

ROBERTO ROCHADELLI

**A ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DOS ÁTOMOS DE CARBONO
EM REFLORESTAMENTOS (Estudo de caso: *Mimosa scabrella*
Bentham, bracatinga)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal da Universidade
Federal do Paraná, para a obtenção do grau
de Doutor em Ciências Florestais. Área de
concentração: Economia e Política Florestal.
Linha de Pesquisa: Economia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Roberto T. Hosokawa

CURITIBA

2001

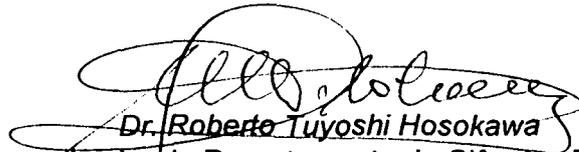


Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 360.4212 - Fax. (41) 360.4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

PARECER

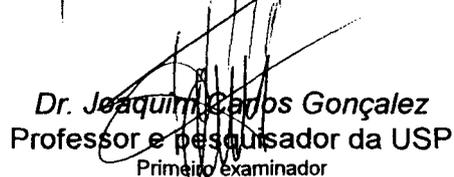
Defesa nº 430

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o doutorando **ROBERTO ROCHADELLI** em relação ao seu trabalho de tese intitulado "ESTRUTURA DE FIXAÇÃO ATÔMICA DE CARBONO EM POVOAMENTOS FLORESTAIS DE (*Mimosa scabrella* Bentham)", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do acadêmico, habilitando-o ao título de *Doutor em Ciências Florestais*, na área de concentração em *Economia e Política Florestal*.



Dr. Roberto Tuiyoshi Hosokawa

Professor e pesquisador do Departamento de Ciências Florestais da UFPR
Orientador e presidente da banca examinadora



Dr. Joaquim Carlos Gonzalez
Professor e pesquisador da USP
Primeiro examinador

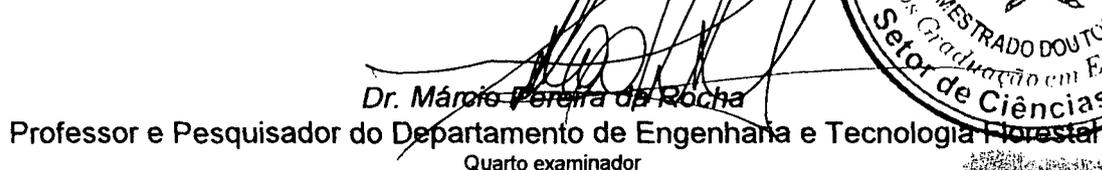


Dr. Fany Reicher

Professora e pesquisadora do Departamento de Bioquímica da UFPR
Segundo examinador



Dr. Humberto Angelo
Professor e Pesquisador da UNB
Terceiro examinador



Dr. Márcio Pereira da Rocha
Professor e Pesquisador do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal
Quarto examinador



Curitiba, 30 de março de 2001.



Nivaldo Eduardo Rizzi
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Franklin Galvão
Vice-coordenador

Aos meus pais, Manoel Rochadelli e Iva Nazário (*in memoriam*),
pelo exemplo de vida que muito contribuiu
para minha formação,
meu reconhecimento.

Ao meu orientador e mestre, Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa,
por me conduzir inteligentemente pelo mundo científico,
minha eterna admiração.

À minha esposa, Lucimar, pelo incentivo
e compreensão durante as diversas fases de elaboração deste trabalho,
dedico.

A meus filhos, Rafael, Henrique e Douglas, pela alegria da vida,

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa, meu orientador e Pesquisador - Líder do Grupo de Pesquisa “Qualidade e Produtividade na Atividade Florestal Primária”, que com seu incentivo e sugestões realizou uma orientação eficaz e conduziu de forma brilhante os trabalhos desenvolvidos, os quais sempre primaram pelos interesses de sustentabilidade do ambiente e da sociedade humana.

Aos Professores Márcio Pereira da Rocha, Umberto Klock, e Ricardo Jorge Klitzke, pela amizade, parceria e incentivos na realização deste trabalho.

À Coordenação de Capacitação de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de demanda social.

À empresa CalCem Indústria de Minério Ltda, na pessoa do Sr. Antonio Cavalli, que gentilmente permitiu a coleta de dados em suas propriedades.

À voluntariosa colaboração de: Anderson de Souza, Robson S. Selner, Ricardo Mores, Roberto M. de Souza, Gilson de Souza, Renato Teixeira, Márcio T. Interaminense, Cristian Majczack, Jairo A.V. Reinhardt, Guilherme Rubini, Roberto M. Neto, Suzana Zimmermann, Luciano B. Schaaf, Calsbad Pereira, André V. Gimouski, Sávio Sensi, Keyla Trefflich, Fábio Sölter, Carlos A. Gottschild, Marcelo A.G. de Sant’Ana, Josiane de O. Haag, Joema Carvalho, Gilson Martins, Mariana Hasegawa e Renato Bochicchio.

Aos moradores do local de coleta: Sr. Fernando Adir Gusso, Antonio Adir Gusso, Nilson Adir Gusso, Tereza Adir Gusso e Alceu Ribeiro de Paula, amigos que participaram de fases importantes do trabalho, as quais demandaram maior volume de mão-de-obra de campo.

Ao Dpto. de Bioquímica, na pessoa da Professora Fany Reicher e do doutorando Renato Bochicchio, que gentilmente colaboraram com laboratórios e apoio técnico na obtenção dos dados.

