

ESTUDO ECONÔMICO DA DETERMINAÇÃO DAS DOSES ÓTIMAS DE FERTILIZANTES E DA IDADE
ÓTIMA DE CORTE EM Eucalyptus saligna Sm, EM SOLO DE CERRADO NO ESTADO DE SÃO PAULO

ANTONIO CARLOS DE MENDES THAME

Orientador : RODOLFO HOFFMANN

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Uni-
versidade de São Paulo, para obtenção do
título de Mestre em Ciências Sociais Rurais

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Junho, 1976

A meus pais

A meus irmãos

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Rodolfo Hoffmann expresse meus maiores agradecimentos pela dedicada e segura orientação durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao Dr. Helládio do Amaral Mello o fornecimento dos dados básicos, as informações prestadas e o incentivo.

Agradeço ao Dr. José F. de Noronha, Dr. Evaristo M. Neves e Dra. Sonia Vieira, que leram o texto original, as valiosas sugestões.

Aos colegas do Departamento de Silvicultura e de Ciências Sociais Aplicadas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e aos pesquisadores do Instituto de Economia Agrícola da Secretaria da Agricultura de São Paulo, agradeço a colaboração e o incentivo.

Agradeço à Fundação Ford, ao Ministério da Agricultura, à CAPES, do Ministério da Educação e Cultura, os recursos financeiros para a realização desta pesquisa.

Agradeço à Profa. Margareth Wagner, Sra. Elisa S. Peron, Sr. Wanderley Brajão e aos funcionários do Departamento de Ciências Sociais Aplicadas a colaboração nas diferentes fases deste trabalho.

ÍNDICE

	página
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	1
1. INTRODUÇÃO	4
1.1. Política Governamental	4
1.1.1. Incentivos fiscais para reflorestamento	4
1.1.2. Política de subsídios para fertilizantes	8
1.2. Aproveitamento do Solo de Cerrado para Reflorestamento ..	13
1.3. O Problema e Sua Importância	16
1.4. Objetivos	19
1.4.1. Objetivo geral	19
1.4.2. Objetivos específicos	20
1.5. Plano de Trabalho	20
2. REVISÃO DE LITERATURA	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Material	28
3.1.1. Localização	28
3.1.2. Solo	28
3.1.3. Clima	29
3.1.4. Preparo do solo	29
3.1.5. Escolha da espécie	30
3.1.6. Fertilizantes e corretivo	30
3.1.7. Plano do experimento	31
3.1.8. Mensurações	31
3.2. Métodos	40
3.2.1. Equações de regressão	40

3.2.2. Análise de variância	44
3.2.3. Determinação dos pontos ótimos	46
3.2.3.1. Determinação da idade ótima de corte e das doses ótimas de fertilizantes, quan do se ajusta a função polinomial aos da dos de crescimento do volume de madeira ..	46
3.2.3.2. Determinação da idade ótima de corte, quando se ajusta a função de Gompertz aos dados de crescimento do volume de madeira	57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Modelo A. Função Logística	59
4.2. Modelo B. Função de Gompertz	61
4.3. Modelo C. Função Polinomial	68
5. CONCLUSÕES	80
SUMMARY	84
LITERATURA CITADA	87

LISTA DE TABELAS

Tabela nº		Página
1	Reflorestamento Através dos Incentivos Fiscais, no Período de 1967/75 - Brasil	7
2	Consumo Nacional de Fertilizantes em Termos de Nutrientes, 1969/75 (em toneladas)	12
3	Volume real com casca, de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 1 de experimento de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.	34
4	Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 2 de experimento de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado em Moji-Guaçu, S.P.	35
5	Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 3 de experimento de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.	36
6	Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 4 de experimento de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.	37
7	Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 5 de experimento de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.	38
8	Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 6 de experimento de <i>Eucalyptus saligna</i> Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.	39

- 9 Principais resultados da análise de regressão (conforme a equação logística: $y = \frac{a}{1+bc^t}$ ou $\ln y = A + \ln [1+e^{-(B+Ct)}]$) e da análise de variância dos logaritmos naturais do volume real de madeira em pé, por planta, para cada um dos seis blocos do ensaio, para *Eucalyptus saligna* Sm, em solo de cerrado no Estado de São Paulo 60
- 10 Principais resultados da análise de regressão (conforme a equação de Gompertz: $y = ab^{C^t}$ ou $\ln y = A+BC^t$) e da análise de variância em blocos incompletos dos logaritmos naturais do volume real de madeira, para cada um dos seis blocos de ensaio, para *Eucalyptus saligna* Sm, em solo de cerrado no Estado de São Paulo ... 62
- 11 Idade ótima de corte, em anos, e estimativa do respectivo desvio padrão para seis blocos de *Eucalyptus saligna* Sm, a taxas de juros de 5% a 18% ao ano, desprezando-se as despesas de manutenção e os juros sobre o valor da terra 64
- 12 Idade ótima de corte, em anos, para cada um dos seis blocos de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, a taxas de juros de 5% a 18% ao ano, considerando-se a relação entre os preços da terra (por 4,5 m²) e do volume real de madeira em pé (por dm³) igual a 2,304/0,03 67
- 13 Idade ótima de corte, em anos, e dose ótima de fósforo (P₂O₅), em kg/ha, com e sem aplicação de calcário, para *Eucalyptus saligna* Sm, a uma taxa de juros de 10% ao ano, admitindo-se ou não subsídio de 40% nos preços de fertilizantes e desprezando-se as despesas de manutenção 73

- 14 Idade ótima de corte, em anos, e dose ótima de fósforo (P_2O_5), em kg/ha, com e sem aplicação de calcário, para *Eucalyptus saligna* Sm, a uma taxa de juros de 10% ao ano, admitindo-se ou não subsídio de 40% nos preços de fertilizantes e desprezando-se as despesas de manutenção e os juros sobre o valor da terra 75
- 15 Idade ótima de corte, em anos, e dose ótima de fósforo (P_2O_5), em kg/ha, com e sem aplicação de calcário, para *Eucalyptus saligna* Sm, a uma taxa de juros de 5% ao ano, admitindo-se ou não subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes e desprezando-se as despesas de manutenção e os juros sobre o valor da terra 77

RESUMO

O presente estudo teve como principal objetivo determinar a idade ótima de corte e as doses ótimas de fertilizantes para *Eucalyptus saligna* Sm, com base em experimento estabelecido em Moji-Guaçu (Estado de São Paulo) em solo de cerrado, espaçamento de 3,00 x 1,50m, obedecendo a fatorial 3 x 3 x 3 x 2, com N, P, K, calcário, com seis blocos incompletos, cada um com 18 tratamentos.

Foram ajustadas aos dados de volume de madeira as funções de Gompertz (pelo método proposto por STEVENS, 1951), logística (pelo proposto por NELDER, 1961) e polinomial (pelo método dos mínimos quadrados - regressão múltipla).

Com o volume crescendo conforme a função de Gompertz, foi determinada a idade ótima e, no caso da função polinomial, também as doses ótimas de fertilizantes. Foi admitido que o empresário deseja maximizar o valor atual da renda líquida.

As principais conclusões obtidas foram:

- a) Com o volume crescendo conforme a função de Gompertz, à taxa de juros de 10% ao ano, desprezando-se juros sobre o valor da terra, a idade ótima de corte é, em média, 5,1 anos.
- b) À medida que aumenta a taxa de juros, a idade ótima de corte diminui. Desprezando-se juros sobre o valor da terra, a juros de 5% ao ano, a idade ótima de corte é 6,7 anos e a 18% é 3,8 anos.
- c) Com o volume crescendo conforme a função polinomial, no ponto que corresponde ao máximo do valor atual da renda líquida, a dose econômica de fósforo apresentou-se positiva.
- d) À taxa de juros de 10% ao ano, desprezando-se juros sobre o valor da terra e admitindo-se subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes, a idade ótima de corte é, em média, 4,0 anos e a dose ótima de fósforo é 101 kg de P_2O_5 por hectare. Não se considerando subsídios, a idade ótima de corte é 3,9 anos e a dose ótima de fósforo é 57 kg/ha.
- e) À taxa de juros de 5% ao ano, desprezando-se juros sobre o valor da terra e admitindo-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte é 4,7 anos e a dose ótima de fósforo é 135 kg/ha.

f) A adoção de subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes aumenta expressivamente a dose ótima de fósforo, enquanto tem pequeno efeito na determinação da idade ótima de corte.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Política Governamental

1.1.1. Incentivos fiscais para reflorestamento

As sucessivas altas na demanda de matéria-prima para indústrias de produtos florestais, as condições edáficas e climáticas favoráveis ao florestamento e uma política governamental de incentivos fiscais têm sido os principais responsáveis pela crescente formação de povoamentos florestais.

A série de instrumentos legais que constituem a política florestal brasileira consiste, principalmente, em:

- a) Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal;
- b) Lei nº 5.106 de 2 de setembro de 1966, que dispõe sobre os incentivos concedidos a empreendimentos florestais;

- c) Decreto-lei nº 59.615 de 30 de novembro de 1966, que regulamenta a Lei nº 5.106 de 2 de setembro de 1966;
- d) Decreto-lei nº 289 de 28 de fevereiro de 1967, que cria o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF);
- e) Portaria nº 784 do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal de 24 de janeiro de 1969, que torna obrigatória a reposição da madeira consumida;
- f) Decreto-lei nº 1134 de 16 de novembro de 1970, que altera a sistemática dos incentivos fiscais;
- g) Decreto-lei nº 68565 de 29 de abril de 1971, que regulamenta o Decreto-lei nº 1134 de 16 de novembro de 1970;
- h) Decreto-lei nº 1307 de 16 de janeiro de 1974, que restringe a aplicação dos incentivos fiscais ao florestamento e reflorestamento fora das áreas de atuação da SUDENE e SUDAM;
- i) Decreto-lei nº 73.624 de 12 de dezembro de 1974, que regulamenta o Decreto-lei nº 1307 de 16 de janeiro de 1974;
- j) Programa Nacional de Celulose e Papel, contido no Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento para o período

1975 a 1979 (Lei nº 6151, de 4 de dezembro de 1974), que estabelece a criação de distritos florestais com área total de 4 milhões de hectares, dos quais 2,5 milhões a serem implantados até 1980.

- 1) Portaria Normativa nº 5-DR, do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal de 12 de janeiro de 1976 que sistematiza a aplicação de incentivos fiscais ao florestamento e reflorestamento estabelecendo novas normas e prioridades para aprovação dos projetos e aplicação dos recursos.

Através do mecanismo dos incentivos fiscais, de janeiro de 1967 a dezembro de 1975 foram investidos 4.445 milhões de cruzeiros em florestamento no Brasil, correspondendo a uma área superior a 1,78 milhões de hectares (Tabela 1).

Desse total, em São Paulo foram investidos 1140,0 milhões de cruzeiros (27,80%), correspondendo a uma área superior a 495 mil hectares.

Tabela 1. Reflorestamento Através dos Incentivos Fiscais, no Período de
1967/75 - Brasil

Estado	Área (hectares)	Árvores (milhares)	Investimentos (milhares de cruzeiros)
São Paulo	495.347	1.093.203	1.140.036
Minas Gerais	392.441	840.119	1.029.597
Paraná	377.223	1.012.220	831.326
Santa Catarina	177.501	366.893	379.393
Mato Grosso	107.217	210.999	401.116
Rio Grande do Sul	91.347	206.738	211.872
Espírito Santo	86.517	146.480	271.337
Goiás	24.820	41.033	78.405
Bahia	15.994	28.504	64.671
Rio de Janeiro	11.552	27.872	25.940
Amazonas	2.000	100	11.349
Pará	108	120	90
Maranhão	10	25	20
BRASIL	1.782.077	3.974.306	4.445.152

FONTE: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF)

Para atender às necessidades do setor, as previsões do Programa Nacional de Celulose e Papel indicam uma intensificação do reflorestamento a curto prazo, pois estabelecem a meta de 2,5 milhões de hectares a serem implantados até 1980, ano para que se prevê uma produção de 3.680 mil toneladas de papel de diversos tipos e 4.200 mil toneladas de celulose. Para alcançar esta meta, 500 mil hectares anuais devem ser plantados em média, com vistas ao fornecimento da matéria-prima para expansão da indústria de celulose e de papel.

1.1.2. Política de subsídios para fertilizantes

De acordo com o Instituto de Economia Agrícola (ver IEA, 1974, p. 48) alguns fatores têm contribuído para o expressivo e contínuo crescimento do consumo nacional de fertilizantes nos últimos anos, com algumas variações ao longo do período. Dentre eles, podem ser citados: expansão de área de cultivo e consumo (ainda em pequena escala) de fertilizantes em áreas de pastagens e reflorestadas; maior consumo de fertilizantes por unidade de área; incentivos governamentais ligados a programas oficiais; ampliação da oferta de crédito para insumos modernos; modificação na concessão do crédito ao longo do ano, permitindo que os empréstimos não sejam restritos aos 3 meses de início de safra.

MALAVOLTA (1975) destaca ainda que para o aumento do consumo de fertilizantes, nos últimos anos, têm contribuído a política de garantia de preços mínimos, o desempenho da própria indústria e das instituições de pesquisa as quais há muitos anos acumulam informações que,

traduzidas em recomendações de adubação, visam a propiciar o uso adequado desses insumos básicos.

A política governamental concernente a fertilizantes tem consistido, desde 1966, em um esquema de subsídios ao agricultor, dentro do espírito, que ainda hoje impera, de crédito agrícola subsidiado como principal meio de estimular a utilização de insumos modernos.

Os principais instrumentos legais dessa política têm sido:

- a) Decreto nº 58.193, de 14 de abril de 1966, criando o Fundo de Estímulo Financeiro ao Uso de Fertilizantes e Suplementos Minerais (FUNFERTIL), que subsidiava todos os encargos bancários, de forma que o agricultor tomava emprestado à taxa nominal nula de juros. Estes encargos montavam a 17% ao ano (12% de juros, 2% de comissão e 3% para remuneração do aval) e em agosto de 1968 o subsídio foi reduzido a 14% ao ano, ficando o agricultor responsável pelos 3% restantes.
- b) A partir de 1970, em substituição ao FUNFERTIL passa a vigorar o Fundo Especial de Desenvolvimento Agrícola (FUNDAG), criado pelo Conselho Monetário Nacional em 16 de dezembro de 1969, e que se caracteriza por um subsídio parcial dos encargos bancários (o agricultor passa a pagar 7% ao ano), porém estendido a outros insumos modernos. Por outro lado, o FUNDAG financia 60%

da operação, enquanto que o FUNFERTIL financiava o valor total.

c) Resolução 311, de 11 de novembro de 1974, que restabelece, face à expressiva alta dos preços, o subsídio integral dos encargos bancários nas compras a crédito a partir de 1 de julho de 1974.

d) Exposição Conjunta de Motivos nº 49, de 24 de março de 1975, que propõe a concessão de subsídio de 40% do faturamento, voltando o agricultor a ficar responsável, no caso das compras à crédito, pelos encargos bancários de 15% ao ano.

Cumprе salientar que a influência desses programas tem sido maior do que os subsídios sugerem, pois visando à ampliação do uso desses insumos, os bancos, ao conceder os empréstimos de custeio integral, dão preferência aos agricultores que incluem a alocação de 15% do valor dos financiamentos para a compra de insumos modernos.

