	1.02	8.6	84.4	.2803 *
6	0.84	7.0	91.4	.2034
7	0.36	3.0	94.4	.1210
8	0.33	2.7	97.1	- .3005 *
9	0.19	1.6	98.7	- .2048
10	0.09	0.8	99.5	
11	0.05			
12	0.00			

TABELA 19 - Resultado da análise dos componentes principais do déficit hídrico
(* indicam os componentes usados na função de resposta).

Componentes principais	Autovalores	% de variância explicada	% de variância acumulada	Coefficiente de correlação
1	4.38	36.5	36.5	.2807 *
2	2.96	24.7	61.2	- .2599 *
3	1.69	14.1	75.3	.1259
4	0.95	8.0	83.3	.5259 *
5	0.82	6.8	90.1	.0802
6	0.47	4.0	94.1	.1004
7	0.31	2.6	96.7	.1583
8	0.26	2.1	98.8	- .4122 *
9	0.06	0.6	99.4	
10	0.04	0.4	99.8	
11	0.01			
12	0.00			

Com base nesses coeficientes de correlação e no nível de significância, os componentes principais foram selecionados para o cálculo da função de resposta.

4.3 - FUNÇÃO DE RESPOSTA

É importante salientar que, a função de resposta não demonstra relações de causa e efeito ; ela no máximo descreve de forma separada o efeito relativo dos fatores climáticos na densidade. Cada um dos seus elementos, representa o efeito do grau de correlação existente entre as variáveis climáticas e a densidade.

Os resultados da função de resposta são regidos pelas flutuações, acima e abaixo do valor médio, que ocorrem de ano para ano nas variáveis climáticas. Se o meio ambiente médio e o limite de variabilidade forem próximos do ótimo para os processos fisiológicos, a variação natural do clima pode não ser suficiente para limitar esses processos. Provavelmente, não haverá correlação e em consequência a função de resposta não será significativa. Se a média e o limite de variabilidade no clima, forem próximos dos limites de um ou mais processos da planta, é provável que esses tenham um efeito marcante e sua subsequente correlação deverá existir. Entretanto, se dois processos atuarem em direções opostas, o resultado será a falta de correlação. (FRITTS, 1976 , p. 393).

A interpretação dos resultados da função de resposta em termos estatísticos é simples. Um valor positivo da função de resposta para um dado mês, indica uma relação direta (quanto maior a variável climática, maior a densidade); um valor negativo indica uma relação inversa (um pequeno da variável, um grande da densidade). Acima da interpretação estatística é mais importante a análise do ponto de vista biológico.

a - Função de resposta da precipitação

Na Figura 6 , são mostrados os gráficos das funções de resposta, decorrentes dos componentes principais mais significativos, selecionados pela regressão passo a passo (Tabela 14). São também apresentados os respectivos passos da regressão e os coeficientes de determinação. As barras verticais indicam os intervalos de confiança de 0,95 usados no teste de significância das variáveis.

A primeira função de resposta (Figura 6.a), obtida pelo primeiro passo da regressão múltipla ou o coeficiente mais significativo, revela que a densidade máxima é diretamente relacionada com as precipitações de fevereiro a junho e inversamente relacionada com as precipitações de setembro, novembro, janeiro, julho e agosto.

FIGURA 6 - Funções de resposta obtidas pelos seis primeiros passos da regressão, sobre os componentes principais da precipitação. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%. (Valores das ordenadas são índices estandardizados).

A segunda função da resposta (Figura 6.b), usando os dois mais significativos coeficientes da regressão múltipla, indica uma relação direta com as precipitações de outubro, fevereiro, março, maio e junho e uma relação inversa com a precipitação dos meses de setembro, novembro e agosto.

Foi dada continuidade ao processo de regressão e as funções de resposta foram determinadas até o sexto coeficiente mais significativo (Figura 6.f), a qual mostra ainda a influência forte e direta da precipitação de fevereiro sobre a máxima densidade dos lenhos tardios.

b - Função de resposta da temperatura média

Na Figura 7, são mostrados os gráficos das funções de resposta, decorrentes dos componentes principais mais significativos, selecionados pela regressão passo a passo (Tabela 15). São também apresentados os respectivos passos da regressão e os coeficientes de determinação. As barras verticais indicam os intervalos de confiança de 0,95 usados no teste de significância das variáveis.