BIOGRAFIA

Roberto Rochadelli, filho de Manoel Rochadelli e Iva Nazário, nasceu em Ivaiporã, Estado do Paraná, em 12 de setembro de 1961.

Concluiu o Curso Primário no Seminário Nossa Senhora da Salete, no Município de Salete, Estado de Santa Catarina. Iniciou o Curso Ginásial no Seminário Santa Maria, no Município de Iratí, Estado do Paraná, que foi concluído no Colégio Santa Maria, em Curitiba, neste mesmo Estado. cursou o Segundo Grau no Colégio Estadual do Paraná, onde formou-se com habilitação em Técnicas de Análises Clínicas.

Trabalhou de forma autônoma na prestação de serviços de paisagismo e ajardinamento em Curitiba, no período de 1983-89, quando foi aprovado no Exame Vestibular da Universidade Federal do Paraná, ingressando no Curso de Engenharia Florestal, onde além das obrigações curriculares, desenvolveu atividades iniciando-se desde então no ramo da pesquisa junto ao Grupo de Pesquisa “Qualidade e Produtividade na Atividade Florestal Primária”, brilhantemente liderado pelo Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa.

Formou-se Engenheiro Florestal em março de 1995, quando foi admitido no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, tornando-se Mestre em Ciências Florestais em março de 1997. Na mesma data foi novamente admitido no referido Curso, a nível de Doutorado.

Em julho de 1998 foi admitido, via concurso público, como docente na Universidade Federal do Paraná, lotado no Departamento de Economia Rural e Extensão, ministrando as disciplinas de Economia Rural, Extensão Rural, Planejamento e Administração Rural e Comercialização Agrícola.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	5
3.1 AS FLORESTAS COMO ESTOCADORAS DE CARBONO.....	5
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA.....	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRODUÇÃO.....	21
4.3 OBTENÇÃO DO MATERIAL PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS.....	22
4.4 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO.....	24
4.4.1 Modelos estimadores dos parâmetros de produção de biomassa.....	24
4.4.2 Critério de seleção dos melhores modelos estimadores de produção.....	28
4.5 PREPARAÇÃO E ANALISES QUÍMICAS DAS AMOSTRAS.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
5.1 MODELOS ESTIMADORES DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO.....	34
5.2 TEORES DE LIGNINA E HOLOCELULOSE.....	40
5.3 PESO DA BIOMASSA DE CARBONO.....	45
5.4 ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO.....	51
5.5 FIXAÇÃO DE CARBONO EM FUNÇÃO DAS BITOLAS COMERCIAIS.....	56
6 CONCLUSÕES.....	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – MODELOS ESTIMADORES DA ALTURA (H) EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO.....	24
TABELA 02 – MODELOS ESTIMADORES DO VOLUME (V) EM FUNÇÃO DO DAP E H.....	24
TABELA 03 – MODELOS ESTIMADORES DA ESP. DA CASCA EM FUNÇÃO DO DAP.....	25
TABELA 04 – MODELOS ESTIMADORES DO P _S EM FUNÇÃO DO DAP E H.....	25
TABELA 05 – MODELOS ESTIMADORES DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA.....	26
TABELA 06 – ANÁLISES QUÍMICAS E RESPECTIVAS NORMAS UTILIZADAS.....	31
TABELA 07 – MODELOS HIPSOMÉTRICOS DE MELHOR AJUSTE.....	34
TABELA 08 – MODELOS VOLUMÉTRICOS DE MELHOR AJUSTE.....	35
TABELA 09 - PARÂMETROS DE AJUSTE DO MODELO ESP (CASCA) = $b_0 + b_1DAP$	36
TABELA 10 – MODELOS GRAVIMÉTRICOS DE MELHOR AJUSTE.....	36
TABELA 11 – INDICADORES DE AJUSTE DA FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA.....	37
TABELA 12 – INDICADORES DE AJUSTE DA FUNÇÃO AFILAMÉTRICA RELATIVA.....	38
TABELA 13 – VOLUME E RENDA GERADA PELO TRAÇAMENTO SIMULADO DO FUSTE.....	39
TABELA 14 – COMPOSIÇÃO MONOSSACARÍDICA DA HEMICELULOSE DO LENHO (%).....	43
TABELA 15 – COMPOSIÇÃO MONOSSACARÍDICA DA HEMICELULOSE DA CASCA (%).....	44
TABELA 16 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 3 ANOS.....	46
TABELA 17 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 4 ANOS.....	47
TABELA 18 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 5 ANOS.....	48
TABELA 19 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 6 ANOS.....	49
TABELA 20 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 7 ANOS.....	50
TABELA 21 – ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DE CARBONO POR IDADE (%).....	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – CONCENTRAÇÃO DE CARBONO NA ATMOSFERA (ppm).....	02
FIGURA 02 – ESQUEMA DE COLETA DO MATERIAL PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS.....	23
FIGURA 03 - TEORES DE LIGNINA (%) AO LONGO DAS CLASSES SOCIAIS.....	40
FIGURA 04 - TEORES DE LIGNINA (%) AO LONGO DAS CLASSES SOCIAIS.....	41
FIGURA 05 – TEORES DE EXTRATIVOS EM ÁLCOOL-BENZENO (%).....	42
FIGURA 05 – TEORES DE EXTRATIVOS EM ÁLCOOL-BENZENO (%).....	44
FIGURA 07 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 3 ANOS.....	51
FIGURA 08 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 4 ANOS.....	52
FIGURA 09 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 5 ANOS.....	53
FIGURA 10 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 6 ANOS.....	54
FIGURA 11 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 7 ANOS.....	55
FIGURA 12 – TEORES DE CARBONO DE ACORDO COM AS BITOLAS COMERCIAIS.....	59