Desta forma, se antes da adoção da política de subsídios o uso de fertilizantes era motivado pela maximização dos lucros, condicionado a que o aumento no valor da produção excedesse os custos decorrentes da utilização do fator, com a introdução dessas condições na obtenção de financiamento, os agricultores poderiam ser encorajados a utilizar níveis não econômicos de fertilizantes a fim de obter crédito subsidiado.

DOS ANJOS e NORONHA (1974) destacam que a política de subsídios no comércio de fertilizantes tem sido benéfica a curto prazo e que uma política de longo prazo, objetivando diminuir o grau de dependência em relação aos fornecedores internacionais aliada a um programa de pesquisa de novos métodos de tecnologia industrial, provavelmente possa resultar em declínios mais expressivos nos preços reais de fertilizantes que a política de preços subsidiados.

PASTORE et alii (1974) analisam os efeitos da crise de petróleo na agricultura brasileira e afirmam que a elevação dos preços dos fertilizantes conduzem a uma elevação dos custos e preços dos produtos, com conseqüente redução nos ritmos de crescimento da produção e da produtividade do setor. O governo pode "socializar" os prejuízos de correntes da elevação desses custos através de subsídio nos preços dos fertilizantes, que seja retirado pouco a pouco, permitindo um ajustamento gradativo do setor agrícola às novas condições econômicas, o que evitaria que a agricultura pagasse privativamente esses custos, e induzisse dessa forma a uma inflação mais aguda e queda de bem estar. A longo prazo, devem ocorrer alterações tecnológicas substanciais, com os investimentos em pesquisa e a própria política agrícola devendo adaptar-se a uma nova realidade da oferta de fatores.

Além desses instrumentos, cumpre salientar os pertinentes à Política de Estímulo à Produção de Fertilizantes, a Lei nº 6.138, regulamentada pelo Decreto nº 75.583, sobre inspeção e fiscalização do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura, a inclusão dos preços internos de fertilizantes entre os

submetidos ao Conselho Interministerial de Preços (CIP) e o Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário.

O consumo nacional de fertilizantes, exceção feita ao ano de 1974, tem apresentado expressivo crescimento, passando de 626,750 mil toneladas em 1969 para mais de 1930 mil toneladas em 1975. (Tabela 2).

Tabela 2. Consumo Nacional de Fertilizantes em Termos de Nutrientes, 1969-75 (em toneladas).

Ano	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Total	Varição (%)
1969	165.332	265.761	195.657	626.750	+ 4,0
1970	275.936	395.938	306.693	978.567	+ 56,1
1971	291.975	486.127	347.902	1.126.004	+ 12,7
1972 ⁽¹⁾	363.082	721.824	361.636	1.446.542	+ 28,5
1973	407.704	948.011	623.431	1.979.146	+ 36,8
1974 ⁽¹⁾	335.774	902.504	538.304	1.776.582	- 10,2
1975	382.678	1.041.348	506.071	1.930.097	+ 8,6

⁽¹⁾ Foram transferidas para o consumo de 1973 e 1975, 300 mil toneladas estocadas em 1972 e 200 mil toneladas em 1974, respectivamente.

Fontes: Sindicato da Indústria de Adubos e Colas do Estado de São Paulo e Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA).

1.2. Aproveitamento do Solo de Cerrado para Reflorestamento

RANZANI (1971) elaborou carta de distribuição do cerrado no Brasil, cuja área estima em torno de 1,8 milhão de quilômetros quadrados (Fig. 1). O solo de cerrado é descrito como geralmente profundo, de estrutura mal desenvolvida e textura variando desde areia até argila. A retenção de água, em disponibilidade no solo, está relacionada com a textura, sendo maior nos barrentos que nos argilosos e ainda menor nos arenosos.

FERRI (1969) descreve o cerrado como tendo "uma fisionomia peculiar: sobre um tapete em que predominam as gramíneas e que reveste o solo de maneira mais ou menos completa, desenvolvem-se árvores e arbustos, ora isolados, ora em grupos, geralmente tortuosos, de cascas espessas com freqüentes sinais de queima, de folhas grandes, simples ou divididas, coriáceas, brilhantes ou revestidas de numerosos pelos. Este tipo peculiar de vegetação, que lembra pela fisionomia certas savanas da África, era tido como devido à falta de água. Era comum chamar-se o cerrado, com efeito, de campo seco. Sabe-se hoje, todavia, que em geral o cerrado não é condicionado pela escassez de água, mas pela pobreza dos solos onde se encontra".

VERDADE (1971) destaca serem solos de acidez elevada e fertilidade muito baixa, o que seria provavelmente o fator preponderante na exploração agrícola e que a implantação do reflorestamento no cerrado depende do fornecimento de nutrientes às plantas, sendo provavelmente a calagem também favorável, mas se dispõe de poucos dados a respeito.

Escala 1:5 000 000

Organizado por G. RANZANI

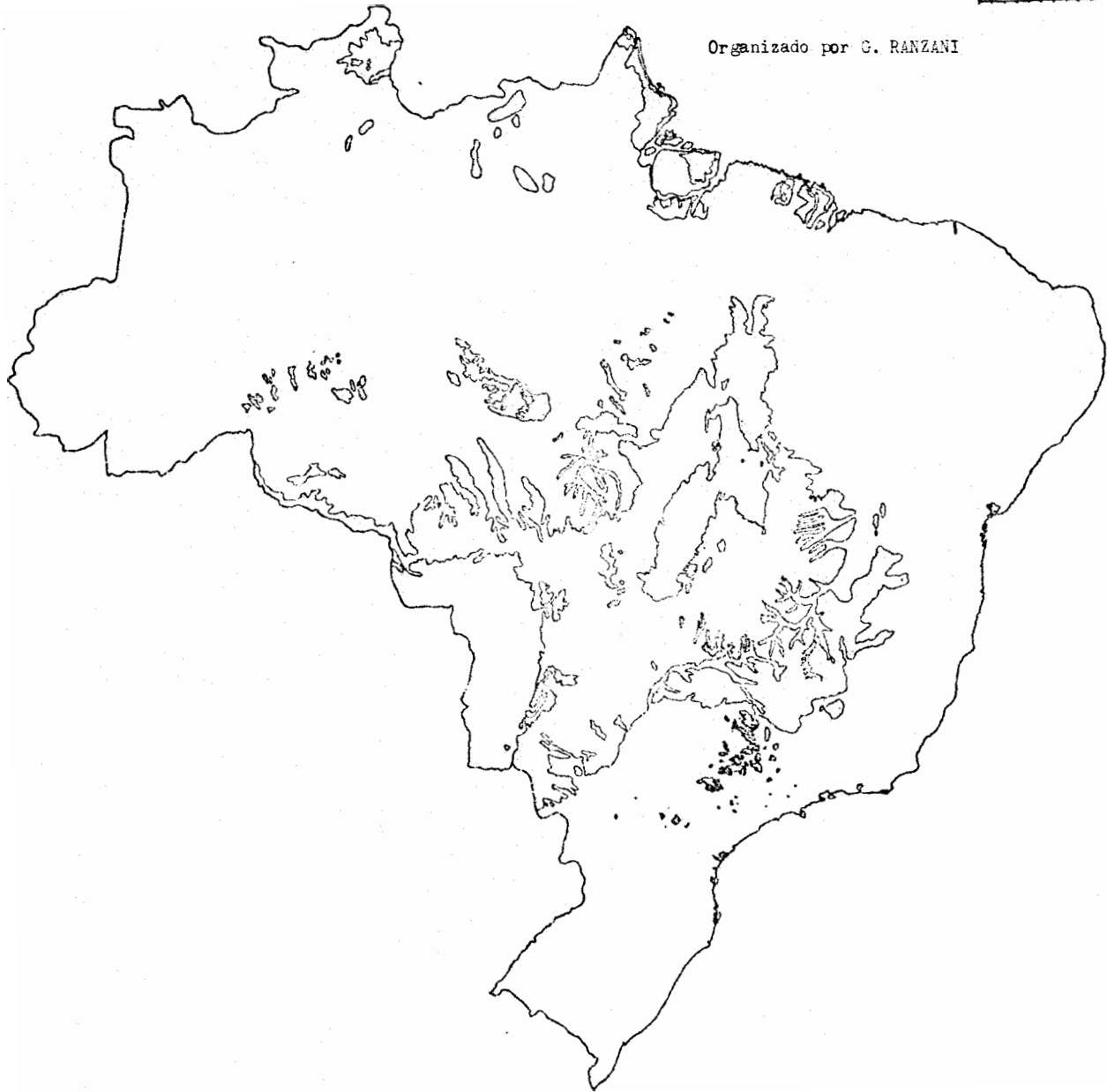


FIG. 1 - Distribuição Geográfica Aproximada do Cerrado no Brasil.

MELLO (1968) destaca que em solos arenosos e profundos, pouco argilosos e pobres como os de cerrados, os fertilizantes minerais podem adquirir grande importância por proporcionar às plantas o vigor necessário para que as raízes atinjam rapidamente os horizontes profundos, de modo a utilizar água do solo, sem restrição, durante todo o período. A existência de um período seco faz com que água desça a 1,5 ou 2,5m de profundidade, em que se mantém por 2 a 3 meses.

A Exposição de Motivos Interministerial nº 002/75, que propõe o estabelecimento do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados — POLOCENTRO — considera esta condição de solo como o principal obstáculo às explorações agrícolas, pois se constitui em um solo inadequado para o emprego de sistemas de manejo primitivos. Este obstáculo seria comprovadamente superável, para grande variedade de culturas, pela utilização de insumos modernos (calcário, fertilizantes, mecanização, etc.), em sistemas de manejo mais intensamente capitalizados desde que empregadas técnicas de cultivo mais avançadas.

Através do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) pretende-se incorporar ao processo produtivo da agropecuária, até 1979, cerca de 3,7 milhões de hectares de cerrados, dos quais 1,8 milhão com lavouras, 1,2 milhão com pecuária e 0,7 milhão com florestamento-reflorestamento. (ver BANCO CENTRAL DO BRASIL, 1975, p. 2).

Essas áreas situam-se próximas aos maiores centros consumidores do País, ostentando eixos rodoviários que, em geral, fazem conexão com os principais mercados e portos nacionais.

Pesquisadores do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (CPAC), criado com a finalidade de promover as pesquisas necessárias à incorporação dos cerrados à atividade econômica, consideram que a baixa fertilidade está ligada ao alto poder de fixação de fósforo pelo solo, à toxidez de alumínio e à deficiência geral de nutrientes.

Por outro lado, consideram o eucalipto, bem como o arroz, feijão, milho, soja, trigo, sorgo, amendoim, mandioca, citros e gado de corte, como prioritário com vistas aos objetivos propostos, ao mesmo tempo em que se estuda a identificação das espécies florestais mais adaptadas aos cerrados.

MELLO (1968) considera "os preços mais baixos, boa profundidade, propriedades físicas satisfatórias e topografia excelente a favorecer uma mecanização progressiva" razões, dentre outras, que aconselham o uso de cerrados para a silvicultura.

1.3. O Problema e Sua Importância

Os vultosos investimentos no setor florestal têm gerado uma crescente pressão por informações que permitam o estudo e o desenvolvimento de métodos mais racionais para a produção florestal, estando evidente a necessidade de serem revistos certos métodos e dados, face à influência dos preços relativos e de outros fatores.

PAIVA et alii (1973) afirmam que "o desenvolvimento do setor agrícola de um país implica o uso correto e racional de técnicas e

insumos modernos" e que o "grau de modernização da agricultura depende tanto da qualificação dos agricultores (conhecimentos técnicos, disponibilidade de recursos, espírito empresarial, etc.) como das relações de preços, dos produtos e dos fatores modernos e tradicionais (mão-de-obra e terra)".

Um fator cujo conhecimento tem expressiva importância no resultado final de um povoamento florestal é a época economicamente ideal de corte, cuja determinação visa à obtenção da renda líquida máxima.

Desde os gastos iniciais requeridos na formação do povoamento até os custos de corte, descascamento, empilhamento e transferência, têm-se investimentos totais cuja rentabilidade é o objetivo da exploração florestal.

HOFFMANN e BERGER (1973) afirmam que o aumento da procura de madeiras, acompanhado da elevação do preço real das mesmas, tem levado os silvicultores a desenvolver métodos para aumentar o rendimento das florestas por unidade de área e a mecanizar as atividades florestais, visando a uma redução nos custos da matéria-prima florestal. Afirmam ainda que a época economicamente ideal para o corte é um fator vital em quaisquer planos, pois, realizando uma operação de derrubada antes ou depois dessa idade, o silvicultor estará contribuindo para a elevação dos seus custos de produção, deixando de obter, portanto, o máximo retorno sobre o investimento.

Por outro lado, insumos modernos aliados a novas técnicas têm tornado obsoletas combinações de recursos anteriormente satisfatórias

ou equilibradas, exigindo novos estudos visando à recombinação dos fatores de produção.

Estes insumos modernos têm sido responsáveis por significativos aumentos na produção agrícola e dentre eles os fertilizantes podem ser considerados como um dos mais importantes, pois se constituem num dos meios mais eficientes, e simples, de se aumentar a produtividade agrícola e também a renda da agricultura.

O uso adequado e racional desse insumo implica aumentos na produção e conseqüentemente no rendimento bruto das empresas, devendo vir ao encontro do objetivo principal do empresário - maximização da receita líquida.

Poucos trabalhos sobre adubação em nosso País oferecem dados possíveis de serem utilizados prontamente por agricultores ou por instituições públicas ou privadas, interessadas na produção ou distribuição de adubos.

Há carência de trabalhos que enfatizem aspectos de natureza econômica.

WRIGHT (1975) considera que os programas de pesquisa e extensão não têm acompanhado a recente expansão do consumo de fertilizantes, tem sido feito pouco mapeamento de solos e quase nenhuma pesquisa sobre deficiências de micro-nutrientes no solo. Nos estudos agronômicos realizados, as questões econômicas têm sido geralmente negligenciadas.

Além disso, os estudos baseados em dados experimentais têm oferecido resultados variados para o uso de fertilizantes no Brasil. NELSON (1971), compilando resultados de pesquisas, mostra que o número de respostas significativas e positivas aos fertilizantes era aproximadamente igual ao número de respostas nulas, ou inconclusivas.

A obtenção de funções de produção que estimem a produção a ser obtida em função de diferentes doses de fertilizantes permitiria determinar a dose econômica, isto é, a quantidade de fertilizante que maximiza a receita líquida.

É importante, outrossim, salientar que, nas poucas pesquisas em silvicultura visando à determinação da idade ótima de corte e das doses econômicas de nutrientes, têm-se obtido esses resultados isoladamente, ou seja, são idades ótimas para determinados níveis de fertilizantes e vice-versa.

Por dificuldades metodológicas, essas pesquisas não têm incorporado à análise a influência dos níveis de adubação na determinação da idade ótima de corte.

Este trabalho consiste em um esforço para oferecer uma metodologia que atenda a esses objetivos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é ajustar, a dados experi-

mentais, funções de produção, e utilizá-las em análise econômica da exploração florestal.

1.4.2. Objetivos específicos

Os principais objetivos específicos são:

- a) determinação da época economicamente ideal para o corte em povoamento de *Eucalyptus saligna* Sm, admitindo-se que o empresário deseja maximizar o valor atual da receita líquida;
- b) determinação das quantidades de nutrientes que maximizam o valor atual da receita líquida;
- c) prover suporte metodológico para pesquisas futuras.