Para primeira função de resposta, o coeficiente de determinação é baixo (Figura 7.a). Entretanto com a tomada do segundo passo da regressão, o coeficiente de determinação torna-se alto (Figura 7.b) e verifica-se uma relação di

FIGURA 7 - Funções de resposta obtidas pelos três primeiros passos da regressão, sobre os componentes principais da temperatura média. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%.

reta para setembro, novembro, dezembro, abril e maio e uma inversa para outubro, janeiro, fevereiro, março e julho.

A terceira função de resposta, (Figura 7.c) foi obtida com os três coeficientes mais significativos, sendo que o terceiro, corresponde a entrada da variável 9, a qual carrega uma pequena porcentagem de variância (Tabela 15) e parte de ruídos estatísticos, que são comuns nesses componentes baixos. Isto induz a uma brusca mudança nos intervalos de confiança, portanto, a função de resposta mais segura que rela-ciona a temperatura média com os índices de densidade provavelmente é a mostrada na Figura 7.b.

c - Função de respostas da temperatura máxima

Na Figura 8, são mostrados os gráficos das funções de resposta, decorrentes das variáveis mais significativas, selecionadas pela regressão passo a passo (Tabela 16). São também apresentados os respectivos passos da regressão e os coeficientes de determinação. As barras verticais indicam os intervalos de confiança de 0,95 usados no teste de significância das variáveis.

FIGURA 8 - Funções de resposta obtidas pelos três primeiros passos da regressão, sobre os componentes principais da temperatura máxima. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%.

As três funções de respostas da temperatura máxima, mostram um comportamento estável para os três passos da regressão. Sendo que a última função de resposta (Figura 8.c) indica uma relação direta mais forte, para os meses de abril e maio e uma relação inversa para outubro, fevereiro, março e julho.

d - Função de resposta da temperatura mínima

Os elementos da função de resposta da temperatura mínima (Figura 9) não indicam nenhuma relação clara com os índices de máxima densidade, porque os intervalos de confiança, são excessivamente grandes e todos podem ter o valor zero.

O fato dessa ocorrência, é análogo ao da terceira função de resposta da temperatura média, ou seja, o ruído estatístico dado pelo nono componente principal, que aqui é o primeiro coeficiente mais significativo da regressão (Tabela 17).

FIGURA 9 - Função de resposta obtida pelo primeiro passo da regressão, sobre os componentes principais da temperatura mínima. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%.

e - Função de resposta da energia líquida

Na Figura 10, são mostrados os gráficos das funções de resposta, decorrentes das variáveis mais significativas, selecionadas pela regressão passo a passo (Tabela 18). São também apresentados os respectivos passos da regressão e os coeficientes de determinação. As barras verticais indicam os intervalos de confiança de 0,95 usados no teste de significância das variáveis.

Observa-se uma persistência no comportamento dos elementos dessas funções de resposta. Sendo que a quarta (Figura 10.d), mostra uma relação direta em maio e agosto e uma inversa para outubro, fevereiro e março.

Como, os elementos da quarta função de resposta explicam 70% da variância dos índices de densidade máxima, eles podem ser considerados os que melhor descrevem a resposta da densidade máxima em relação a energia líquida disponível sobre a floresta.

FIGURA 10 - Funções de resposta obtidas pelos quatro primeiros passos da regressão, sobre os componentes principais da energia líquida. As barras verticais indicam intervalos de confiança de 95%. (Valores das ordenadas são índices estandardizados).

f - Função de resposta do déficit hídrico

Na Figura 11, são mostrados os gráficos das funções de resposta decorrentes das variáveis mais significativas, selecionadas pela regressão passo a passo (Tabela 19). São também apresentados os respectivos passos da regressão e os coeficientes de determinação. As barras verticais indicam os intervalos de confiança de 0,95 usados no teste de significância das variáveis.