RESUMO

A conservação e a ampliação das florestas naturais e plantadas tem sido aceita como de importância fundamental no propósito de reduzir os níveis de gás carbônico na atmosfera. Todas as plantas absorvem gás carbônico e convertem em carboidratos na forma de tecidos da madeira, folhas, sementes e frutos. A escolha da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) como objeto deste estudo, deve-se ao fato da mesma ser nativa, abundante, ter seu cultivo altamente difundido no meio sócio-cultural rural através do sistema de agrofloresta e ser de rápido crescimento. Desenvolvida de forma conjunta e utilizando-se de dados da linha de pesquisa “Identificação e quantificação dos principais componentes químicos da biomassa da *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga) relacionados com parâmetros de Manejo Florestal”, formalizado oficialmente junto ao CNPq no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil sob o título “Qualidade e produtividade na atividade florestal primária”, esta tese visa analisar a estrutura de fixação de carbono dos povoamentos da espécie estudada. A concentração de carbono na biomassa foi determinada tomando-se os dados de produção e produtividade, assim como a massa específica básica (g/cm^3) e os teores dos componentes fundamentais e acidentais da biomassa de povoamentos com idade de 3 a 7 anos, estando representadas na amostragem suas respectivas classes de diâmetro. Os resultados apresentaram a biomassa da espécie com concentração relativa do elemento carbono variando entre 40 e 45% da biomassa total. As classes dominadas apresentaram maior eficiência na fixação do elemento carbono, em detrimento das classes dominantes. O sistema de manejo tradicional, baseado na obtenção de multi-produtos dos povoamentos, proporciona uma compensação natural àqueles produtos de menor remuneração pelo mercado, devido a sua carbono-eficiência. De uma forma geral, pode-se concluir que esta compensação natural permite otimizar a renda bruta obtida em função do regime de manejo utilizado.

ABSTRACT

The conservation and the amplification of the natural and planted forests has been accepted as of fundamental importance in the purpose of reducing the levels of carbonic gas in the atmosphere. Whole the plants absorb carbonic gas and they transform into carbohydrates in the form of woven of the wood, leaves, seeds and fruits. The choice of the bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) as object of this study, is due to the fact of the same to be native, abundant, to have its cultivation highly diffused in the rural partner-cultural way through the agroflorest system and to be of fast growth. Developed of together form and being used of data of the line of research “Identificação e quantificação dos principais componentes químicos da biomassa da *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga) relacionados com parâmetros de Manejo Florestal”, formalized in CNPq officially close to in the Directory of the Groups of Research in Brazil under the title “Qualidade e produtividade na atividade florestal primária”, this thesis seeks to analyze the structure of fixation of carbon of the stands of the studied species. The concentration of carbon in the biomass was determined being taken the production and productivity data, as well as the basic specific mass (g/cm³) and the texts of the fundamental and accidental components of the stands biomass with age of 3 to 7 years, being represented in its sampling respective diameter classes. The results presented the biomassa of the species with relative concentration of the element carbon varying among 40 and 45% of the total biomass. The dominated classes presented larger efficiency in the fixation of the element carbon, in detriment of the dominant classes. The system of traditional handling, based on the obtaining of multi-products of the stands, provides a natural compensation to those products of smaller remuneration for the market, due to its carbon-efficiency. In a general way, it can be concluded that this natural compensation allows to optimizes the gross income obtained in function of the type of used handling.