1.5. Plano de Trabalho

No Capítulo 2, será feita uma revisão de trabalhos, notadamente daqueles relacionados com a determinação de idade ótima e de doses econômicas de fertilizantes em povoamentos florestais.

No Capítulo 3, serão descritas as características do material utilizado e o instrumental analítico.

Os resultados obtidos serão apresentados e discutidos no Capítulo 4.

Finalmente, no Capítulo 5, serão apresentadas as conclusões.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O ajustamento de curvas que meçam o crescimento de essências florestais tem sido preocupação de diversos autores.

BRUCE e SCHUMAKER (1950) ressaltam a importância de sucessivas medições em povoamentos permanentes para previsões, com certo grau de confiança, das futuras áreas basais.

MELLO et alii (1966) adaptaram uma equação a dados experimentais de área basal de *Eucalyptus saligna* na região de Moji-Guaçu. A equação hiperbólica obtida foi $y = 26,47 - 43,27 \frac{1}{x}$, onde x é idade do povoamento em anos e y é a área basal por hectare. A fórmula $AB=0,785 d^2$, onde d é o diâmetro medido a 1,30m do nível do solo (DAP), fornece a área basal por árvore, a partir da qual é calculada a área basal por hectare.

VEIGA (1972) obteve para *Eucalyptus saligna* Sm, em ocasião de primeiro corte, equações lineares e logarítmicas, para construção de tabelas de volume total e volume comercial, com e sem casca.

Selecionou ainda as melhores equações para estudos da percentagem de casca e das relações hipsométricas entre DAP (diâmetro à altura do peito) e altura (total e comercial).

Por outro lado, ressalte-se a crescente preocupação em se determinar a idade ótima de corte em povoamentos florestais.

VEIGA (1967a) propõe a idade de 7 anos para o primeiro corte em Eucalipto. VEIGA (1967b) propõe a idade aproximada de 7 anos para o 1º desbaste em Pinus.

VEIGA (1967c) estabeleceu para *Pinus caribaea* var. *caribaea* equações de regressão de altura em função da idade e de diâmetro em função da idade, obtendo $y = 6,618 + 1,98 (x - 3,50)$ onde y é a altura em metros e x é a idade em anos. E ainda $y = 11,28 + 3,07 (x - 4)$, onde y é o diâmetro em cm e x é a idade em anos. No mesmo trabalho propõe, como alternativa, 6 anos como idade aproximada para o 1º desbaste.

CARRÃO e ZAGATTO (1965), em trabalho não publicado, fizeram estudos sobre determinação da rentabilidade de um hectare de *Pinus taeda* na Estação Experimental de Tupi. Admitiram que a idade ótima de corte se verifica aos 35 anos, com 5 desbastes efetuados, respectivamente, aos 7, 10, 14, 19 e 25 anos, com espaçamento inicial de 1,5 por 1,5 metros. Para determinar a renda líquida final, foram capitalizadas tanto as receitas como as despesas a uma taxa de 6% ao ano. Concluíram ainda que, devido ao pequeno espaçamento inicial adotado (1,5 x 1,5m) a renda obtida da venda dos produtos do 1º desbaste não cobre nem ao menos as despesas de desbaste e retirada das árvores.

No caso de *Pinus* spp, a técnica de manejo preconizada pelo Instituto Florestal da Secretaria da Agricultura tem consistido na instalação de parcelas de amostragem permanente, que irão fornecer os elementos para a determinação da época em que o povoamento entra em estagnação (fase em que o incremento volumétrico corrente é tão pequeno e a competição pelos fatores limitantes do crescimento é tão acirrada que há necessidade de um desbaste para que as melhores árvores do povoamento não sejam prejudicadas em sua velocidade de crescimento).

VEIGA (1972d) afirma que um povoamento florestal tem à sua disposição, no início de sua formação, os fatores limitantes do crescimento em quantidades disponíveis acima das exigidas. À medida que cada muda vai se desenvolvendo, logicamente aumenta a sua exigência de cada um desses fatores e haverá uma idade em que exigência da planta irá ultrapassar o quantum posto à sua disposição pelas condições locais e edafoclimáticas. Nesse momento, o povoamento atinge uma fase de estagnação que, na prática, é facilmente identificável pela queda das taxas de acréscimo para limites baixos, às vezes insignificantes. Deve-se proceder, então, ao 1º desbaste.

As determinações de idade ótima de corte ou desbaste com base na constatação de uma "estagnação" do povoamento florestal são sempre um tanto vagas. Afirma-se que o corte ou desbaste deve ser feito quando a velocidade de crescimento se torna muito pequena, não se especificando um valor numérico exato.

Conhecida a curva de crescimento, em termos de volume de madeira, a determinação da data ótima de corte, de acordo com a teoria econômica, é feita comparando-se a taxa de aumento proporcional do valor da madeira com a taxa de juros. Uma exposição desse modelo teórico pode ser encontrada em ALLEN (1965).

Sabe-se que a curva do crescimento do volume de madeira de um povoamento florestal é sigmóide, isto é, a curva apresenta, inicialmente, declividade crescente, até atingir um ponto de inflexão, a partir do qual o crescimento é cada vez mais lento, quando a curva se aproxima de uma assíntota paralela ao eixo das abcissas. Dentre as funções com tais propriedades, destacam-se a logística e a função de Gompertz.

HOFFMANN e THAME (1970), tendo em vista a determinação da idade ótima para o primeiro desbaste em povoamentos de *Pinus caribaea*, ajustaram as curvas de Gompertz e logística a dados de crescimento de volume de madeira e obtiveram resultados sensivelmente melhores com a curva de Gompertz. A idade ótima de desbaste foi determinada para diferentes taxas de juros, sendo que à taxa de juros de capitalização contínua de 10% ao ano, a idade ótima de 1º desbaste em *Pinus caribaea* var. *caribaea* é de 7 anos, e para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é de 6,5 anos.

HOFFMANN e BERGER (1973) determinaram a idade ótima de corte de povoamentos de *Eucalyptus*, ajustando a curva de Gompertz a dados experimentais sobre o crescimento do volume cilíndrico de madeira por hectare para povoamentos de *Eucalyptus saligna*, *E. Grandis*, *E. alba* e *E. propinqua*, com espaçamento 3,0 x 1,5m ou 3,0 x 2,0m. Para uma taxa

de juros com capitalização anual de 12% ao ano, a idade de corte varia, conforme a espécie e o espaçamento, entre 5,4 e 6,2 anos, sendo, em média, igual a 5,8 anos.

Os trabalhos mencionados a seguir referem-se aos aspectos econômicos do emprego de fertilizantes em povoamentos florestais.

WALKER e MOSS (1961), partindo do fato de que o preço da terra para implantação de florestas tem aumentado no sul dos Estados Unidos, enquanto que o preço dos fertilizantes tem permanecido estável, admitem que a fertilização poderá promover um incremento do volume de madeira a custo igual ou mesmo menor que o custo correspondente a uma ampliação proporcional da área. Destacam, outrossim, que conquanto as respostas inerentes ao crescimento físico possam justificar o emprego de algum fertilizante em particular, estas recomendações muitas vezes não devem ser consideradas, porque apresentam falhas na avaliação de aspectos econômicos.

GALOUX (1954) destaca que as aplicações de fósforo, potássio e cálcio, em solos pobres, podem acelerar o desenvolvimento dos povoamentos, dando um avanço que pode ser avaliado em anos de crescimento. O efeito da fertilização corresponderia a 2 ou 3 anos de crescimento a mais em relação a um povoamento não adubado, avanço que se mantém durante a vida toda do povoamento, no caso de Pinus e Píceas.

SHIBAMOTO (1957) admite que o emprego de fertilizantes, além de possibilitar o aumento de 30 a 40% do material lenhoso obtido das plantações de coníferas, no Japão, ainda permite a redução em 10

anos no período destinado à produção de madeira para celulose e papel.

DICKS et alii (1967) ressaltam que em experimentos com *Eucalyptus grandis*, na África do Sul, a aplicação de adubos fosfatados, na presença ou ausência de nitrogenados e potássicos, resultou em aumento na altura, significativo ao nível de 1%, podendo o corte, dessa forma, ser realizado de 14 a 16 meses antes. Em ausência de fósforo, as aplicações isoladas ou concomitantes de nitrogênio e potássio não implicaram aumento significativo na altura.

McINTYRE e PRYOR (1974) estudaram o efeito da aplicação de nitrogênio e potássio no crescimento de *Eucalyptus grandis*, em solo arenoso, na Austrália. Através da comparação das taxas de crescimento, concluíram que o maior incremento é obtido quando tanto o nitrogênio como o potássio são fornecidos.

Muitos trabalhos, como esses, têm sido realizados sobre a aplicação de fertilizantes em povoamentos florestais. A maioria, no entanto, não fornece informações sobre a economicidade do emprego de fertilizantes, restringindo-se a medir a significância, estatisticamente, do efeito da aplicação de nutrientes. Nesse sentido, para Eucaliptos, podem-se também citar os trabalhos de LIANI (1966), KARSHON (1961) e BEAUCORPS (1957).

MELLO (1968) realizou estudos técnico-econômicos sobre emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solo de cerrado do Estado de São Paulo, com *Eucalyptus saligna* Sm, em espaçamento

3 x 1,5m obtendo, aos 18 meses de idade do povoamento, as doses econômicas de 31kg de nitrogênio (N) por hectare e 83 kg de fósforo (P_2O_5) por hectare, calculadas através da equação de Mitscherlich. A adubação com potássio mostrou-se não econômica.

MELLO et alii (1970) estudaram os efeitos da aplicação de fertilizantes minerais na produção de madeira de *Eucalyptus saligna* Sm, em solo de cerrado do Estado de São Paulo, obtendo, por ocasião do corte raso do povoamento aos 5 anos de idade, as doses econômicas de 53 kg de nitrogênio (N), 172 kg de fósforo (P_2O_5) e 25 kg de potássio (K_2O) por hectare, calculados através da equação de Mitscherlich.

SIMÕES et alii (1970) realizaram trabalho sobre emprego de fertilizantes no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo, com *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, obtendo aos 2 anos de idade do povoamento as doses econômicas de 125 kg de fósforo (P_2O_5) por hectare e 52 kg de potássio (K_2O) por hectare, calculadas através da equação de Mitscherlich. A adubação com nitrogênio mostrou-se não econômica.

Ressalte-se, no entanto, que nesses trabalhos as doses ótimas de fertilizantes têm sido calculadas sem se levar em consideração o custo de oportunidade correspondente aos juros do capital empatado em adubos, o que altera substancialmente os resultados.

A revisão apresentada mostra aspectos relevantes da determinação da idade ótima de corte e da utilização econômica de fertilizantes minerais em povoamentos florestais, relacionados com o presente trabalho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Localização

O experimento foi instalado no Horto Santa Terezinha, de propriedade da Champion Celulose S.A., no município de Moji-Guaçu, em área situada a $47^{\circ}07'$ de longitude oeste de Greenwich e $22^{\circ}11'$ de latitude de sul, em altitude de 580m.^{1/}

3.1.2. Solo

O experimento foi instalado em solo latosol vermelho amarelo fase arenosa (COMISSÃO DE SOLOS, 1960) profundo, bem drenado, de classe textural barro-argilo-arenoso, ácido e de baixa fertilidade, originário do período carbonífero superior, grupo Tubarão, e apresenta-se constituído por sedimentos arenosos glaciais, fortemente intemperizados.

^{1/} As informações apresentadas constam, em parte, em MELLO (1968). Esse autor forneceu também os demais dados básicos, inéditos, utilizados neste trabalho.

Constituiu-se em extensa área de terras de relevo normal, suavemente ondulado, com declividade inferior a 5%, plano a ligeiramente convexo. O deflúvio é moderado, em encostas extensas que se sucedem, intercalando solos hidromórficos de natureza turfosa.

3.1.3. Clima

Pela carta climática do Estado de São Paulo, organizada por GODOY e ORTOLANI (sem data), com base no sistema de Köppen, o clima na região do experimento é do tipo Cwa. É um clima mesotérmico, de inverno seco, em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente ultrapassa 22°C. O total das chuvas do mês mais seco é inferior a 30 mm. A estação seca ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo julho o mês em que atinge a máxima intensidade. O mês mais chuvoso oscila entre dezembro, janeiro e fevereiro. A precipitação anual média situa-se em torno de 1300 mm de chuvas.

3.1.4. Preparo do solo

No preparo do solo para a instalação do experimento, o desmatamento foi executado por trator de esteira munido de lâmina frontal (buldozer). Após o desmatamento, procedeu-se à gradagem do terreno executada por grade pesada de 36 discos de 20 polegadas. Foram efetuadas duas gradagens cruzadas, isto é, uma transversal à outra. Devido às características especiais do solo, a aração foi julgada prescindível.

3.1.5. Escolha da espécie

A espécie escolhida para a instalação do experimento foi *Eucalyptus saligna* Sm.

As mudas foram produzidas em viveiro do próprio Horto "Santa Terezinha", a partir de sementes adquiridas do Serviço Florestal da Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Após sementeira em alfofre as mudas foram transplantadas para torrões do tipo "paulista".

À época do plantio, realizado em 28 e 29 de janeiro de 1965, apresentavam altura média de 25 a 30 centímetros.

3.1.6. Fertilizantes e corretivo

O nitrogênio foi fornecido como sulfato de amônio (com 20% de N) nas doses 0, 30 e 60 kg de N por hectare, correspondendo a 0, 13,5 e 27 g por planta.

O fósforo, utilizado nas doses de 0, 40 e 80 kg de P_2O_5 por hectare, ou seja, 0, 18 e 36 g por planta, foi fornecido como superfosfato simples (com 20% de P_2O_5).

O potássio, sob a forma de cloreto de potássio (com 60% de K_2O), foi aplicado nas doses de 0, 50 e 100 kg de K_2O por hectare, correspondendo a 0, 22,5 e 45 g por planta.

A aplicação dos adubos foi efetuada dia 22 de janeiro de 1965, uma semana antes do plantio, em sulcos, de aproximadamente 20cm de

profundidade, abertos para plantio das mudas, distantes entre si de 3m, distribuindo-se em cada 1,5m de sulco a dose correspondente a uma planta.

Foi aplicado calcário dolomítico, a lanço, a razão de 2 toneladas por hectare e incorporado por meio de uma gradeação. Sua aplicação foi efetuada com um mês de antecedência do plantio.

3.1.7. Plano do experimento

O ensaio foi instalado segundo delineamento em blocos casualizados e obedecendo ao esquema fatorial $3 \times 3 \times 3 \times 2$ para N, P, K e calcário. Os 54 tratamentos foram distribuídos em 3 blocos incompletos, com 18 parcelas cada um. Como havia 2 repetições dos 54 tratamentos, o ensaio tinha um total de 6 blocos, com confundimento de 2 graus de liberdade da interação NPK.

Das 224 plantas (14 x 16) que compunham cada parcela, apenas as 4 centrais foram utilizadas para a coleta de dados. Como o espaçamento adotado foi de 3 x 1,5m, a área ocupada por parcela foi de 1.008m^2 , dando para um bloco a área de 18.144m^2 e para o experimento 108.864m^2 .

3.1.8. Mensurações

Foram utilizadas no trabalho as medidas de diâmetro e altura realizadas em 18/3/66, 15/6/66, 3/2/67, 23/1/68 e em 13 e 14/01/69,

quando as plantas tinham respectivamente 1,14, 1,38, 2,01, 2,99 e 3,96 anos de idade a contar do plantio. As observações referentes ao diâmetro foram tomadas usando-se a suta ou compasso, e as alturas foram obtidas através do Blume-Leiss.