Todas as funções de resposta do déficit hídrico indicam relações inversas. A mais expressiva, a quarta função de resposta utiliza os quatro mais significativos coeficientes da regressão e expressa através de seus elementos que, 59% da variância dos índices de densidade máxima, ocorrem devido as deficiências hídricas do período de janeiro a abril.

FIGURA 11 - Funções de resposta obtidas pelos quatro primeiros passos da regressão, sobre os componentes principais do déficit hídrico. As barras verticais, indicam intervalos de confiança de 95%.
(Valores das ordenadas são índices estandardizados).

As funções de resposta dos fatores ambientais, não são contraditórias umas com as outras, elas revelam que durante certos períodos da estação de crescimento, as variáveis climáticas tem uma maior influência na densidade.

As relações diretas das três primeiras funções de resposta da precipitação, foram confirmadas pelas quatro relações inversas do déficit hídrico. Pela proximidade dos coeficientes de determinação, elas indicam que cerca de 60% da variância na densidade máxima dos anéis de crescimento, depende da disponibilidade de água no período de janeiro a abril.

Por outro lado, as relações das funções de resposta da energia líquida, da temperatura média e máxima mostram em geral um comportamento semelhante. Dessa forma, pode-se considerar que em média, 70% da variância na densidade máxima é resultante desses fatores, no período de janeiro a março.

As deficiências hídricas associadas as temperaturas elevadas, em geral resultam um decréscimo da fotossíntese, numa menor produção de carboidratos e hormônios causando uma redução na atividade cambial (FRITTS, 1976).

Segundo ZANHER (1968), o déficit hídrico pode causar uma redução no tamanho das células ou uma mudança na espessura da parede celular. Porém, se a estiagem persistir por períodos longos, a densidade do lenho tardio, poderá ser marcadamente mais baixa que a de um lenho formado em condições normais.

5 - CONCLUSÕES

- a - A densidade máxima dos lenhos tardios de *Pinus oocarpa* , contém uma substancial quantidade de informações climáticas e não depende da densidade e do clima do ano anterior. Por outro lado, as árvores respondem de forma homogênea as variações climáticas.
- b - A densidade máxima dos lenhos tardios depende , principalmente, das condições ambientais do final do verão e do outono.
- c - As funções de resposta da precipitação e do déficit hídrico mostram relações opostas. Elas indicam que cerca de 60% da variância na densidade máxima dos anéis de crescimento, depende da disponibilidade de água do período de janeiro a abril.

- d - As funções de resposta da energia líquida disponível, da temperatura média e máxima, revelam padrões similares. Em média, 70% da variância na densidade máxima, pode ser atribuída a esses fatores, no período de janeiro a março.
- e - O sinal climático proveniente da temperatura mínima é fraco. Portanto, ela não é um fator limitante em nenhum mês.
- f - Um suprimento de água não favorável e temperaturas elevadas, decorrentes das altas taxas de energia, no final do verão e no início do outono, induzem a formação de um lenho tardio estreito e de baixa densidade.

6 - BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR, O., 1980. Determinação de umidade em madeira por atenuação de radiação gama do ^{241}Am . Piracicaba. 84 p. [Mestrado - ESALQ].
- AGUIAR, O. ; E. S. B. FERRAZ e J. F. ESCOBEDO, 1980. Determination of the density of the water adsorbed by wood using gamma ray attenuation technique. In: CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATIONS - Division 5 , Oxford, 9-16, April 1980. Abstracts. p. 32.
- ALVIM, P. T., 1964. Tree growth periodicity in tropical climates. In: ZIMMERMANN, M. H., ed. The formation of wood in Forest Trees, London, Academic Press. p. 479-495.
- BANNAN, M. W., 1962. The vascular cambium and tree-ring development. In: KOZLOWSKI, T. T., Tree Growth. New York, Ronald Press. p. 3-21.