1 INTRODUÇÃO

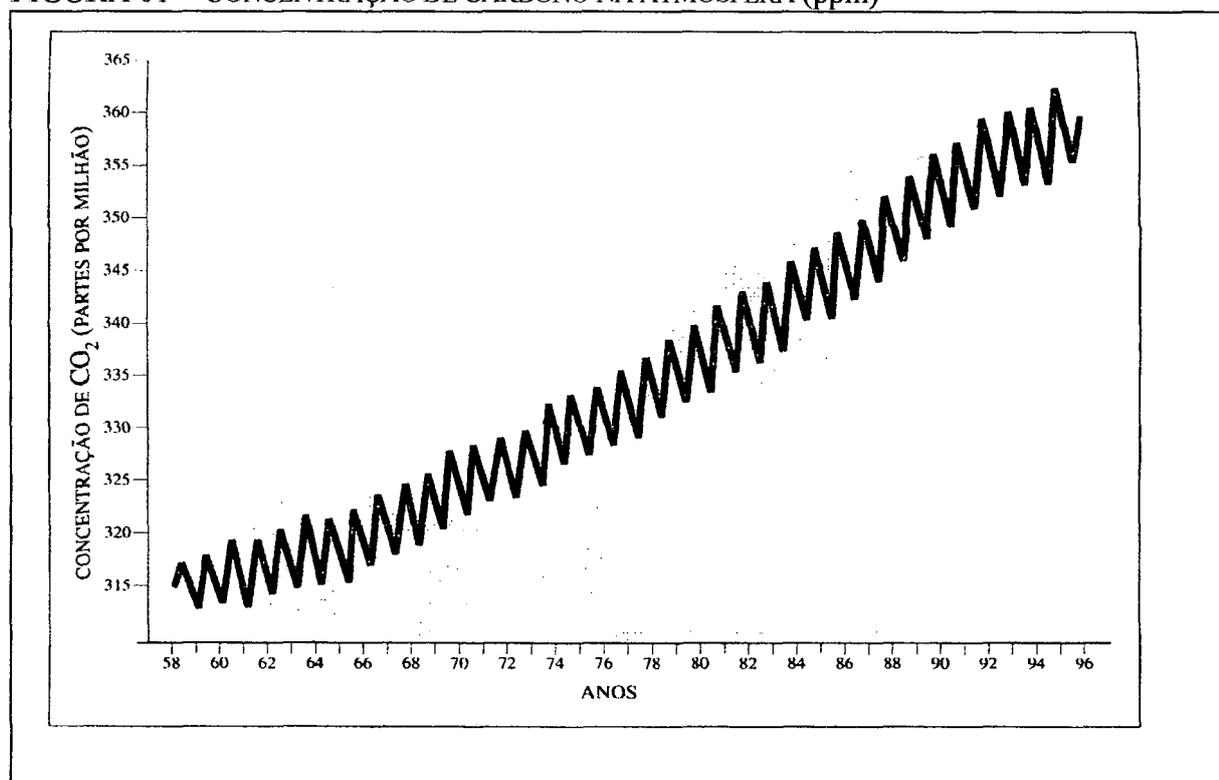
Todos estão familiarizados com o modo pelo qual o interior de um veículo se aquece quando estacionado por algumas horas sob o sol intenso, estando com as janelas fechadas. Este aquecimento ocorre porque a luz do sol penetra pelas janelas de vidro sendo então absorvida pelos assentos e outros objetos no interior do veículo. Em sendo absorvidas por estes objetos, a energia luminosa é convertida em energia calórica, que se dispersa na forma de radiação infravermelha. Ao contrário da luz do sol, a radiação infravermelha é bloqueada pelos vidros que não permitem sua saída do interior do veículo, fazendo com que a energia assim retida leve ao acréscimo da temperatura interior, tal qual o fenômeno envolvido no efeito-estufa.

Em escala global, o gás carbônico, o vapor d'água (NEBEL *et al*, 1996) e outros gases desempenham, para o efeito-estufa, papel semelhante ao do vidro. A energia luminosa penetra pela atmosfera, sendo absorvida pela Terra e parte convertida em energia calórica pela superfície do planeta. Esta energia calórica infravermelha irradia-se rumo a atmosfera, fazendo com que, os gases do efeito-estufa, naturalmente presentes na troposfera, reflitam parte desta irradiação, mantendo aquecida a superfície do planeta. Os gases responsáveis pelo efeito-estufa funcionam como um cobertor, isolando a Terra e impedindo o eventual escape da energia calórica. Sem este isolamento, a temperatura média na superfície do solo poderia ser até 33⁰ C mais baixa que os níveis atuais, fazendo com que a vida, tal qual a conhecemos, viesse a ser uma impossibilidade (SAGAN, 1998).

Nosso clima global é, portanto, extremamente dependente da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera. Se estas concentrações sofrerem acréscimos ou decréscimos significativos, nosso clima deverá mudar no mesmo sentido, apresentando acréscimos ou decréscimos na temperatura global.

No início do século já se chamava a atenção para o potencial acréscimo nas concentrações de gás carbônico na atmosfera, e suas conseqüências para o clima global, principalmente devido ao crescente uso de combustíveis fósseis como fonte de energia. Estas chamadas de alerta foram esquecidas até 1958, quando iniciou-se a tomada de dados de uma série relativa aos níveis de gás carbônico na atmosfera em Mauna Loa, Hawai. Conforme foram sendo coletados, os dados passaram a revelar um surpreendente acréscimo nos níveis atmosféricos deste gás (FIGURA 01). As concentrações cresceram exponencialmente até a crise de energia de 1970, cresceram linearmente por mais duas décadas e retomaram seu ritmo exponencial em meados da década de 1990. Os níveis de gás carbônico em 1995 chegaram a aproximadamente 360 ppm, 25% maiores que os níveis observados no período pré Revolução Industrial, apresentando incrementos anuais da ordem de 1,77 ppm (SAGAN, 1998).

FIGURA 01 – CONCENTRAÇÃO DE CARBONO NA ATMOSFERA (ppm)



(Fonte: SAGAN, 1998)

De acordo com o cenário apresentado no IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990) os acréscimos nos níveis de gás carbônico juntamente com os outros gases

responsáveis pelo efeito-estufa deverá causar acréscimos da ordem de dois a cinco graus centígrados na temperatura média da Terra durante o século XXI. (HERINGTON *et al.*, 1991). Ainda que outros gases sejam importantes para o estado atual do efeito-estufa, o Gás carbônico desempenha o mais importante papel entre todos, contribuindo com aproximadamente 55-80% no efeito total (RETNOWATI, 1996).

O ciclo global do carbono é reconhecido como um dos mais importantes ciclos bio-geo-químicos da Terra devido ao seu papel na regulação da concentração atmosférica de gás carbônico, um dos mais importantes gases responsáveis pelo efeito-estufa. As florestas desempenham papel significativo na atual problemática do ciclo global de carbono, devido a sua capacidade de estocar por longo prazo quantidades de carbono na vegetação, trocando carbono com a atmosfera por meio da fotossíntese e da respiração. Em sendo assim, as florestas podem vir a ser fontes de carbono para a atmosfera quando perturbadas pela ação antrópica ou até naturalmente (fogo, uso de procedimentos inadequados na colheita, conversão em uso não florestal do solo, etc.). Por outro lado, vêm a ser estocadoras de carbono atmosférico durante o abandono e/ou repovoamento do solo com espécies florestais.