Os dados de diâmetro e altura foram aplicados à equação volumétrica $V = 41,992 + 0,434 \text{ DAP}^2 \cdot H$, obtida por COUTO (sem data) em trabalho inédito, na qual

V = volume real com casca (em dm^3)

DAP = diâmetro à altura do peito (em dm)

H = altura (em dm)

Esta equação foi obtida com os dados desse mesmo experimento, apresentando um coeficiente de determinação igual a 0,9777.

Até 2,01 anos, ao se constatar, por ocasião das medições, alguma falha nas 49 árvores centrais consideradas para coleta dos dados de cada parcela, fazia-se substituição por árvores da periferia, de modo a manter constante o número de 49 plantas. Este critério não mais foi adotado nas medições de 23/1/68 e de 14/1/69, quando as falhas foram acusadas.

Por este motivo, a análise é efetuada com valores em volume por árvore e não por hectare, conquanto esta última forma melhor expresse a produção de um povoamento, pois incorpora as possíveis quebras ou falhas.

Pelo mesmo motivo, não foi possível utilizar nesta análise dados de volume de madeira descascada e empilhada (em estéreos por hectare) obtidos aos 5 anos, após o corte raso de todas as árvores do experimento.

Os dados utilizados constam das tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

Tabela 3. Volume real com casca de madeira em $\bar{p}\bar{e}$, por $\bar{a}r\bar{v}o\bar{r}e$, em dm^3 , referente ao bloco 1 de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.

B L O C O 1								
Tratamento				I d a d e (anos)				
N	P	K	Ca	1,14	1,38	2,01	2,99	3,96
0	2	1	1	53,250	59,679	80,049	115,395	154,450
0	2	1	0	49,943	55,020	70,235	102,971	125,987
0	0	0	1	46,364	50,195	58,223	78,581	86,570
0	0	0	0	47,340	51,694	68,456	94,181	105,156
1	0	1	1	49,716	52,873	60,140	83,059	102,969
1	0	1	0	48,474	51,862	70,354	94,203	114,598
1	2	2	1	52,195	54,598	66,687	111,141	121,663
1	2	2	0	50,985	56,660	72,866	111,716	119,425
2	2	0	1	54,655	60,682	77,792	108,310	120,107
2	2	0	0	50,283	53,391	63,345	92,993	106,574
2	1	1	1	51,772	54,721	72,473	103,507	109,004
2	1	1	0	52,330	55,700	70,944	103,544	110,091
1	1	0	1	51,096	55,171	69,482	90,926	94,196
1	1	0	0	50,225	51,302	64,602	91,807	103,803
0	1	2	1	51,646	52,539	69,207	100,360	118,521
0	1	2	0	48,103	51,802	67,245	94,716	92,262
2	0	2	1	47,890	50,612	64,691	101,255	120,026
2	0	2	0	46,969	50,391	61,592	92,228	97,405

Tabela 4. Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 2 de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado em Moji-Guaçu, S.P.

B L O C O 2								
Tratamento				I d a d e (anos)				
N	P	K	Ca	1,14	1,38	2,01	2,99	3,96
0	2	1	1	45,015	52,277	56,762	81,547	95,521
0	2	1	0	48,384	50,669	62,260	105,228	119,430
0	0	0	1	49,190	55,209	69,942	105,105	110,779
0	0	0	0	48,741	48,393	59,410	91,514	108,537
1	0	1	1	47,877	54,022	63,582	91,860	101,644
1	0	1	0	46,620	53,167	70,103	94,124	107,285
1	2	2	1	47,978	54,367	70,882	113,405	127,701
1	2	2	0	45,448	52,834	68,440	101,279	114,758
2	2	0	1	47,783	53,212	64,628	99,926	105,879
2	2	0	0	50,335	54,195	64,973	101,011	106,645
2	1	1	1	48,522	57,324	74,592	109,576	113,411
2	1	1	0	50,257	53,419	65,969	100,862	107,225
1	1	0	1	45,457	53,998	62,238	87,968	97,331
1	1	0	0	47,514	51,867	59,225	87,286	97,919
0	1	2	1	48,421	52,791	71,587	106,572	118,210
0	1	2	0	49,010	50,868	66,271	95,045	111,664
2	0	2	1	48,110	53,940	63,326	97,788	107,776
2	0	2	0	50,266	49,611	63,304	92,975	99,181

Tabela 5. Volume real com casca de madeira em p \bar{e} , por \bar{a} r \bar{v} ore, em dm³, referente ao bloco 3 de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, em espa \bar{c} amento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Gua \bar{c} u, S.P.

B L O C O 3									
Tratamento				I d a d e (anos)					
N	P	K	Ca	1,14	1,38	2,01	2,99	3,96	
0	2	2	1	50,405	54,180	78,470	100,506	114,564	
0	2	2	0	52,870	57,660	73,729	116,003	128,466	
0	1	0	1	50,271	57,803	72,278	103,280	117,772	
0	1	0	0	50,752	51,580	65,615	103,188	107,597	
1	1	1	1	50,111	53,578	63,125	106,957	118,922	
1	1	1	0	49,855	51,553	72,394	121,262	126,977	
2	1	2	1	52,377	54,303	67,637	108,088	118,180	
2	1	2	0	52,804	59,595	73,206	107,546	133,462	
1	0	2	1	50,385	52,544	65,290	111,892	125,030	
1	0	2	0	47,222	50,770	61,282	89,272	96,677	
2	2	1	1	56,164	60,004	71,318	115,395	130,099	
2	2	1	0	51,337	54,953	60,541	86,977	91,367	
1	2	0	1	54,648	58,406	74,323	112,610	130,329	
1	2	0	0	49,212	54,810	62,699	92,316	107,445	
2	0	0	1	49,760	50,491	64,119	105,583	110,998	
2	0	0	0	47,677	49,740	60,320	82,725	87,644	
0	0	1	1	46,117	47,930	56,772	83,947	92,572	
0	0	1	0	45,564	49,077	67,517	97,222	107,011	

Tabela 6. Volume real com casca de madeira em pê, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 4 de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.

B L O C O 4								
Tratamento				I d a d e (anos)				
N	P	K	Ca	1,14	1,38	2,01	2,99	3,96
0	2	2	1	49,172	54,127	72,035	98,868	97,182
0	2	2	0	47,119	51,327	61,463	98,948	104,302
0	1	0	1	48,951	52,944	64,329	100,309	113,667
0	1	0	0	49,011	55,071	67,930	95,015	97,387
1	1	1	1	50,758	56,755	72,773	105,652	112,302
1	1	1	0	45,813	49,992	58,940	88,986	90,151
2	1	2	1	52,899	55,126	70,922	108,704	119,427
2	1	2	0	49,751	53,793	65,386	100,205	102,005
1	0	2	1	45,308	50,635	62,804	92,555	100,100
1	0	2	0	47,807	52,287	63,470	100,228	112,245
2	2	1	1	53,205	61,223	76,693	103,933	118,900
2	2	1	0	48,608	55,585	71,877	101,324	118,521
1	2	0	1	48,811	54,128	65,545	95,638	109,765
1	2	0	0	48,403	52,007	63,692	89,448	91,603
2	0	0	1	45,602	48,645	57,807	97,494	112,952
2	0	0	0	43,921	46,982	56,415	83,312	94,255
0	0	1	1	43,828	46,612	56,852	90,826	96,677
0	0	1	0	43,699	46,881	61,152	89,022	94,612

Tabela 7. Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 5 de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.

B L O C O 5								
Tratamento				I d a d e (anos)				
N	P	K	Ca	1,14	1,38	2,01	2,99	3,96
1	2	1	1	46,465	59,544	78,942	112,852	118,348
1	2	1	0	46,125	55,879	67,422	101,322	100,969
2	2	2	1	46,824	59,473	63,752	114,228	117,822
2	2	2	0	48,571	57,994	70,409	113,713	130,074
2	0	1	1	51,294	53,121	63,294	91,644	98,989
2	0	1	0	51,501	53,924	66,812	107,989	104,231
0	1	1	1	51,460	52,066	53,075	104,646	110,647
0	1	1	0	50,912	49,511	60,413	80,210	86,100
1	1	2	1	46,765	55,506	62,538	103,843	109,717
1	1	2	0	49,774	57,093	73,230	102,698	116,001
2	1	0	1	50,239	53,811	63,255	104,102	119,204
2	1	0	0	49,153	56,031	74,290	97,905	100,887
1	0	0	1	49,952	51,231	59,060	97,853	93,839
1	0	0	0	50,560	50,710	64,664	98,557	107,180
0	2	0	1	46,545	56,373	73,966	105,145	113,648
0	2	0	0	47,833	56,653	68,868	101,898	120,198
0	0	2	1	44,840	49,061	63,276	89,252	110,410
0	0	2	0	46,206	48,197	55,887	78,443	92,641

Tabela 8. Volume real com casca de madeira em pé, por árvore, em dm^3 , referente ao bloco 6 de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, em espaçamento 3 x 1,5m, plantado em 1965, em solo de cerrado de Moji-Guaçu, S.P.

B L O C O 6								
Tratamento				I d a d e (anos)				
N	P	K	Ca	1,14	1,38	2,01	2,99	3,96
1	2	1	1	47,372	51,573	60,126	90,470	94,864
1	2	1	0	47,377	52,916	60,654	81,252	87,711
2	2	2	1	51,659	58,946	75,198	105,207	124,291
2	2	2	0	48,462	56,699	73,155	104,753	106,787
2	0	1	1	44,071	47,690	60,314	87,164	86,888
2	0	1	0	47,028	50,222	59,181	105,110	101,939
0	1	1	1	46,513	53,064	66,466	90,797	104,909
0	1	1	0	46,834	51,868	64,431	100,662	99,747
1	1	2	1	47,206	53,073	70,097	103,187	112,942
1	1	2	0	48,573	54,196	69,113	102,480	95,234
2	1	0	1	47,688	52,938	63,462	80,753	100,001
2	1	0	0	46,589	50,618	57,885	82,608	83,773
1	0	0	1	44,207	48,068	59,865	87,757	95,611
1	0	0	0	47,190	53,754	67,786	105,712	106,234
0	2	0	1	50,077	56,731	73,071	98,917	103,516
0	2	0	0	45,204	48,617	59,911	99,835	95,895
0	0	2	1	42,765	45,160	54,545	74,637	84,919
0	0	2	0	42,273	43,407	50,579	74,166	77,871

3.2. Métodos.

3.2.1. Equações de regressão

O estudo das variações nos volumes foi feito ajustando-se equações aos dados.

Sendo y a variável dependente representando volume de madeira em pé por planta, em dm^3 , e t, x_1, x_2, x_3 variáveis independentes, as quais representam respectivamente a idade das plantas, em anos, após o plantio, e o número de doses utilizadas de nitrogênio, (sob a forma de sulfato de amônio), fósforo (superfosfato simples) e potássio (cloreto de potássio), foram ajustados os seguintes modelos:

$$y = a b^{c^t} \quad (\text{função de Gompertz})$$

$$y = \frac{a}{1 + b c^t} \quad (\text{função logística})$$

e

$$y = a + b_0 t + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{00} t^2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{01} t x_1 + b_{02} t x_2 + b_{03} t x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (\text{função polinomial})$$

onde

a, b, c, C, b_j e b_{nj} ($n \leq j = 0, 1, 2, 3$) são parâmetros

A equação polinomial foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados da maneira usual (regressão múltipla).

A curva de Gompertz foi ajustada pelo método apresentado por STEVENS (1951).

Considerando um erro multiplicativo, o modelo estatístico relativo à curva de Gompertz fica

$$y_i = a b^{C^{t_i}} \varepsilon_i \quad (i = 1, \dots, N)$$

onde

N é o número de observações disponíveis.

Aplicando logaritmos neperianos, obtêm-se

$$\ln y_i = \ln a + (\ln b) C^{t_i} + \ln \varepsilon_i$$

Fazendo-se $\ln y_i = Y_i$, $\ln a = A$, $\ln b = B$ e $\ln \varepsilon_i = u_i$, tem-se

$$Y_i = A + B C^{t_i} + u_i.$$

STEVENS (1951) apresentou método para determinação das estimativas dos parâmetros da função assintótica $Y = A + B C^t$. Uma apresentação mais explícita do método pode ser encontrada em NOGUEIRA (1960).

Se os erros u_i , além de apresentarem média zero, variância constante e serem independentes, tiverem distribuição normal, as estimativas (de A , B e C) de mínimos quadrados coincidem com as estimativas de máxima verossimilhança e são, portanto, consistentes e assintoticamente eficientes.

Partindo-se de uma estimativa preliminar C_0 de C , obtêm-se a matriz:

$$\begin{bmatrix} N & \Sigma C_o^{t_i} & \Sigma t_i C_o^{t_i-1} \\ \Sigma C_o^{t_i} & \Sigma C_o^{2t_i} & \Sigma t_i C_o^{2t_i-1} \\ \Sigma t_i C_o^{t_i-1} & \Sigma t_i C_o^{2t_i-1} & \Sigma t_i^2 C_o^{2t_i-2} \end{bmatrix}$$

cuja inversa STEVENS (1951) indicou por

$$\begin{bmatrix} F_{aa} & F_{ab} & F_{ac} \\ F_{ab} & F_{bb} & F_{bc} \\ F_{ac} & F_{bc} & F_{cc} \end{bmatrix}$$

A seguir, obtêm-se as estimativas (ainda não definitivas) dos três parâmetros da regressão:

$$A_1 = F_{aa} \Sigma Y_i + F_{ab} \Sigma Y_i C_o^{t_i} + F_{ac} \Sigma t_i Y_i C_o^{t_i-1}$$

$$B_1 = F_{ab} \Sigma Y_i + F_{bb} \Sigma Y_i C_o^{t_i} + F_{bc} \Sigma t_i Y_i C_o^{t_i-1}$$

$$C_1 = C_o + \Delta C$$

onde

$$\Delta C = (F_{ac} \Sigma Y_i + F_{bc} \Sigma Y_i C_o^{t_i} + F_{cc} \Sigma t_i Y_i C_o^{t_i-1}) / B_1$$

Se o valor da correção ΔC adicionada a C_0 não for desprezível, repete-se o processo, utilizando-se, agora, o valor C_1 como estimativa preliminar de C . O ciclo de cálculos será repetido até que a correção adicional (ΔC) seja considerada desprezível. Chega-se, assim, às estimativas definitivas \hat{A} , \hat{B} e \hat{C} .

As estimativas das variâncias e covariâncias das estimativas dos parâmetros são dadas por:

$$\begin{aligned} \hat{V}(\hat{A}) &= F_{aa} s^2 & \hat{Cov}(\hat{A}, \hat{B}) &= F_{ab} s^2 \\ \hat{V}(\hat{B}) &= F_{bb} s^2 & \hat{Cov}(\hat{A}, \hat{C}) &= \frac{F_{ac}}{B} s^2 \\ \hat{V}(\hat{C}) &= \frac{F_{cc}}{B^2} s^2 & \hat{Cov}(\hat{B}, \hat{C}) &= \frac{F_{bc}}{B} s^2 \end{aligned}$$

onde s^2 é a estimativa da variância residual (ou quadrado médio do resíduo).