- BERGER, A. L. ; J. GUIOT ; L. MATHIEU e A. V. MUNAUT, 1979. Tree-rings and climate in Marroco. Tree-Ring Bulletin, Tucson, 39: 61-75.
- BORMANN, F. H. e G. BERLYN, eds. 1981. Age and growth rate of tropical trees: new directions for research: proceedings. New Haven, Yale University. 137 p. (Bulletin, nº 94).
- BRAZIER, J. D., 1969. Some considerations in appraising within-ring density. In: WORLD CONSULTATION ON FOREST TREE BREEDING, 2nd, Washington, D.C., August 7-16, 1969. Roma, FAO, p. 382-391.
- BROWN, C. L., 1978. The physiological role of water in tree growth and development. In: BALMER, W. E., ed. Soil moisture site productivity: Symposium, Myrtle Beach, 1977. Atlanta, USDA/Forest Service. p. 22-29.
- BUDYKO, M. I., 1974. Climate and life. Trad. de D. H. Miller. New York, Academic Press. p. 54.
- CAMERON, J. F. ; P. F. BERRY e E. W. J. PHILLIPS, 1959. The determination of wood density using beta rays. Holzforschung, Berlin, 13(3): 78-84.
- CONKEY, L. E., 1979. Response of tree-ring density to climate in Maine, U.S.A. Tree-Ring Bulletin, Tucson, 39: 29-38.
- DUFF, G. H. e N. J. NOLAN, 1953. Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. I. The controls of cambial and apical activity in *Pinus resinosa* Ait. Canadian Journal of Botany, Ottawa, 31(4): 471-513.

- ECKSTEIN, D., 1972. Tree-ring research in Europe. Tree-Ring Bulletin, Tucson, 32: 1-18.
- FERRAZ, E. S. B., 1974. Determinação simultânea de densidade e umidade de solos por atenuação de raios gama do ^{137}Cs e ^{241}Am . Piracicaba. 120 p. [Livre Docência - ESALQ].
- FERRAZ, E. S. B., 1976. Determinação de densidade de madeiras por atenuação de radiação gama de baixa energia. IPEF, Piracicaba, (12): 61-68.
- FERRAZ, E. S. B. e R. S. MANSELL, 1979. Determining water content and bulk density of soil by gamma ray attenuation methods. Gainesville, University of Florida / Agricultural Experiment Station. 51 p. (Bulletin, nº 807).
- FERRAZ, E. S. B., 1980. Growth rings and climate in eucalyptus. In: SIMPÓSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO. Águas de São Pedro, 25-30, Agosto de 1980. (no prelo).
- FRITTS, H. C., 1960. Multiple regression analysis of radial growth in individual trees. Forest Science, Washington, 6(4): 334-349.
- FRITTS, H. C., 1962.a. An approach to dendroclimatology: screening by means of multiple regression techniques. Journal of Geophysical Research, Washington, 67(4): 1413-1420.
- FRITTS, H. C., 1962.b. The relation of growth ring-widths in American beach and white oak to variation in climate. Tree-Ring Bulletin, Tucson, 25(1/2): 2-10.

- FRITTS, H. C. ; D. G. SMITH ; C. A. BUDELSKY e J. W. CARDIS,
1965. The variability of ring characteristics withi trees
as shown by a reanalysis of four ponderosa pine. Tree-Ring
Bulletin, Tucson, 27(1/2): 3-18.
- FRITTS, H. C., 1966. Growth rings of trees: their correla-
tion with climate. Science, Washington, 154: 973-979.
- FRITTS, H. C., 1967.a. Growth rings of trees: a physiologi-
cal basis for their correlation with climate. In: SHAW,
R. H. , ed. Ground Level Climatology: Simposium, Bekerley,
December 1965. Washington, American Association for the
Advancement of Science. p. 45-65. (Publication, 86).
- FRITTS, H. C., 1967.b. Tree-ring analysis (dendroclimatology).
In: FAIRBRIDGE, R. W. ed. The encyclopedia of atmospheric
sciences and astrogeology. New York, Reinhold, p. 1008-
1027. (Encyclopedia of Earth Sciences Series, v. 2).
- FRITTS, H. C., 1971.a. Dendroclimatology and dendroecology.
Quaternary Research, New York, 1(4): 419-449.
- FRITTS, H. C. ; T. J. BLASING ; B. P. HAYDEN e J. E. KUTZBACH,
1971.b. Multivariate techniques for specifying tree-growth
and climate relationships and for reconstructing anomalies
in paleoclimate. Journal of Applied Meteorology, Lancas-
ter, 10(5): 845-864.
- FRITTS, H. C., 1976. Tree-rings and climate. London, Aca-
demic Press. 567 p.