As florestas têm durante os últimos anos recebido crescente atenção no que se refere ao seu potencial para contribuir com a redução do “efeito estufa”, por meio da sua capacidade de armazenar carbono durante o processo natural de produção de biomassa. Duas estratégias tem sido avaliadas de acordo com este objetivo: a conservação das reservas existentes e a expansão da atual cobertura florestal. A otimização de ambas as estratégias prescinde de estimativas da área real máxima necessária e das técnicas de manejo dos recursos e sua utilização como matéria prima de produtos de origem florestal.

A expansão da cobertura florestal global vem a se apresentar como uma oportunidade social e ambientalmente sadia de crescer o estoque de carbono terrestre e atenuar o crescimento da concentração de gás carbônico atmosférico. A estocagem de carbono a curto

ou a longo prazo sob múltiplas rotações ou sob o aspecto conservacionista pode ser manejada no que diz respeito à sua otimização do processo de produção e/ou utilização dos subprodutos. Além dos benefícios diretos e indiretos, a utilização de florestas fixadoras de gás carbônico poderiam viabilizar o aproveitamento de áreas marginalizadas ou de baixa produtividade social, vindo a ser uma opção de desenvolvimento com baixos custos de implantação. Estas florestas poderiam reduzir a temperatura global, aumentar a renda da sociedade, contribuir com os diversos aspectos de importância ambiental, além de recuperar terras consideradas pouco ou totalmente improdutivas (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

A escolha da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) como objeto deste estudo, deve-se ao fato da mesma ser nativa, abundante, ter seu cultivo altamente difundido no meio sócio-cultural rural por meio do sistema de agrofloresta e ser de rápido crescimento.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi contribuir com o processo de mitigação do efeito estufa e das mudanças climáticas visando melhorar a qualidade de vida do ser humano.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar os constituintes fundamentais e acidentais da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham);
- Determinar a quantidade de carbono contida na sua biomassa;
- Analisar a estrutura da fixação de carbono na biomassa de povoamentos;
- Discutir um regime de manejo que permita otimizar a contribuição no que se refere à eficiência na assimilação do gás carbônico.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 AS FLORESTAS COMO ESTOCADORAS DE CARBONO

Segundo HOSOKAWA *et al.* (1998), para atenuar o efeito estufa provocado pela emissão de gás carbônico (CO₂), uma das possibilidades concretas seria a implantação de megareflorestamentos. O autor cita as seguintes razões para tal: a) seria provavelmente o procedimento mais barato; b) permite monitoramento e otimização da produtividade na assimilação do CO₂; c) trata-se de um processo de ciclagem bio-energético, não apresentando efeitos colaterais; d) seria um dos poucos, senão o único, mecanismo significativo de reversão da entropia positiva que a natureza nos concede (HOSOKAWA, 2000b); e) possibilitaria a estocagem de carbono e também a produção de benefícios diretos, desde que se implante uma base florestal de estocagem e produção contínua, o que é definido como sendo a manutenção de uma superfície florestal qualiquantitativa, adequada à demanda de benefícios diretos e indiretos, de forma contínua, ao longo do tempo.

Em relação às mencionadas razões, existem algumas ponderações que merecem atenção. A primeira delas seria: qual a possibilidade quantitativa dos reflorestamentos absorverem o gás carbônico até a obtenção do equilíbrio? De acordo com HOSOKAWA *et al.* (1998), a argumentação seria de que o petróleo, o carvão mineral e derivados devem ter maiores concentrações de CO₂ que a madeira e se assim for, poder-se-ia reflorestar todos os continentes do planeta, que não se efetivaria o equilíbrio. Contudo, argumenta o autor, é de se esperar que: a) esforços governamentais, no sentido de utilizar fontes alternativas de energia ambientalmente saudável, bem como de minimizar o uso das atuais fontes de energia, deverão surtir algum efeito num futuro próximo; b) da grande quantidade de CO₂ proveniente de

combustíveis fósseis e da queima de madeira (desmatamento sem reflorestamento) já acumulado na atmosfera, provavelmente uma parte pode ser suportada pela elasticidade da biosfera, sendo preocupante o excedente.

A segunda ponderação seria a de que um megareflorestamento iria produzir tanta madeira que provocaria um colapso no mercado de oferta deste produto. Segundo HOSOKAWA *et al.* (1998), a preocupação não seria tão procedente, enumerando os seguintes itens como justificativa: a) a visão de um megareflorestamento deveria ser voltada em termos de implantar uma base florestal contínua, onde para uma espécie que atingisse o máximo de produtividade em assimilação de gás carbônico em 50 anos, por exemplo, deveriam ser dimensionadas 50 unidades de produtividade igual, cada unidade tendo idade distinta, o que permitiria a produção de benefícios diretos equivalentes a 1/50 da base florestal; b) as árvores não morrem imediatamente após atingida a máxima produtividade. Dependendo da espécie e da condição do sítio, elas podem viver várias vezes o período entre germinação e produtividade máxima, o que significaria um estoque de Gás carbônico de longo prazo, sem ser reduzido pela decomposição, o que também permitiria regular a oferta de madeira no mercado.