A curva logística foi ajustada pelo método apresentado por NELDER (1961). Considerando um erro multiplicativo, o modelo estatístico relativo à função logística fica

$$y_i = \frac{a}{1 + bc^{t_i}} \varepsilon_i \quad \text{ou} \quad y_i = \frac{a}{1 + e^{-(B+Ct_i)}} \varepsilon_i$$

onde $B = -\ln b$ e $C = -\ln c$

Aplicando logaritmos neperianos, obtém-se

$$\ln y_i = \ln a - \ln \left[1 + e^{-(B + Ct_i)} \right] + \ln \varepsilon_i$$

As estimativas dos parâmetros dadas pelo método de NELDER (1961) tornam mínima a soma dos quadrados dos desvios na forma logarítmica. Se $u_i = \ln \varepsilon_i$ tiver distribuição normal, as estimativas são, também, estimativas de máxima verossimilhança, e, conseqüentemente, consistentes e assintoticamente eficientes.

O método de NELDER (1961), da mesma maneira que o de STEVENS (1951), é iterativo, isto é, partindo-se de estimativas preliminares são calculadas sucessivas correções, até que estas possam ser consideradas desprezíveis.

Dado o fato de não se ter utilizado a função logística na determinação da idade ótima de corte, deixa-se de apresentar os detalhes do método de NELDER (1961).

3.2.2. Análise de variância

O ajustamento das funções de Gompertz e logística foi feito separadamente para cada um dos 6 blocos.

Cada bloco apresenta 18 diferentes tratamentos (diferentes combinações de doses de fertilizantes e corretivo), com 5 observações consecutivas do volume real de madeira em pé por árvore (aos 1,14, 1,38, 2,01, 2,99 e 3,96 anos de idade).

Os blocos 2, 4 e 6 apresentam os mesmos tratamentos que os blocos 1, 3 e 5, respectivamente, sendo, portanto, uma repetição dos tratamentos.

Foi feita uma análise de variância com dois critérios de classificação, usando o logaritmo neperiano do volume de madeira, em dm^3 por planta, conforme o esquema a seguir:

ESQUEMA DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Causas de Variação	Graus de Liberdade
Regressão (Gompertz ou logística)	2
Falta de Ajustamento	2
Idade	4
Tratamentos (adubos e corretivos)	17
Resíduo	68
Total	89

A soma de quadrados devida à Idade é decomposta na soma de quadrados de "Regressão" (que corresponde à variação do volume de madeira com a idade que é "explicada" pela curva ajustada, logística ou de Gompertz) e na soma de quadrados devida à Falta de Ajustamento. O valor de F relativo à Falta de Ajustamento permite verificar se o modelo adotado é apropriado.

3.2.3. Determinação dos pontos ótimos

3.2.3.1. Determinação da Idade Ótima de Corte e das Doses Ótimas de Fertilizantes, quando se ajusta a função polinomial aos dados de crescimento do volume de madeira.

Seja t a idade, em anos, de um povoamento florestal, contada a partir do plantio, x_1 , x_2 , x_3 o número de doses utilizadas de, respectivamente, nitrogênio (sob a forma de sulfato de amônio), fósforo (superfosfato simples) e potássio (cloreto de potássio), aplicadas no momento do plantio e y o volume de madeira, em pé, por planta. A curva de crescimento, em volume, do povoamento florestal pode, então, ser genericamente representada por

$$y = f(t, x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

Considere-se, inicialmente, a determinação do máximo de y . As condições de primeira ordem, ou condições necessárias, são

$$f_t = \frac{\partial y}{\partial t} = 0$$

e

$$f_j = \frac{\partial y}{\partial x_j} = 0 \quad (j = 1, 2, 3)$$

As condições de segunda ordem se referem aos sinais dos menores principais do determinante Hessiano

$$F = \begin{vmatrix} f_{tt} & f_{t1} & f_{t2} & f_{t3} \\ f_{t1} & f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{t2} & f_{12} & f_{22} & f_{23} \\ f_{t3} & f_{13} & f_{23} & f_{33} \end{vmatrix}$$

cujos elementos são os valores de

$$f_{tt} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \quad f_{tj} = \frac{\partial^2 y}{\partial t \partial x_j} \quad (j = 1, 2, 3)$$

e $f_{hj} = \frac{\partial^2 y}{\partial x_h \partial x_j} \quad (h \leq j = 1, 2, 3)$ no ponto que satisfaz às condições de primeira ordem.

As condições de segunda ordem para máximo exigem que os menores principais de ordem ímpar sejam negativos e que os menores principais de ordem par sejam positivos. Assim, deve-se ter $f_{tt} < 0$, $f_{jj} < 0$ ($j = 1, 2, 3$),

$$\begin{vmatrix} f_{tt} & f_{t1} \\ f_{t1} & f_{11} \end{vmatrix} > 0, \quad \text{etc.}$$

Ressalte-se que as condições de segunda ordem, combinadas com as de primeira ordem, constituem condições suficientes para caracterizar um ponto de máximo.

A seguir é analisada a determinação do ponto ótimo econômico, isto é, a determinação dos valores de t , x_1 , x_2 e x_3 que maximizam o valor atual de receita líquida obtida com a exploração do povoamento florestal.

Seja p_y o preço da madeira em pé (ou o valor obtido, por unidade de volume, subtraindo-se do preço da madeira em certo local o custo de corte, carregamento e transporte até esse local). A receita obtida pelo proprietário do povoamento florestal, ao vender a madeira no instante t , é dada por

$$w = y p_y = p_y f(t, x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

Considerando uma taxa de juros com capitalização anual de $100r\%$ ao ano, o valor dessa receita no instante $t = 0$ é

$$w_0 = \frac{w}{(1+r)^t} = w (1+r)^{-t}$$

Como esta função apresenta descontinuidades por ocasião da capitalização dos juros, é preferível considerar juros com capitalização contínua. Seja ρ a taxa anual de juros com ca-

pitalização contínua equivalente a r . Então:

$$\begin{aligned} e^{\rho} &= 1 + r \\ \text{ou } \rho &= \ln(1 + r) \\ e \quad w_0 &= w e^{-\rho t} \end{aligned} \quad (3)$$

onde e é a base dos logarítmos naturais ou neperianos. A análise da variação de um valor com juros capitalizados continuamente pode ser vista em ALLEN (1965, pp. 259-263).

Substituindo (2) em (3), tem-se

$$w_0 = y p_y e^{-\rho t} = p_y f(t, x_1, x_2, x_3) e^{-\rho t} \quad (4)$$

Seja $Z = \phi(t, x_1, x_2, x_3)$ a função que mostra como varia, em função do tempo e das doses utilizadas de fertilizantes, o valor acumulado dos custos relativos ao povoamento florestal, incluindo juros.

Sendo T a idade em que se completou a formação do povoamento florestal, S o valor da terra ocupada e p_1, p_2, p_3 os preços das doses utilizadas, por planta, de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, tem-se:

$$\phi(T, x_1, x_2, x_3) = \theta + e^{\rho T} \sum_{j=1}^3 x_j p_j + S(e^{\rho T} - 1) \quad (5)$$

onde θ inclui os custos de planejamento e administração da formação do povoamento florestal, preparo do terreno, formação ou compra de mudas, plantio, tratos culturais, exceto adubação, e juros sobre o investimento

feito, exclusive valor da terra, até o instante T . Considere-se que a adubação foi efetuada no instante zero.

Admitamos que, depois de formado o povoamento florestal, o único custo, além dos juros sobre o investimento realizado, seja uma despesa anual constante igual a k , para limpeza de aceiros e vigilância (pagamento de guardas). No intervalo de tempo dt , o custo correspondente é, então, kdt . O valor acumulado dessas despesas no intervalo entre os instantes T e t , incluindo juros, é dado por

$$\int_T^t k e^{\rho(t-T)} dt = k \frac{e^{\rho(t-T)} - 1}{\rho} \quad (6)$$

Considerando (5) e (6), conclui-se que o montante dos custos relativos ao povoamento florestal num instante $t > T$ é

$$z = \phi(t, x_1, x_2, x_3) = \theta e^{\rho(t-T)} + e^{\rho t} \sum x_j p_j + S(e^{\rho t} - 1) + k \frac{e^{\rho(t-T)} - 1}{\rho}$$

O valor presente ou valor atual desse custo, isto é, o valor equivalente no instante $t = 0$, é

$$\begin{aligned} z_0 &= \phi(t, x_1, x_2, x_3) e^{-\rho t} = \\ &= \theta e^{-\rho T} + \sum p_j x_j + S(1 - e^{-\rho t}) + k \frac{e^{-\rho T} - e^{-\rho t}}{\rho} \end{aligned}$$

ou

$$z_0 = \theta e^{-\rho T} + \sum x_j p_j + S + \frac{k e^{-\rho T}}{\rho} - \left(S + \frac{k}{\rho}\right) e^{-\rho t} \quad (7)$$

Reportando-se todos os valores ao instante $t = 0$, pode-se obter, de acordo com (4) e (7), a seguinte expressão para o valor atual da receita líquida obtida com o povoamento florestal:

$$v_0 = \psi(t, x_1, x_2, x_3) = x_0 - z_0 =$$

$$= y p_y e^{-\rho t} - \left[\sum x_j p_j + S + \frac{k e^{-\rho T}}{\rho} + \theta e^{-\rho T} - \left(S + \frac{k}{\rho} \right) e^{-\rho t} \right]$$

ou

$$v_0 = \psi(t, x_1, x_2, x_3) = \left(y p_y + S + \frac{k}{\rho} \right) e^{-\rho t} - \sum x_j p_j - \theta e^{-\rho T} - S - \frac{k e^{-\rho T}}{\rho} \quad (8)$$

Considerem-se como idade ótima e como doses ótimas de fertilizantes aquelas que maximizam o valor dessa receita líquida.

As condições necessárias para se ter um máximo de v_0 são obtidas igualando a zero as derivadas de 1.ª ordem de (8) que são

$$\psi_t = \frac{\partial v_0}{\partial t} = p_y \frac{\partial y}{\partial t} e^{-\rho t} - \rho \left(y p_y + S + \frac{k}{\rho} \right) e^{-\rho t} \quad (9)$$

e

$$\psi_j = \frac{\partial v_0}{\partial x_j} = p_y \frac{\partial y}{\partial x_j} e^{-\rho t} - p_j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (10)$$

Igualando a zero e simplificando, obtêm-se

$$p_y \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (y p_y + S) + k \quad (11)$$

e

$$p_y \frac{\partial y}{\partial x_j} e^{-\rho t} = p_j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (12)$$

As equações (1), (11) e (12) constituem um sistema de equações, o qual permite obter os valores de t , x_1 , x_2 , x_3 que maximizam a receita líquida, dependendo da verificação das condições de segunda ordem.

As condições de segunda ordem se referem aos sinais dos menores principais do determinante Hessiano

$$\Psi = \begin{vmatrix} \psi_{tt} & \psi_{t1} & \psi_{t2} & \psi_{t3} \\ \psi_{t1} & \psi_{11} & \psi_{12} & \psi_{13} \\ \psi_{t2} & \psi_{12} & \psi_{22} & \psi_{23} \\ \psi_{t3} & \psi_{13} & \psi_{23} & \psi_{33} \end{vmatrix}$$

cujos elementos são os valores de

$$\psi_{tt} = \frac{\partial^2 v_0}{\partial t^2}, \quad \psi_{tj} = \frac{\partial^2 j}{\partial t \partial x_j} \quad (j = 1, 2, 3)$$

e

$$\psi_{hj} = \frac{\partial^2 j}{\partial x_h \partial x_j} \quad (h \leq j = 1, 2, 3) \text{ no ponto que satisfaz às}$$

condições de primeira ordem.

Para que o ponto determinado pelas condições de primeira ordem seja um máximo, os menores principais de Ψ devem ser negativos

se forem de ordem ímpar e positivos se forem de ordem par, isto é, deve-se ter

$$\psi_{tt} < 0, \psi_{jj} < 0 \quad (j = 1, 2, 3),$$

$$\begin{vmatrix} \psi_{tt} & \psi_{t1} \\ \psi_{t1} & \psi_{11} \end{vmatrix} > 0, \text{ etc.}$$

De (9) e (11) obtêm-se

$$\psi_{tt} = p_y f_{tt} e^{-\rho t} - \rho^2 \left(p_y y + S + \frac{k}{\rho} \right) e^{-\rho t} \quad (13)$$

De (10) e (12) obtêm-se

$$\psi_{tj} = p_y f_{tj} e^{-\rho t} - \rho p_j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (14)$$

e

$$\psi_{hj} = p_y f_{hj} e^{-\rho t} \quad (h \leq j = 1, 2, 3) \quad (15)$$

De (13) verifica-se que para $\psi_{tt} < 0$ deve-se ter

$$\frac{p_y f_{tt}}{p_y y + S + \frac{k}{\rho}} < \rho^2$$

Como $p_y y + S + \frac{k}{\rho} > 0$, conclui-se que para satisfazer a

condição $\psi_{tt} < 0$ é suficiente, conquanto não seja necessário, que $f_{tt} < 0$, isto é, que a curva de crescimento do volume de madeira seja côncava.

De (15) conclui-se que a condição $\psi_{jj} < 0$ é equivalente à condição $f_{jj} < 0$ ($j = 1, 2, 3$).

É interessante notar, outrossim, que as equações (11) e (12) podem ser interpretadas como igualdades entre a produtividade receita marginal do fator tempo e o custo marginal desse fator, que é a condição necessária usual para determinação de um ponto ótimo econômico.

De (1) tem-se:

$$p_y \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial x}{\partial t} ,$$

que corresponde ao primeiro termo da equação (11) e representa o acrêscimo do valor do povoamento com o tempo, ou seja, é a produtividade receita marginal do fator tempo.

Por outro lado, o segundo membro da equação (11) corresponde aos custos marginais do fator tempo, englobando as despesas de manutenção (k) e os juros, ou seja, o custo de oportunidade devido a manter-se empatado o capital correspondente ao valor do povoamento florestal, incluindo a terra.

Na equação (12) o primeiro termo representa o acrêscimo do valor atual do povoamento correspondente à utilização de mais uma unidade do respectivo fertilizante, ou seja, é a produtividade receita marginal do fertilizante. Por outro lado, verifica-se que o segundo membro desta equação corresponde ao custo marginal do emprego desse fator, pois é o preço da dose utilizada de cada fertilizante.

Cumprе ressaltar que ao se determinar o ponto ótimo de corte por meio do conjunto de equações (1), (11) e (12) não se está considerando qualquer possível influência dessa época de corte sobre o rendimento obtido nos cortes posteriores do mesmo povoamento.

Também é uma pressuposição do modelo que o preço de fertilizantes independe da quantidade comprada.

Além disso, pressupõe-se que no intervalo de resposta a madeira não sofra alterações significativas nas suas propriedades a ponto de afetar seus preços.

FERREIRA (1970) afirma que a densidade básica é o índice mais simples e o mais utilizado na determinação das qualidades da madeira, porque se correlaciona diretamente com o rendimento em fibras das madeiras normalmente empregadas nas indústrias de celulose e papel e também com as propriedades físico-mecânicas, podendo, em última análise, determinar os fins para os quais a madeira pode ser utilizada. Estudando a variabilidade da densidade básica em árvore de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith, nas idades de 5 e 7 anos, constatou, no estudo da variação da densidade básica média em função da altura, que a "análise das variâncias dos dados revelaram significância, ao nível de 5%, para a regressão linear". No estudo da variação da densidade básica média da árvore em função do DAP, constatou, para *Eucalyptus alba* Reinw que não houve significância para a regressão linear, enquanto que para *Eucalyptus saligna* Smith as análises das variâncias dos dados revelaram significância, ao nível de 5%. Outrossim destaca que apesar de tal fato,

persiste alta variação individual e, para um mesmo diâmetro, podem-se encontrar árvores com alta densidade básica média ao lado de outras com baixas densidades.