- HARRIS, J. M. e H. POLGE, 1967. A comparision of X-ray and beta ray techniques for measuring wood density. Journal of the Institute of Wood Science, London, (19): 34-42.
- HARRIS, J. M., 1969. The use of beta rays in determining wood properties. Part. 1-5. New Zealand Journal of Science, Wellington, 12(2): 395-451.
- HUBER, F., 1976. Problèmes d'interdatation chez le pin sylvestre et influence du climat sur la structure de ses accroissements annuels. Annales des Sciences Forestières, Paris, 33(2): 61-68.
- HUGHES, M.K. ; J. PILCHER ; P. M. KELLY e V. C. La MARCHE Jr., eds. 1980. International workshop on global dendroclimatology, 29: Report and recomendations. Belfast, Organizing Committee of the 2nd. International Workshop on Global Dendroclimatology, 68 p.
- HUSCH, B., 1962. Forest mensuration and statistics. New York, Ronald Press. p. 83-95.
- I.B.M., 1967. 1130 Statistical system (1130-CA-06X): User's manual. 2.^a ed. White Plains. Cap. 2. p. 31-71.
- JOHNSON, F. L. e P. G. RISSE, 1973. Correlation analysis of rainfall and annual ring index of Central Oklahoma blackjack and post oak. American Journal of Botany, New York, 60(5): 475-478.
- JONSSON, B., 1969. Studies of variation in the widths of annual rings in scots pine and norway spruce due to weather conditions in Sweden. Stockholm, Royal College of Forestry/ Department of Forest Yield Research. (Research notes, nº 16).

- JULIAN, P. R. e H. C. FRITTS, 1968. On the possibility of quantitatively extending climatic records by means of dendroclimatological analysis. In: STATIST. METEOROL. CONF., 1^a, Hartford, Connecticut. Proceedings. Boston, American Meteorological Society. p. 76-82.
- KELLER, R., 1968. Des caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés mécaniques des bois: Les composantes de la densité. Annales des Sciences Forestières, Paris, 25 (4): 237-249.
- KOZLOWSKI, T. T., 1962. Tree Growth. New York, Ronald Press. 442 p.
- KOZLOWSKI, T. T., 1971. Growth and development of trees. London, Academic Press. v. 2.
- KRAMER, P. J. e T. T. KOZLOWSKI, 1962. Physiology of trees. New York, McGraw-Hill. p. 642.
- KRAMER, P. J. e T. T. KOZLOWSKI, 1979. Physiology of wood plants. New York, Academic Press. p. 25-27, 106, 403, 474-475, 532, 558, 573, 629, 631.
- La MARCHE Jr., V. C., 1978. Tree-ring evidence of past climate variability. Nature, 276 (Climatology Supplement): 334-338.
- LEDERER, C. M. ; J. M. HOLLANDER e I. PERLMAN, 1967. Table of isotopes. 6^a ed., New York, John-Wiley. p. 146.

- LOOS, W. E., 1961. The relationship between gamma-ray absorption and wood moisture content and density. Forest Products Journal, Madison, 11(3): 145-149.
- LOOS, W. E., 1965. Determining moisture content and density of wood by nuclear radiation technology: a review of methods. Forest Products Journal, Madison, 15: 102-106.
- MATALAS, N. C., 1962. Statistical properties of tree-ring data. Hydrological Sciences Bulletin, Oxford, 7: 39-47.
- MAY, H. A. ; H. P. SCHÄTZLER e W. KÜHN, 1976. Measurement of the density profile of chipboard by means of gamma rays. Kerntechnik, München, 18(11): 491-494.
- OHTA, S., 1981. X-ray densitometry of wood at the F.F.P.R.I. In: INTERNATIONAL UNION OF FORESTRY RESEARCH ORGANIZATIONS WORLD CONGRESS, 17^o Kyoto, 6-12 September 1981. Proceedings, Ibaraki, Forestry and Forest Products Research Institute. Division 5.
- OMETTO, J. C., 1968. Estudo das relações entre radiação solar global, radiação líquida e razão de insolação. Piracicaba. 64 p. [Doutoramento - ESALQ].
- PARKER, M. L. e W. E. S. HENOCH, 1971. The use of Engelmann spruce latewood density for dendrochronological purposes. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, 1: 90-98.
- PENMANN, H. L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London. Serie A, London, 193: 120-145.