A terceira preocupação, citada por HOSOKAWA *et al.* (1998), se refere a atenuar o efeito estufa em tempo hábil, sendo a atividade florestal de longo prazo. De acordo com o autor, a alternativa disponível seria reflorestar com espécies de rápido crescimento, pelo menos em uma fase inicial, e com intenso investimento em termos de superfície plantada.

A quarta preocupação envolve os problemas de biodiversidade. Reflorestar, em princípio, implica em plantar árvores em áreas desprovidas de florestas. Por outro lado, reflorestamentos podem ser efetivados com várias espécies, inclusive autóctones, para minimizar a incidência de pragas e doenças (HOSOKAWA, *et al.*, 1998).

A quinta ponderação seria a fatalista. Se a entropia é irreversível e está presente até no

simples ato de respirar, para que então envidar tantos esforços? Utilizando-se de princípios mais filosóficos que científicos, HOSOKAWA *et al.* (1998) argumenta que seria uma irresponsabilidade da humanidade gerar descendentes sem oferecer perspectivas de esperanças. Ademais, afirma o autor, à medida que se consegue retardar o evento indesejável, dispõe-se de mais tempo para procura e descobrir alternativas, não se admitindo a passividade baseada no argumento de que o efeito estufa é algo indefinido e provavelmente faz parte dos eventos cíclicos da Terra. Como afirma SAGAN (1998), “não recebemos a Terra na forma de herança dos nossos antepassados, mas sim a tomamos emprestada da geração anterior”. RIFKIN (1990), citado por HOSOKAWA *et al.* (1998), afirma que “se queremos ter alguma esperança de reduzir a febre planetária e curar o globo, os governantes devem empreender ambiciosas campanhas de reflorestamento no curso dos próximos decênios”.

A estocagem de carbono pela biomassa florestal ainda vem a ser a forma mais econômica e socialmente adequada de mitigar as influências do “efeito estufa” no globo terrestre. Como possuidor de grande extensão territorial, alto fotoperiodismo, disponibilidade de mão de obra barata e tecnicamente qualificada para tal fim, os países tropicais, como o Brasil, vem a ser uma opção no que diz respeito a possibilidade de implantação de florestas com finalidades de estocagem de carbono. Além disso, estas regiões possuem espécies nativas de grande produtividade em biomassa e de rápido crescimento, fatores de extrema importância na eficiência do processo, seja ele visto pela ótica dos produtos diretos ou dos indiretos (HOSOKAWA *et al.*, 1998).

A ação antrópica tem a capacidade de, por meio do manejo das florestas, alterar o fundo e o fluxo de carbono, e então alterar seu papel no ciclo do carbono e, conseqüentemente, em seu potencial de mitigar mudanças climáticas. Estes distúrbios geralmente levam as florestas a serem fontes de Gás carbônico atmosférico, fazendo com que a taxa de produtividade primária líquida do ecossistema seja excedida pela respiração total ou

oxidação das plantas, solo e matéria orgânica morta ($PLE < 0$). Contudo, algumas áreas de floresta explorada e degradada ou outrora de agricultada ou de pastoreio, são abandonadas e reverterem naturalmente ou artificialmente para florestas, tornando-se estocadoras de carbono, isto é, a taxa de respiração das plantas, solo e matéria orgânica é excedida pela produtividade primária líquida ($PLE > 0$) (MARLAND e MARLAND, 1992).

O papel atual das florestas no ciclo global do carbono não é somente função do uso presente da terra, mas também do uso e distúrbios ocorridos no passado. No final do século XIX, a emissão de Gás carbônico deveu-se principalmente a expansão da agricultura nos países de média e alta latitude (HOUGHTON, 1990). A partir da virada do século XX até 1930 a emissão de Gás carbônico devida às mudanças de uso da terra já se igualaram, em magnitude, àquela devida a combustão dos combustíveis fósseis.

As florestas têm ainda a capacidade de influenciar o efeito-estufa de outras formas. Por exemplo, a conversão de florestas em outros tipos de uso do solo pode afetar a reflexividade da Terra, também chamada albedo. Além do mais, a destruição da biomassa pela fogo adiciona ao gás carbônico (CO_2) subprodutos da combustão incompleta, tais como o metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N_2O) e outros óxidos (NO_n) (NEBEL *et al.*, 1996).

Globalmente, a queima de biomassa contribui com cerca de 10% do total de emissão de metano, 10-20% do total anual emissão de óxido nitroso e aproximadamente a metade das emissões de monóxido de carbono, exercendo desta forma, um efeito significativo na composição e reações químicas da atmosfera (HOUGHTON *et al.*, 1992). Estima-se que a queima de florestas adiciona aproximadamente dois bilhões de toneladas de carbono, anualmente, aos seis bilhões de toneladas provenientes do processo industrial (HAWTHORNE *et al.*, 1999). A conversão de peso seco de biomassa em massa de carbono tem sido efetivada baseado na relação que determina: em 1 tonelada de biomassa seca de

madeira encontra-se, aproximadamente, 0,45 toneladas de carbono e 1 tonelada de carbono é encontrada em 3,66 toneladas de gás carbônico (USCSP, 1994). Contudo, do ponto de vista florestal, estas cifras podem depender da espécie utilizada, do solo, do regime de manejo, do micro-clima, do micro-ambiente, do ciclo hidrológico, da produtividade do sistema, etc.