Observe-se que seria interessante que se estudasse a variabilidade da densidade básica em função da altura, DAP e outros fatores concomitantemente, através do ajustamento de regressão múltipla. Por outro lado, conquanto pareça haver modificações nas qualidades da madeira em função da variação no diâmetro e na altura, parece ser improvável que, no intervalo de tempo considerado, essas variações possam ser constatadas, a nível de mercado, a ponto de refletirem nos preços da madeira.

No caso em que é desprezado, além das despesas de manutenção (k) do povoamento florestal após sua formação, o custo de oportunidade correspondente aos juros do capital empatado em terra, a equação (11), uma das que permitem a determinação dos pontos de ótimo, pode ser simplificada. Neste caso, os valores de t , x_1 , x_2 e x_3 que maximizam a receita líquida serão dados pelo sistema de equações:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \rho y \quad (16)$$

e

$$p_y \frac{\partial y}{\partial x_j} e^{-\rho t} = p_j \quad (j = 1, 2, 3) \quad (12)$$

$$y = f(t, x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

3.2.3.2. Determinação da idade ótima de corte, quando se ajusta a função de Gompertz aos dados de crescimento do volume de madeira.

No caso da função de Gompertz,

$$y = f(t) = ab^{C^t}$$

onde \underline{a} , \underline{b} e \underline{C} são parâmetros, o valor da idade ótima de corte é a raiz da equação

$$G(t) = ab^{C^t} (C^t \ln b \ln C - \rho) - U = 0 \quad (17)$$

onde $U = \frac{\rho S + k}{p_y}$.

A solução desta equação pode ser obtida através de método iterativo baseado no desenvolvimento pela série de Taylor. A dedução desta equação e o método de resolução podem ser vistos em HOFFMANN e BERGER (1973).

Em se desprezando as despesas de manutenção (k) do povoamento após sua formação e o custo de oportunidade correspondente aos juros do capital empatado em terra, a equação que permite o cálculo da idade ótima de corte é:

$$t = \frac{\ln \rho - \ln (\ln b \ln C)}{\ln C} \quad (18)$$

A idade ótima de corte, neste caso, é uma função explícita da taxa de juros e dos parâmetros da função de crescimento do volume de madeira.

HOFFMANN e BERGER (1973) mostraram que um valor aproximado para a variância do valor de t obtido de (18) é dado por $V(t) =$

$$= \frac{\left[1 + \ln \left(\frac{\rho}{B \ln C}\right)\right]^2}{c^2 (\ln C)^4} V(C) + \frac{V(B)}{B^2 (\ln C)^2} + \frac{2 \left[1 + \ln \left(\frac{\rho}{B \ln C}\right)\right]}{B C (\ln C)^3} (\text{Cov})(B, C)$$

(19)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Modelo A. Função Logística

Foi possível ajustar aos dados a função logística. Os resultados da análise de regressão e da análise de variância dos logaritmos naturais do volume real de madeira em pé, para um dos seis blocos do ensaio, estão na Tabela 9.

Constata-se que a função logística se ajustou bem aos dados, sendo obtidos coeficientes de determinação elevados; o teste F para Regressão é sempre muito elevado. Entretanto, o valor de F para Falta de Ajustamento é significativo, ao nível de 5%, em todos os casos. Seria interessante, evidentemente, procurar-se outra função que melhor se ajustasse aos dados.

As diferenças entre tratamentos (aplicação de diferentes doses de fertilizantes e de corretivo) são significativas, ao nível de 5%, em todos os casos.

Verifica-se, também, que o valor do coeficiente de variação é bastante baixo, variando de 1,19% a 1,73%.

Tabela 9. Principais resultados da análise de regressão (conforme a equação logística: $y = \frac{a}{1+bc^t}$ ou

$$\ln y = A + \ln [1 + e^{-(B+Ct)}]) \text{ e da análise de variância dos logaritmos naturais do volume}$$

real de madeira em pé, por planta, para cada um dos seis blocos do ensaio, para *Eucalyptus*

saligna Sm. em solo de cerrado no Estado de São Paulo

Estatística	Blocos					
	1	2	3	4	5	6
\hat{A}	4,94010	4,91729	4,99483	4,85136	4,89333	4,74023
$s(\hat{A})$	0,09061	0,06799	0,10781	0,07007	0,07927	0,06979
\hat{B}	-1,43595	-1,48135	-1,50975	-1,43135	-1,45803	-1,35198
$s(\hat{B})$	0,05848	0,04473	0,06801	0,05328	0,05787	0,07595
\hat{C}	0,71859	0,74009	0,70706	0,77633	0,77105	0,83514
$s(\hat{C})$	0,09427	0,07332	0,10044	0,08990	0,09744	0,11735
$\hat{a} = e^{\hat{A}}(\text{dm}^3)$	139,78	136,63	147,65	127,91	133,40	114,46
$\hat{b} = e^{(-\hat{B})}$	4,20363	4,39889	4,52561	4,18434	4,29748	3,86508
$c = e^{(-\hat{C})}$	0,48744	0,47707	0,49309	0,46009	0,46253	0,43381
Coef. de de- terminação	0,92065	0,95104	0,90973	0,93026	0,91859	0,89217
Abcissa do ponto de in- flexão(anos)	2,00	2,00	2,14	1,84	1,89	1,62
Teste F para Regressão (lo- gística)	1.128,30*	1.829,02*	1.028,74*	1.471,24*	835,25*	862,63*
Falta de ajus- tamento	9,85*	22,65*	16,90*	22,51*	14,93*	14,46*
Idade	619,08*	925,68*	522,77*	749,40*	425,10*	438,54*
Tratamentos (adu- bos e corretivos)	7,30*	4,41*	6,02*	6,36*	2,95*	6,56*
Coeficiente de variação	1,40%	1,19%	1,59%	1,29%	1,73%	1,61%

Nota: O asterisco indica que o teste é significativo ao nível de 5%.

Em relação às estimativas dos parâmetros, note-se que as assíntotas das funções ajustadas variam de 114,46 a 147,65 dm³ de volume real de madeira, por árvore, em pé.

4.2. Modelo B. Função de Gompertz

Foi possível ajustar aos dados a curva de Gompertz. Os principais resultados da análise de regressão e da análise de variância dos logaritmos dos volume real de madeira em pé, para cada um dos seis blocos do ensaio, estão na Tabela 10.

Verifica-se que a função de Gompertz se ajustou bem aos dados, sendo obtidos coeficientes de determinação elevados; o valor de teste F para Regressão é sempre muito elevado. Entretanto, o valor de F para falta de ajustamento é significativo, ao nível de significância de 5%, em todos os casos. Seria interessante, em outra pesquisa, procurar-se uma função que se ajustasse melhor aos dados que a curva de Gompertz e que a curva logística (Tabela 10).

Quanto às estimativas dos parâmetros, cumpre notar que a assíntota das curvas ajustadas varia de 127,04 a 187,38 dm³ de volume real de madeira, por árvore, em pé.

Tabela 10. Principais resultados da análise de regressão (conforme a equação de Compertz: $y = ab^{C^t}$ ou $\ln y = A + BC^t$) e da análise de variância em blocos incompletos dos logaritmos naturais do volume real de madeira, para cada um dos seis blocos do ensaio, para *Eucalyptus saligna* Sm. em solo de cerrado no Estado de São Paulo

Estatística	Blocos					
	1	2	3	4	5	6
\bar{A}	5,13331	5,10808	5,23316	5,00472	5,05556	4,84453
$s(\bar{A})$	0,17207	0,13015	0,22070	0,12646	0,14449	0,11399
\bar{B}	-1,94725	-1,99222	-2,04105	-1,92891	-1,95888	-1,84620
$s(\bar{B})$	0,07865	0,05747	0,11276	0,05769	0,06397	0,08916
\bar{C}	0,67409	0,66595	0,69299	0,63868	0,64430	0,59330
$s(\bar{C})$	0,06136	0,04751	0,06731	0,05549	0,06053	0,06669
$\hat{a} = e^{\bar{A}}(\text{dm}^3)$	169,58	165,35	187,38	149,11	156,89	127,04
$\hat{b} = e^{\bar{B}}$	0,14267	0,13639	0,12989	0,14531	0,14101	0,15783
Coef. de determinação	0,91892	0,94893	0,90741	0,92779	0,91618	0,59330
Abcissa do ponto de inflexão (anos)	1,69	1,70	1,95	1,47	1,53	1,17
Teste F para Regressão (Compertz)	1.226,00*	1.824,96*	1.026,13*	1.472,24*	833,06*	859,94*
Falta de ajustamento	12,16*	26,71*	19,51*	26,51*	17,12*	16,92*
Idade	619,08*	925,68*	522,77*	749,40*	425,10*	438,54*
Tratamentos (adubos e corretivo)	7,30*	4,41*	6,02*	6,36*	2,95*	6,56*
Coef. de variação	1,40%	1,19%	1,59%	1,29%	1,73%	1,61%

Nota: O asterisco indica que o teste é significativo ao nível de 5%.

Na Tabela 11 é apresentado o valor da idade ótima de corte obtido da expressão (18), ou seja, desprezando-se as despesas de manutenção após a formação do povoamento florestal e o valor dos juros sobre o capital empatado em terra. É dado o valor da idade ótima para taxas de juros com capitalização anual variando de 5% a 18% ao ano, para cada um dos seis blocos do ensaio. É apresentada também uma estimativa do desvio padrão da idade ótima, obtida de acordo com (19).

A uma taxa de 10% ao ano, verifica-se que a idade ótima está entre 4,4 e 5,6 anos, apresentando um valor médio de 5,1 anos.

À medida que a taxa de juros sobe, a idade ótima de corte diminui. Para uma taxa de 5% ao ano, a idade ótima está entre 5,7 e 7,4 anos, apresentando um valor médio de 6,7 anos e para 18% ao ano está entre 3,4 e 4,1 anos, com um valor médio de 3,8 anos.

Os valores do desvio padrão da idade ótima são razoavelmente baixos e decrescem à medida que aumenta a taxa de juros.

Tabela 11 - Idade ótima de corte, em anos, e estimativa do respectivo desvio padrão para seis blocos de *Eucalyptus saligna* Sm., a taxas de juros de 5% a 18% ao ano, desprezando-se as despesas de manutenção e os juros sobre o valor da terra.

Taxa anual de juros para capitalização anual	Taxa anual de juros para capitalização contínua	B L O C O S					
		1	2	3	4	5	6
0,05	0,0488	6,99±0,69	6,91±0,54	7,44±0,88	6,41±0,50	6,53±0,70	5,71±0,49
0,06	0,0583	6,54±0,63	6,47±0,49	6,96±0,80	6,02±0,45	6,13±0,63	5,37±0,44
0,07	0,0677	6,16±0,57	6,11±0,45	6,55±0,73	5,68±0,41	5,79±0,58	5,09±0,40
0,08	0,0770	5,83±0,52	5,79±0,41	6,20±0,67	5,40±0,38	5,50±0,53	4,84±0,37
0,09	0,0862	5,55±0,48	5,51±0,38	5,89±0,62	5,14±0,35	5,24±0,49	4,63±0,34
0,10	0,0953	5,29±0,45	5,26±0,35	5,62±0,57	4,92±0,32	5,01±0,45	4,43±0,31
0,11	0,1044	5,06±0,41	5,04±0,33	5,37±0,53	4,72±0,30	4,80±0,42	4,26±0,29
0,12	0,1133	4,85±0,38	4,84±0,30	5,15±0,49	4,53±0,28	4,61±0,39	4,10±0,27
0,13	0,1222	4,66±0,35	4,65±0,28	4,94±0,46	4,36±0,26	4,44±0,36	3,96±0,25
0,14	0,1310	4,48±0,33	4,48±0,26	4,75±0,43	4,21±0,24	4,28±0,34	3,82±0,23
0,15	0,1398	4,32±0,30	4,32±0,24	4,58±0,40	4,07±0,22	4,14±0,31	3,70±0,21
0,16	0,1484	4,17±0,28	4,17±0,23	4,41±0,37	3,93±0,21	4,00±0,29	3,58±0,20
0,17	0,1570	4,02±0,26	4,03±0,21	4,25±0,34	3,81±0,19	3,87±0,27	3,48±0,18
0,18	0,1655	3,89±0,24	3,90±0,20	4,11±0,32	3,69±0,18	3,75±0,25	3,37±0,17

Na Tabela 12 é apresentado o valor da idade ótima de corte obtida resolvendo-se a equação

$$G(t) = ab^{C^t} (C^t \ln b \ln C - \rho) - U = 0 \quad (17)$$

admitindo-se que

$$U = \frac{\rho S + k}{p_y} = \frac{\rho \cdot 2,304}{0,03},$$

ou seja, desprezando-se as despesas de manutenção (k) após a formação do povoamento florestal e adotando-se os seguintes preços:

I) Cr\$5.120,00 por hectare, que era o preço médio, em janeiro de 1975, de terra para reflorestamento, no Estado de São Paulo, o que corresponde a Cr\$2,304 por $4,5 \text{ m}^2$, que é a área ocupada por planta (ver IEA, 1975a, p.48).

II) Cr\$30,00 por m^3 de volume real de madeira em pé, o que equivale a Cr\$0,03 por dm^3 , valor estimado com base em informações junto a empresas.

Observa-se, na Tabela 12, que para uma taxa de juros de 10%, a idade ótima está entre 3,3 a 4,3 anos, apresentando, em média, um valor igual a 3,8 anos.

À medida que cresce a taxa de juros, o valor da idade ótima diminui. Para juros de 5% ao ano, a idade ótima varia entre 4,7 e 6,3 anos, sendo, em média, estimada em 5,6 anos. Para juros de 18% ao

ano, a idade ótima está entre 1,8 a 2,2 anos, sendo, em média, estimada em 2 anos.

Nota-se que a variação da idade ótima de corte, para uma dada taxa de juros, não é muito grande de bloco para bloco, sendo os valores mais altos sempre os correspondentes ao bloco 3 e os menores ao bloco 6. O mesmo pode ser constatado, na Tabela 11, na análise em que se desprezam os juros sobre o valor da terra. Este fato deve ser compreendido tendo em vista as características da função ajustada. Pode-se verificar que, na função de Gompertz, os acréscimos relativos são dados por

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = BC^t \ln C$$

Considerando-se os valores dos parâmetros estimados, verifica-se que, com 1 ano de idade, a taxa de crescimento relativo do volume de madeira é igual a 22,5% e 24,8% para os blocos 3 e 6, respectivamente. Aos 6 anos de idade, essas taxas de crescimento relativo passam a ser, respectivamente, 3,6% e 1,8%. A maior queda do valor da taxa de crescimento, que se verifica para o bloco 6, deve-se, obviamente, ao menor valor de C neste caso.

Tratando-se de experimento em blocos incompletos, as diferenças entre blocos são devidas às diferenças de condições de solo e aos diferentes tratamentos. Note-se, outrossim, que os blocos 2, 4 e 6 apresentam os mesmos tratamentos dos blocos 1, 3 e 5, respectivamente, razão por que as diferenças entre 1 e 2, entre 3 e 4 e entre 5 e 6 devem-se exclusivamente ao efeito das diferentes condições de solo.