- PHILLIPS, E. W. J., 1960. The beta-ray method of determining the density of wood and the proportion of summer wood. Journal of the Institute of Wood Science, London (5): 16-28.
- PHILLIPS, E. W. J. ; E. H. ADAMS e R. F. S. HEARMON, 1962. The measurement of density variation within the growth rings in thin sections of wood using beta particles. Journal of the Institute of Wood Science, London (10): 11-28.
- PHILLIPS, E. W. J., 1965.a. Methods and equipment for determining the specific gravity of wood. In: MEETING OF IUFRO. Melbourne, October 1965. Proceedings. Melbourne, CSIRO, Section 41, v. 2.
- PHILLIPS, E. W. J., 1965.b. A consideration of the use of the beta-ray technique in determining cell dimensions. In: MEETING OF IUFRO, Melbourne, October 1965. Proceedings. Melbourne, CSIRO, Section 41, v. 2.
- PHILLIPS, E. W. J., 1968. A further contribution to the comparision of X-ray and beta-ray techniques for measuring wood density. Journal of the Institute of Wood Science, London, 4(2): 64-66.
- POLGE, H., 1965.a. Study of wood density variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a pressler auger. In: MEETING OF IUFRO. Melbourne, October 1965. Proceedings. Melbourne, CSIRO, Section 41, v. 2.

- POLGE, H., 1965.b. The use of curves of density variation for the study of environmental factors and in particular of climatic factors. In: MEETING OF IUFRO. Melbourne, October 1965. Proceedings. CSIRO, Section 41. v. 2.
- POLGE, H., 1970. Biological aspects of wood quality research in France. Forest Products Journal. Madison, 20(1): 8-9.
- POLGE, H., 1973. Facteurs ecologiques et qualité du bois. Annales des Sciences Forestières, Paris, 30(3): 307-328.
- POLGE, H., 1978. The contribution of wood density to dendrochronology and dendroclimatology. In: FLETCHER, John, ed. Dendrochronology in Europe: principles, interpretations and applications to archeology and history: Symposium, Oxford, B.A.F. p. 77-88. (B.A.R. International Series, 51).
- RANZANI, G., 1971. Carta de Solos da Agro-Florestal Monte Alegre. Piracicaba, ESALQ/USP. 81 p.
- SCHWEINGRUBER, F.H. ; H. C. FRITTS ; O. U. BRÄKER ; L. G. DREW e E. SCHÄR, 1978. The X-ray technique as applied to dendroclimatology. Tree-Ring Bulletin, Tucson, 38: 61-91.
- SCHWEINGRUBER, F. H. ; O. U. BRÄKER e E. SCHÄR, 1979. Dendroclimatic studies on conifers from central Europe and Great Britain. Boreas, Oslo, 8: 427-452.
- SCHWEINGRUBER, F. H., 1980. Dichteschwankungen in jährigen von nadlförlzern in beziehung zu klimatisch-ökologischen faktoren, oder das problem der falschen jahrringe. Birnmensdorf, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. s. 1-33. (Berichte, nr. 213).

- SMITH, D. M. e M. C. WILSIE, 1961. Some anatomical response of loblolly pine to soil-water deficiencies. Tappi, Atlanta, 44(3): 179-185.
- SMITH, J. H. G., 1977. Tree-ring analysis can be improved by measurement of component widths and densities. The Forestry Chronicle, Toronto, 53(2): 91-95.
- THORNTHWAITTE, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York, 38: 85-94.
- ZAHNER, R., 1968. Water deficit and growth of trees. In: KOZLOWSKI, T.T. Water deficit and plant growth. New York, Academic Press. v. 2. p. 191-244.
- ZIMMERMANN, M. H. e C. L. BROWN, 1971. Trees structure and function. Berlin, Springer-Verlag. 336 p.