As florestas podem ser manejadas para reduzir a concentração atmosférica de gás carbônico e, desta forma, mitigar as mudanças climáticas globais. Este processo de manejo pode incluir: produção de madeira para a indústria e energia, proteção dos recursos naturais, recreação, recuperação de áreas degradadas, etc. As práticas de manejo que abrangem estes objetivos podem ser agrupadas em três principais categorias, baseadas na potencialidade de cada uma em restringir a taxa de crescimento do gás carbônico atmosférico: manejo para conservação de carbono, armazenagem de carbono ou carbono para substituição (BROWN *et al.* 1996).

O manejo para conservação trata da prevenção de emissão de carbono para a atmosfera por meio da manutenção do estoque de carbono existente nas florestas, o que pode ser viabilizado pelo controle do processo de desflorestamento, proteção de reservas, mudanças nos regimes de exploração, etc.

A mais significativa prática de conservação de carbono poderia ocorrer nos trópicos onde o desflorestamento e a degradação das florestas é estimado como emissor de aproximadamente 1,6 bilhões de toneladas de carbono por ano. Contudo, como grande parte do desflorestamento nos trópicos é causado pela expansão de áreas para agricultura e pecuária, seja para subsistência como para atender a crescente demanda por alimentos e produtos florestais, estes programas devem vir acompanhados de medidas que promovam acréscimos na sustentabilidade e produtividade agropecuária da região. Deve-se ainda levar em conta a expansão de áreas protegidas, seja de florestas maduras ou secundárias, para a conservação da biodiversidade e produção sustentável de madeira. Os estoques de carbono

destas áreas podem permanecer os mesmos ou crescer em tamanho dependendo da distribuição atual de suas classes de idade. Da mesma forma, a utilização de ciclos de rotação prolongados e a utilização da madeira na forma de produtos mais carbono-eficientes, deverão assegurar a conservação de uma fração representativa de carbono.

O propósito de manejo para armazenagem trata do acréscimo nos níveis de carbono na vegetação e nos solos das florestas por meio de acréscimos na área e/ou na biomassa de florestas plantadas ou nativas e no acréscimo do uso de produtos duráveis provenientes da madeira. Os acréscimos nos estoques de carbono na vegetação e no solo podem ser implementados pela proteção de florestas secundárias e/ou outras florestas degradadas, onde a densidade de carbono na biomassa e no solo são menores que seu valor potencial máximo, sendo, portanto, passíveis de sofrer incrementos significativos no estoque de carbono pelo incentivo da regeneração artificial ou natural e enriquecimento do solo.

O estabelecimento de florestas em terras não florestadas, assim como o acréscimo nos regimes de agroflorestas, podem também contribuir de forma significativa com os acréscimos nos estoques de carbono. Já os estoques de carbono em produtos duráveis da madeira podem ser acrescidos pela expansão na demanda por estes produtos a uma taxa maior que a taxa de degradação da madeira e pelo acréscimo no tempo de vida destes produtos.

De acordo com CANNEL (1995), o período de rotação para estocagem de carbono em uma floresta, poderia coincidir com o período de máximo incremento médio anual somente quando os produtos da mesma tiverem uma longa durabilidade. Observe-se que o manejo para armazenagem vem a ser uma opção apenas para o curto-prazo, em primeiro lugar devido a sua limitada capacidade potencial adicional no acúmulo de carbono. O processo pode ser efetivado sobre um período de tempo da ordem de décadas ou até por um século ou mais, dependendo das classes de idade atuais das florestas, da densidade máxima de carbono obtível, do tipo de floresta, seleção das espécies, dos bens madeiráveis produzidos e

inclusive da zona latitudinal.

Já o manejo de carbono para substituição trata do acréscimo na transferência da biomassa de carbono em produtos (material de construção e energia) diminuindo o uso de energia baseada em combustíveis fósseis e o uso de produtos a base de cimento. As práticas de manejo baseadas na substituição de carbono apresentam-se como de maior potencial de mitigação no longo-prazo (> 50 anos) (MARLAND & MARLAND 1992). Estas práticas envolvem a expansão do uso das florestas para bens duráveis de madeira e energia por meio do estabelecimento de novas florestas ou crescendo a taxa de incremento das já implantadas pelo uso de tratamentos silviculturais adequados (BROWN *et al.* 1996).

No caso do estabelecimento de florestas em áreas não florestadas com o objetivo de obtenção de energia de biomassa, não há apenas um acréscimo nos níveis de carbono estocados, ocorrendo também, devido a substituição do combustível fóssil pela biomassa, um acréscimo efetivo nestes níveis pela não queima dos combustíveis fósseis (SAMPSON *et al.* 1993). No longo prazo, a substituição de combustíveis fósseis pela biomassa vem a ser o meio mais efetivo na redução de emissões de carbono.

No que se refere ao balanço global de carbono, as evidências sugerem que as emissões líquidas das florestas deveriam chegar a algo bastante próximo de zero. Ainda que as florestas sejam um importante, senão o mais importante, componente do ciclo global do carbono por meio da regulação nos seus fluxos e estoques, no presente apresentam-se como fonte, contribuindo para com o aquecimento global. Contudo, por meio da implementação de opções de manejo florestal que sejam compatíveis com os tradicionais usos da floresta, somada ao decréscimo no processo de desflorestamento, o potencial de assimilar e conservar significativos níveis de carbono pode vir a mitigar tal situação (MARLAND *et al.*, 1995).

A conservação e a ampliação das florestas naturais e artificiais tem sido aceita como de importância fundamental no propósito de reduzir os níveis de gás carbônico na atmosfera.