A idade ótima depende de fatores edáficos, climáticos, tra-
tos culturais e outros, e, nesse sentido, deve-se ressaltar que os re-
sultados apresentados na Tabela 12, assim como na Tabela 11, referem-se
especificamente aos dados analisados.

A obtenção de resultados mais genéricos implica efetuar
análises semelhantes para outros dados.

Tabela 12. Idade ótima de corte, em anos, para cada um dos seis blocos
de experimento de *Eucalyptus saligna* Sm, a taxas de juros de
5% a 18% ao ano, considerando-se a relação entre os preços
da terra (por 4,5 m²) e do volume real de madeira em pé (por
dm³) igual a 2,304/0,03.

Taxa anual de juros com capita- lização a- nual	Taxa anual de juros com capita- lização contínua	B L O C O S					
		1	2	3	4	5	6
0,05	0,0488	5,88	5,82	6,34	5,34	5,48	4,69
0,06	0,0583	5,39	5,34	5,82	4,92	5,05	4,32
0,07	0,0677	4,98	4,94	5,37	4,55	4,68	4,01
0,08	0,0770	4,61	4,58	4,97	4,23	4,35	3,73
0,09	0,0862	4,28	4,26	4,62	3,94	4,06	3,48
0,10	0,0953	3,98	3,97	4,29	3,67	3,79	3,26
0,11	0,1044	3,70	3,70	4,00	3,43	3,54	3,05
0,12	0,1133	3,43	3,45	3,71	3,20	3,31	2,85
0,13	0,1222	3,19	3,21	3,45	2,99	3,09	2,67
0,14	0,1310	2,95	2,98	3,19	2,78	2,88	2,50
0,15	0,1398	2,72	2,76	2,94	2,58	2,68	2,33
0,16	0,1484	2,49	2,54	2,70	2,39	2,49	2,16
0,17	0,1570	2,26	2,32	2,45	2,19	2,29	2,00
0,18	0,1655	2,03	2,10	2,20	2,00	2,10	1,84

4.3. Modelo C. Função Polinomial

A partir dos dados foi possível ajustar a equação de regressão abaixo, cujas estimativas dos respectivos desvios padrão são apresentadas nos parênteses.

$$\begin{aligned} \hat{y} = & - 2,98191 + 44,9872 t - 4,73728 t^2 - 0,20977 x_1 - 0,35139 x_1^2 + \\ & (4,46133) \quad (3,04910) \quad (0,54251) \quad (2,25175) \quad (0,81385) \\ & + 2,22315 x_2 - 1,08056 x_2^2 - 5,36633 x_3 + 0,09444 x_3^2 + 0,24811 tx_1 + \\ & (2,25175) \quad (0,81385) \quad (2,25175) \quad (0,81385) \quad (0,47973) \\ & + 1,28665 tx_2 + 1,14920 tx_3 - 0,69167 x_1x_2 + 2,28230 x_1x_3 + \\ & (0,47973) \quad (0,47973) \quad (0,57548) \quad (0,57548) \\ & + 1,48281 x_2x_3 + 2,68009 C - 1,76668 Z_1 + \\ & (0,57548) \quad (0,76730) \quad (1,32901) \\ & + 1,36665 Z_2 - 3,19029 Z_3 - 0,68335 Z_4 - 6,31946 Z_5 \\ & (1,32901) \quad (1,32901) \quad (1,32901) \quad (1,32901) \end{aligned}$$

onde

\hat{y} é o valor estimado do volume real de madeira em pé, por árvore, em dm^3 .

t é a idade das plantas, contada após o plantio, em anos.

x_1 é a quantidade empregada de nitrogênio, em número de doses de 30 quilogramas de N por hectare ou 13,5 gramas por planta.

x_2 é a quantidade empregada de fósforo, em número de doses de 40 quilogramas de P_2O_5 por hectare ou 18 gramas por planta.

x_3 é a quantidade empregada de potássio, em número de doses de 50 quilogramas de K_2O por hectare ou 22,5 gramas por planta.

e

C, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 e Z_5 são variáveis binárias, de forma que C permite indicar o efeito da aplicação de calcário e as demais os seis diferentes blocos considerados na análise.

Foram desprezados os dados referentes à idade de 1,14 anos, por apresentarem valores sempre inferiores aos que correspondem aos do ponto de inflexão. Com os dados referentes às 4 idades subsequentes, o número total de observações foi 432.

O coeficiente de determinação (R^2) obtido foi 0,895 e o valor do teste F da Regressão foi 175,17 (significativo ao nível de 5%).

Constata-se, por outro lado, que os termos quadráticos têm coeficientes negativos, com exceção de X_3^2 . É condição necessária, para a existência de máximo, que todos os termos quadráticos tenham coeficientes negativos e, para a existência de mínimo, que todos esses coeficientes sejam positivos. Se ocorrer o aparecimento simultâneo de termos positivos e negativos, o ponto não é de máximo nem de mínimo, e sim um ponto de sela.

Dessa forma, a variável K foi suprimida, e reiniciado o ajustamento de equações, antes de quaisquer outras análises.

PIMENTEL GOMES (1969) ressalta que "nos estudos econômicos de ensaios de adubação (e também em estudos similares de máximos e mínimos de superfícies de resposta) a possibilidade de aparecimento de mínimos e de pontos de sela não tem sido considerada", o que tem gerado

conclusões erradas em vários trabalhos publicados. Cita, outrossim, que CAMPOS (1967) analisando 50 bons ensaios fatoriais 3 x 3 x 3 de adubação com N, P e K, e levando em conta o comportamento da diferencial segunda, encontrou 42 casos de pontos de sela, 1 de mínimo e 7 de máximo.

Antes, fora tentado o ajustamento da função cúbica, tendo-se constatado multicolinearidade em grau muito elevado, razão por que essa análise foi abandonada.

Excluída a variável K, foi possível ajustar a equação de regressão a seguir, cujas estimativas dos respectivos desvios padrão das estimativas dos parâmetros estão assinaladas nos parênteses:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & - 8,19083 + 46,13636 t - 4,73727 t^2 + 2,07252 x_1 - 0,35139 x_1^2 + \\ & (4,34012) \quad (3,13219) \quad (0,56431) \quad (2,26449) \quad (0,84656) \\ & + 3,70596 x_2 - 1,08056 x_2^2 + 0,24811 tx_1 + 1,28665 tx_2 - 0,69167 x_1x_2 + \\ & (2,26449) \quad (0,84656) \quad (0,49902) \quad (0,49902) \quad (0,59861) \\ & + 2,68009 C - 1,76668 Z_1 + 1,36665Z_2 - 3,19029Z_3 - 0,68335Z_4 - 6,31946Z_5 \\ & (0,79815) \quad (1,38243) \quad (1,38243) \quad (1,38243) \quad (1,38243) \quad (1,38243) \end{aligned}$$

O coeficiente de determinação (R^2) obtido foi 0,885 e o valor do teste F da Regressão foi 213,44 (significativo ao nível de 5%).

A determinação do valor da idade ótima de corte e das doses ótimas de fertilizantes foi feita a partir do sistema de equações(1) (11) e (12), no caso de se considerarem os juros sobre a terra e a partir do sistema de equações (1), (12) e (16), no caso de serem desprezados os mesmos.

Os preços adotados para a determinação da idade ótima de corte e das doses ótimas de fertilizantes foram os mesmos adotados para a determinação da idade ótima de corte quando o volume cresce conforme a função de Gompertz, além dos seguintes:

I) Cr\$2.023,25 por tonelada de sulfato de amônio, com aproximadamente 20% de nitrogênio (N), que era o preço médio, em janeiro de 1975, em São Paulo, e que corresponde a Cr\$ 0,13657 por dose de 30 quilogramas de N por hectare ou 13,5 gramas por planta, sem se considerarem subsídios e Cr\$ 0,08194, considerando-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes (ver IEA, 1975b, p. 11).

II) Cr\$ 1,299,17 por tonelada de superfosfato simples, com aproximadamente 20% de P_2O_5 , que era o preço médio, em janeiro de 1975, em São Paulo, o que corresponde a Cr\$ 0,117 por dose de 40 quilogramas de P_2O_5 por hectare ou 18 gramas por planta, sem se considerarem subsídios, e Cr\$ 0,0702 considerando-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes. (ver IEA, 1975b, p. 11).

A análise foi feita com e sem um subsídio de 40% aos preços dos fertilizantes. As taxas de juros utilizadas foram de 5% e de 10% ao ano, com capitalização anual, sendo considerada a hipótese da inclusão dos juros sobre o valor da terra e a de sua exclusão. Foram desprezadas as despesas de manutenção, após a formação do povoamento florestal.

Em todos os casos considerados, o valor obtido da dose ótima de nitrogênio foi negativo, razão por que a análise foi refeita

admitindo-se dose zero para esse fertilizante.

Em todos os casos foram verificadas as condições de segunda ordem para máximo.

Na Tabela 13 é apresentado o valor da idade ótima de corte e das doses ótimas de fertilizantes para os preços considerados, admitindo ou não o mencionado subsídio, para uma taxa de juros de 10% ao ano, capitalizados anualmente, com e sem aplicação de calcário.

Observa-se que, considerando-se subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes, a idade ótima de corte está entre 3,3 e 3,4 anos e a dose ótima de fósforo (P_2O_5) varia entre 88 e 89 kg por hectare.

Sem se admitirem subsídios, a idade ótima está entre 3,2 e 3,3 anos e a dose ótima de fósforo varia entre 47 e 48 kg de P_2O_5 por hectare.

Constata-se ser pequena a variação devida aos efeitos de blocos e da aplicação de calcário na determinação da idade ótima de corte e da dose ótima de fósforo. Por outro lado, observa-se que a adoção de um subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes eleva substancialmente o valor da dose ótima de fósforo, que aumenta em aproximadamente 86%, ao passo que tem pequena influência na determinação da idade ótima de corte.

Quadro 13. Idade ótima de corte, em anos, e dose ótima de fósforo (P_{205}), em kg/ha, com e sem aplicação de calcário, para *Eucalyptus saligna* Sm, a uma taxa de juros de 10% ao ano, admitindo-se ou não subsídio de 40% nos preços de fertilizantes e desprezando-se as despesas de manutenção.

Blocos	com subsídio de 40%				sem subsídio			
	sem calcário		com calcário		sem calcário		com calcário	
	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)
1	3,34	88,6	3,31	88,0	3,26	47,7	3,23	47,3
2	3,35	88,8	3,33	88,4	3,27	47,9	3,25	47,6
3	3,32	88,2	3,30	87,9	3,24	47,4	3,22	47,2
4	3,37	89,1	3,34	88,6	3,28	48,0	3,26	47,7
5	3,34	88,6	3,32	88,2	3,26	47,7	3,24	47,4
6	3,39	89,5	3,37	89,1	3,31	48,5	3,29	48,2

Nota: A dose de nitrogênio é sempre zero.

Na Tabela 14 pode-se observar o valor da idade ótima de corte e das doses ótimas de fertilizantes para os preços considerados, com e sem subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes, a uma taxa de juros de 10% ao ano, com capitalização anual, com e sem aplicação de calcário, e desprezando-se, além das despesas de manutenção após a formação do povoamento florestal, também os juros sobre o valor da terra.

Observa-se que, admitindo-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte está entre 4,0 e 4,1 anos e a dose ótima de fósforo varia entre 100 e 102 kg de P_2O_5 por hectare.

Sem se admitirem subsídios, a idade ótima de corte está entre 3,9 e 4,0 anos e a dose ótima de fósforo está entre 57 e 58 kg por hectare.

A adoção de subsídio de 40% nos preços de fertilizantes implica vigoroso incremento no valor da dose ótima de fósforo, que aumenta em aproximadamente 76% conquanto tenha influência pequena na determinação da idade ótima de corte.

Desprezando-se o valor dos juros sobre a terra, o valor da idade ótima de corte é maior, assim como o da dose ótima de fósforo, o que pode ser constatado, comparando-se com os resultados apresentados na Tabela 13.

Tabela 14. Idade ótima de corte, em anos, e dose ótima de fósforo (P_{2O_5}), em kg/ha, com e sem aplicação de calcário, para *Eucalyptus saligna* Sm, a uma taxa de juros de 10% ao ano, admitindo-se ou não subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes e desprezando-se as despesas de manutenção e os juros sobre o valor da terra

Blocos	com subsídio de 40%				sem subsídios			
	sem calcário		com calcário		sem calcário		com calcário	
	idade (anos)	P_{2O_5} (kg/ha)	idade (anos)	P_{2O_5} (kg/ha)	idade (anos)	P_{2O_5} (kg/ha)	idade (anos)	P_{2O_5} (kg/ha)
1	4,04	101,1	4,02	100,8	3,95	57,5	3,93	57,2
2	4,06	101,5	4,03	101,0	3,97	57,7	3,94	57,3
3	4,03	101,0	4,00	100,4	3,94	57,3	3,91	56,9
4	4,07	101,7	4,05	101,3	3,98	57,9	3,96	57,6
5	4,05	101,3	4,02	100,8	3,96	57,6	3,93	57,2
6	4,10	102,2	4,08	101,9	4,01	58,3	3,99	58,0

Nota: A dose de nitrogênio é sempre zero.

Na Tabela 15 é apresentado o valor da idade ótima de corte e das doses ótimas de fertilizantes para os preços considerados, considerando-se ou não subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, a uma taxa de juros de 5% ao ano, com capitalização anual, com e sem aplicação de calcário, e desprezando-se, além das despesas de manutenção após a formação do povoamento florestal, também os juros sobre o valor da terra.

Observa-se que, admitindo-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte está entre 4,6 e 4,7 anos e a dose ótima de fósforo varia entre 125 e 126 quilogramas de P_2O_5 por hectare.

Sem se admitirem subsídios, a idade ótima de corte está entre 4,5 e 4,6 anos e a dose ótima de fósforo está entre 86 e 87 quilogramas por hectare.

A adoção do subsídio de 40% nos preços de fertilizantes eleva substancialmente o valor da dose ótima de fósforo, que aumenta em aproximadamente 44%, conquanto tenha pequeno efeito na determinação da idade ótima de corte.

A uma taxa de juros mais baixa, é maior o valor da idade ótima de corte e da dose ótima de fertilizante. Isso pode ser verificado comparando-se com os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 15. Idade ótima de corte, em anos, e dose ótima de fósforo (P_{205}), em kg/ha, com e sem aplicação de calcário, para *Eucalyptus saligna* Sm, a uma taxa de juros de 5% ao ano, admitindo-se ou não subsídio de 40% nos preços dos fertilizantes e desprezando-se as despesas de manutenção e os juros sobre o valor da terra.

Blocos	com subsídio de 40%				sem subsídio			
	sem calcário		com calcário		sem calcário		com calcário	
	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)	idade (anos)	P_{205} (kg/ha)
1	4,66	125,2	4,64	124,8	4,55	86,8	4,54	86,8
2	4,67	125,4	4,65	125,0	4,56	87,0	4,55	86,8
3	4,65	125,0	4,64	124,8	4,54	86,6	4,53	86,4
4	4,67	125,4	4,66	125,2	4,57	87,2	4,55	86,8
5	4,66	125,2	4,65	125,0	4,55	86,8	4,54	86,6
6	4,70	126,0	4,68	125,6	4,58	87,4	4,57	87,2

Nota: A dose de nitrogênio é sempre zero.

Observa-se, em todos os casos analisados, que a aplicação de calcário traduz-se invariavelmente em redução no valor da idade ótima de corte e da dose ótima de fósforo. Esta variação é, contudo, muito pequena.

O bloco 6, considerando-se a aplicação de calcário, foi o que apresentou, em todos os casos analisados, os valores mais elevados para idade ótima de corte e para dose ótima de fósforo. O bloco 3, sem se considerar a aplicação de calcário, apresentou os valores mais baixos.

A pequena variação na determinação da idade ótima de corte e da dose ótima de fertilizante como efeito de blocos (solo) e da aplicação de calcário é, em grande parte, consequência das características da função ajustada (polinomial), onde se admite que os coeficientes das variáveis t , x_1 e x_2 não são afetados, mas apenas o intercepto, que é representado pelo termo constante, e corresponde ao nível da hipersuperfície num espaço tetradimensional (y , t , x_1 e x_2).

Estas características explicariam também o fato do bloco 6 apresentar, em todos os casos analisados, os valores mais elevados para a idade de corte, enquanto o bloco 3 sempre os menores. Como o bloco 6 é o que apresenta os menores valores para o termo constante, e o bloco 3 os maiores, os maiores acréscimos relativos no volume, a uma mesma idade considerada, serão os do bloco 6 e os menores os do bloco 3, conquanto os acréscimos absolutos sejam iguais. Portanto, sendo a idade ótima de corte determinada em função do valor dos acréscimos relativos, o bloco 6 deverá apresentar maior valor da idade ótima de corte, ou seja, demorará

mais tempo até que o ponto em que a produtividade receita marginal do fator tempo seja igual ao seu custo marginal. O inverso deve ocorrer com o bloco 3.

5. CONCLUSÕES

Os resultados desse trabalho foram obtidos através do ajustamento de funções de Gompertz, logística e polinomial aos dados de volume real de madeira obtidos de um experimento de adubação de *Eucalyptus saligna* Sm, em solos de cerrado no Estado de São Paulo

No caso das funções sigmóides, os seis blocos do ensaio foram considerados separadamente. Nesse caso, para cada bloco foi feita uma análise de variância considerando dois critérios de variação, sendo o efeito da aplicação de adubos e corretivos considerado como "tratamentos". A soma de quadrados referente a Idade (com 4 graus de liberdade) foi decomposta numa soma de quadrados de "regressão" conforme a função de Gompertz ou logística (com 2 graus de liberdade) e uma soma de quadrados de "falta de ajustamento" (com 2 graus de liberdade).

Foram determinadas, no caso em que o volume cresce de conformidade com a função polinomial, a idade ótima de corte e as doses ótimas de fertilizantes, admitindo-se que o empresário deseja maximizar o valor da receita líquida em certo instante.

Foram considerados juros com capitalização contínua, a fim de obter funções contínuas e deriváveis. No caso do ajustamento da curva de Gompertz, foi determinada a idade ótima de corte, com base nas mesmas pressuposições.

Nessas análises, considerou-se como Cr\$ 5.120,00 por hectare o preço médio da terra nua para reflorestamento, Cr\$ 30,00 o preço do m³ de volume real de madeira em pé, Cr\$ 2.023,25 o preço da tonelada de sulfato de amônio (20% de N), e Cr\$ 1.299,17 o preço da tonelada de superfosfato simples (20% de P₂O₅). Os dados são os publicados pelo Instituto de Economia Agrícola, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, correspondentes a janeiro de 1975, exceto o do preço da madeira, obtido junto a empresas.

A análise foi feita com e sem um subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, e considerando-se ou não os juros sobre o capital empastado em terra.

Os resultados obtidos e as conclusões são os seguintes:

- a) as funções de Gompertz e logística se ajustaram bem aos dados, sendo o teste F para Regressão sempre muito elevado.
- b) O valor de F para falta de ajustamento, no entanto, foi significativo em todos os casos, ao nível de 5%. Seria interessante que em outra pesquisa fosse procurada função que melhor se adaptasse aos dados.

- c) No caso em que o volume de madeira cresce segundo a função de Gompertz, para uma taxa de juros de 10% ao ano, desprezando-se os juros sobre o capital empatado em terra, a idade de corte é, em média, igual a 5,1 anos.
- d) Considerando-se juros de 10% ao ano sobre o capital em patado inclusive terra, a idade ótima de corte é, em média, 3,8 anos.
- e) À medida que aumenta a taxa de juros, diminui o valor da idade ótima de corte. Desprezando-se os juros sobre o capital empatado em terra, a idade ótima de corte é, em média, para juros de 5% ao ano, 6,7 anos e pa ra 18% ao ano é 3,8 anos.
- f) No ajustamento da função polinomial, constatou-se que o único termo quadrático positivo era o da variável po tássio. O aparecimento simultâneo de termos quadráticos positivos e negativos indica que a função não apre senta máximo nem mínimo, e sim ponto de sela, sendo por essa razão suprimida a variável potássio e novamente ajustada a equação polinomial. A equação obtida apresentou um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,885 e o valor do teste F para Regressão foi significativo ao nível de 5%.

- g) O valor obtido da dose ótima de nitrogênio foi negativo em todas as hipóteses consideradas, razão por que a análise, com o crescimento de volume de madeira fazendo-se segundo a função polinomial, foi refeita admitindo dose zero para esse fertilizante.
- h) Para juros de 10% ao ano, desprezando-se os juros sobre o valor da terra e sem se admitirem subsídios nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte é, em média, 3,9 anos e a dose ótima de fósforo é 57 kg de P_2O_5 por ha. Admitindo-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte é, em média, 4,0 anos e a dose ótima de fósforo 101 kg de P_2O_5 por ha.
- i) Para juros de 5% ao ano, desprezando-se os juros sobre o valor da terra e sem se admitirem subsídios nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte é, em média, 4,6 anos e a dose ótima de fósforo é 87 kg de P_2O_5 por ha. Admitindo-se subsídio de 40% nos preços de fertilizantes, a idade ótima de corte é, em média, 4,7 anos e a dose ótima de fósforo é 135 kg de P_2O_5 por ha.
- j) A adoção de subsídio de 40% nos preços de fertilizantes implica significativo incremento no valor da dose ótima de fósforo, ao passo que tem pequeno efeito na determinação da idade ótima de corte.

SUMMARY

The main objective of the present study was to determine the most economic cutting age and the most economic amounts of fertilizers for *Eucalyptus saligna* Sm, based on a 3 x 3 x 3 x 2 factorial experiment, with N, P, K and lime, with six incomplete blocks, each with 18 treatments. The experiment was conducted in Moji-Guaçu, State of São Paulo.

The following functions were adjusted to the data relating to amount of wood: Gompertz' function (through the method proposed by STEVENS, 1951), logistic (method proposed by NELDER, 1961) and polynomial (least square, multiple regression method).

The most economic age was determined admitting that the amount of wood was increasing according to the Gompertz' function. In the case of the polynomial function, the most economic amounts fertilizers were also determined. It was assumed that the manager desired to maximize the present value of net income.

The main conclusions drawn were:

- a) with amount of wood increasing according to the Gompertz' function, for an interest rate of 10% p.a., disregarding interest on land value, the average most economic cutting age was 5.1 years.
- b) the most economic cutting age decreases as interest rate increases. Disregarding interest on land value, for an interest rate of 5% p.a., the average most economic cutting age is 6.7 years and for 18% p.a. it is 3.8 years.
- c) with the amount of wood increasing according to the polynomial function, at the point which corresponds to maximum present value of net income, the most economic amount of phosphorus is positive.
- d) for an interest rate of 10% p.a., disregarding interest on land value and assuming a 40% subsidy on price of fertilizers, the average most economic cutting age is 4.0 years and the most economic amount of phosphorus is 101 kg of P_2O_5 per ha. Not considering subsidies, the most economic average cutting age is 3.9 years and most economic amount of phosphorus is 57 kg/ha.
- e) for an interest rate of 5% p.a., disregarding interest on land value and assuming a 40% subsidy on price of fertilizers, the average most economic cutting age is

4.7 years and the most economic amount of phosphorus is 135 kg of P_2O_5 per ha.

- f) the adoption of a 40% subsidy on price of fertilizers implies a significant increase in the economic amount of phosphorus, whereas it has little effect on the economic cutting age.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, R.G.D., 1965. Análise Matemática para Economistas. Editora Fundo de Cultura S.A. Rio de Janeiro. 2 volumes, 630 p.
- BEAUCORPS, G., 1957. Rapports entre les peuplements d'eucalyptus et les sols sableux de la Mamora et du Rharb. Ann.Rech.For.Maroc 5:29-216.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas, 1960. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Bol. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 12, 634 p.
- BRASIL, Banco Central do Brasil, 1975. Regulamento do Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO). Circular nº 259. Brasília, 9 p.
- BRUCE, D. e F.X. SCHUMAKER, 1950. Forest Mensuration. New York, McGraw-Hill Book Inc., 483 p.

- CAMPOS, H., 1967. Aspectos da Aplicação da Superfície de Resposta a Ensaio Fatorial 3³ de Adubação. Piracicaba, ESALQ/USP. 82 p. (Tese de Docência-Livre).
- CARRÃO, Fº, A. de M. e A.G. ZAGATTO, 1965. Estudo da Rentabilidade da Exploração de Pinus sp. (não publicado). 7 p.
- COUTO, H.T.Z. do, (s.d.). Equações Dendrométricas (trabalho inédito).
- DICKS, H.M. et alii, 1967. Fertilizing speeds growth. World Word 8:51.
- DOS ANJOS, N.M. e J.F. de NORONHA, 1974. Análise dos Mercados Internacional e Brasileiro de Fertilizantes. XII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Economistas Rurais, Porto Alegre. 25 p.
- FERRI, M.G., 1969. Plantas do Brasil - Espécies do Cerrado. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda.
- FERREIRA, M., 1970. Estudo da Variação da Densidade Básica da Madeira de *Eucalyptus alba* Reinw e *Eucalyptus saligna* Smith. IPEF. Piracicaba. 1: 83-96.
- GALOUX, A., 1954. La fertilization minerale en sylviculture. Trav. Sta. Rech. Groenendaal. 62 p.

GODOY, H. e A.A. ORTOLANI, (s.d.). Carta Climática do Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, Secretaria da Agricultura.

HOFFMANN, R. e A.C. de M. THAME, 1970. Determinação da Idade Ótima para Primeiro Desbaste em Povoamentos de *Pinus caribaea*. Agro-Econômico, Brasília, Ano II, 2.

HOFFMANN, R. e R. BERGER, 1973. Determinação da idade ótima de corte de povoamentos de *Eucalyptus*. Piracicaba, ESALQ/USP, 28 p.

KARSHON, R., 1961. Soil evolution affected by *Eucalyptus*. FAO/SCM/60. Report and Documents 2: 897-910.

LIANI, A., 1966. La absorcion de fosfato en el *Eucalyptus trabutti*. FAO.6 CFM/E.C.T.I. 53.

MALAVOLTA, E., 1975. A Situação dos Adubos. O Suplemento Agrícola do Estado de São Paulo, São Paulo, 1030: 3.

McINTYRE, D.K. e L.D. PRYOR, 1974. Response of Flooded Gum in Plantations to Fertilisers. Australian Forestry, 37: 15-23. Forestry Abstracts 36(12) 7689.

MELLO, H.A., 1968. Aspectos do Emprego de Fertilizantes Minerais no Reflorestamento de Solos de Cerrado no Estado de São Paulo com *Eucalyptus saligna* Sm. Piracicaba, ESALQ/USP, 176 p. (Tese para Pro-
vimento de Cargo de Professor Catedrático).

MELLO, H.A. et alii, 1966. Basal Area of *E. saligna* in Cerrado Soils of the State of São Paulo. Separata do Sexto Congresso Florestal Mundial, Madrid.

_____, 1970. Resultados da Aplicação dos Fertilizantes Minerais na Produção de Madeira de *Eucalyptus saligna* Sm, em Solos de Cerrado do Estado de São Paulo. IPEF, Piracicaba, ESALQ/USP. 1: 7-28.

NELDER, J.A., 1961. The fitting of a generalization of the Logistic curve. Biometrics, Washington, 17: 89-110.

NELSON, W.C., 1971. An Economic Analysis of Fertilizer Utilization in Brazil. Columbus, Ohio. The Ohio State University (Tese para Ph.D.).

NOGUEIRA, I.R., 1960. Pesquisa Sobre o Planejamento Experimental de Ensaio de Adubação. Piracicaba, ESALQ/USP. (Tese de Docência-Livre).

PAIVA, R.M. et alii, 1973. Setor Agrícola do Brasil. São Paulo, Secretaria da Agricultura.

- PASTORE, A.C. et alii, 1974. Crise do Petróleo na Agricultura Brasileira. São Paulo, ANPES, 12 p.
- PIMENTEL GOMES, F., 1969. Novos Aspectos do Estudo Econômico de Ensaios de Adubação. Fertilidade. Paris, 34: 3-9.
- RANZANI, G., 1971. Solos de Cerrados no Brasil. In: III Simpósio Sobre o Cerrado. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. p. 26-43.
- SÃO PAULO, Secretaria da Agricultura. Instituto de Economia Agrícola. 1974. Prognóstico. Ano Agrícola 74/75, São Paulo. 200 p.
- _____, 1975a. Prognóstico. Ano Agrícola 75/76. São Paulo. 226 p.
- _____, 1975b. Informações Econômicas, 1. São Paulo.
- SÃO PAULO, Secretaria da Agricultura, 1971. Instruções sobre a Cultura de Eucalipto. Boletim do Serviço Florestal do Estado. São Paulo. 4, 15 p.
- SHIBAMOTO, T., 1957. Fertilizing forest lands. Tokio. Forest and estate mutual foundation. 35 p.
- SIMÕES, J.N. et alii, 1970. Adubação acelera o desenvolvimento inicial de plantações de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*. IPEF, Piracicaba, 1: 59-80.

STEVENS, W.L., 1951. Asymptotic regression. Biometrics, Washington 7: 247-267.

VEIGA, A. de A., 1967a. Tabelas de Rendimento Volumétrico para Eucalipto. Public. mimeografada do Serviço Florestal da Secretaria da Agricultura de São Paulo. São Paulo, 11, 12 p.

_____, 1967b. Tabelas de Rendimento Volumétrico para Pinus. Public. mimeografada do Serviço Florestal da Secretaria da Agricultura de São Paulo. São Paulo, 12, 5 p.

_____, 1967c. Tabelas de Rendimento e Crescimento no Gênero Pinus. Publicação mimeografada do Serviço Florestal da Secretaria da Agricultura. São Paulo, 13, 5 p.

_____, 1972d. Curso de Atualização Florestal. São Paulo, Instituto Florestal de São Paulo, Secretaria da Agricultura (2 volumes).

VEIGA, R.A. de A., 1972. Equações Volumétricas para *Eucalyptus saligna* Smith em Ocasão de Primeiro Corte. Botucatu, Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas, 174 p. (Tese de Docência-Livre).

VERDADE, F.C., 1971. Agricultura e Silvicultura no Cerrado. In: III Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo. Editora Edgard Blücher Ltda. p. 65-76

WALKERS, L.C. e W.T. MOSS, 1961. Will fertilizing forests be good business? Plant Food Review 7: 9-11.

WRIGHT, C.L. et alii, 1975. Adubação de Culturas Anuais: Aspectos Econômicos. Piracicaba, ESALQ/USP. 20 p.