Todas as plantas absorvem gás carbônico e convertem em carboidratos na forma de tecidos da madeira, folhas, sementes e frutos. No entanto, devido a sua menor área total foliar, a cultura de grãos e pecuária consomem menos gás carbônico que as florestas. A retirada de florestas para a implementação de atividades ligadas a agricultura e/ou pecuária causam substancial redução na absorção de Gás carbônico (PANHWAR, 1996).

Em sendo assim, o uso de combustíveis fósseis aliado à destruição das florestas tropicais vem a ser a principal causa nos níveis adicionais de gás carbônico na atmosfera, os quais podem ser mitigados por atividades de reflorestamento e o uso de madeira para energia (BOUVAREL, 1991; BRUENIG, 1991).

De acordo com KOOTEN (1995) utilizando-se a teoria de rotação de Hartmann, sendo as externalidades estimadas como uma função do volume de madeira crescendo em um sítio em um determinado tempo, a estocagem de carbono é uma função da produção em biomassa. O autor afirma que, em geral, a inclusão dos benefícios indiretos da estocagem de carbono resultam em idades de rotação ligeiramente maiores que a idade de rotação financeira de Faustmann.

Segundo DIXON (1993), as florestas desempenham, por meio da assimilação, estocagem e emissão, um importante papel no ciclo de carbono. O estabelecimento e manejo de florestas boreais, temperadas, tropicais e de sistemas agroflorestais poderiam, potencialmente, aumentar o seqüestro e estocagem de carbono da biosfera. Uma análise biológica e econômica de opções de estabelecimento e manejo de florestas em 94 países revelaram que as atividades de reflorestamento, agrofloresta e silvicultura poderiam ser empregadas para seqüestrar e conservar 1 bilhão de toneladas de carbono anualmente, por um período de 50 anos. O custo marginal de implementação das diversas opções para seqüestrar 55 bilhões de toneladas de carbono seria de aproximadamente US\$ 10/ton.

A capacidade de uso do solo pode determinar o tipo de projeto que seria apropriado

para cada caso específico. SUWISHER (1994) utilizando-se de uma metodologia que incluía ferramentas para o cálculo dos custos e fluxos líquidos de carbono de diferentes categorias de florestas e também de utilização de energia de biomassa, apresentou comparações consistentes em diferentes tipos de projetos e programas nacionais, facilitando a inclusão das florestas e sua utilização como energia de biomassa em um possível regime de redução de emissão de gás carbônico para a atmosfera.

Segundo KOOTEN (1992), o Canadá é um grande estocador líquido de carbono devido a sua vasta cobertura florestal, a qual vem a representar desta forma um meio efetivo de diminuir o impacto das emissões domésticas de gás carbônico. O autor considera de suma importância a utilização de terras agrícolas marginalizadas com o objetivo de estocar carbono na forma de biomassa florestal. Mesmo que apresentem-se mais caros que políticas de acréscimo na eficiência do uso de combustíveis fósseis, os reflorestamentos seriam economicamente mais eficientes que a conversão de outras fontes de energia. NOWAK (1993) afirma que as árvores, devido a sua capacidade de seqüestrar carbono atmosférico durante seu processo de crescimento e conservação de energia nas zonas urbanas, têm sido sugeridas como um meio de combater os acréscimos nos níveis de carbono atmosférico. Uma análise efetuada em uma floresta urbana em Oakland, Califórnia (21% da área total coberta por árvores), revelou um valores de estocagem de carbono pelas árvores de 11 ton/ha, o que para todo o país permitiu-se estimar uma estocagem entre 350 e 750 milhões de toneladas de carbono. Segundo o autor, o estabelecimento de 10 milhões de árvores urbanas anualmente, ao longo dos próximos 10 anos, poderia propiciar o seqüestro e armazenamento de aproximadamente 363 milhões de toneladas de carbono nos próximos 50 anos, menos que 1% das estimativas das emissões do país durante o mesmo período de tempo.

BROWN (1994) afirma que as florestas tropicais são de extrema importância no balanço global de carbono, seja por meio do armazenamento ou na emissão devido ao

processo de desflorestamento. De acordo com o autor, o balanço de carbono global poderia então ser otimizado via processos de reflorestamento e conservação das florestas existentes, seja por empresas privadas ou órgãos públicos. Os custos seriam balanceados entre os vários aspectos dos benefícios diretos e indiretos proporcionados pelo ecossistema florestal, o que traria ainda maiores resultados. A implicação seria o direito de propriedade envolvendo taxas de seqüestro de carbono, e que poderiam ser transacionadas entre os diversos segmentos econômicos.

Segundo NABUURS (1993), a cobertura florestal da Holanda é de aproximadamente 330.000 ha, com idade média de 50 anos, produção volumétrica de 170 m³/ha e incremento médio de 9 m³/ha/ano. De acordo com estes valores, cerca de 63,7 milhões de toneladas de carbono encontram-se estocadas nestas florestas, sendo que, anualmente cerca de 0,66 milhões de toneladas é estocada por meio do incremento periódico, não sendo considerada a exploração dos povoamentos. Quando levada em consideração, a exploração é responsável, em média, pela retirada de metade do total estocado por ano, o que significa que a outra metade corresponde a taxa líquida estocada pelas florestas. De acordo com o ponto de vista do autor, espécies de longa rotação que possam formar um grande estoque final de biomassa e fornecer produtos mais duráveis são mais apropriadas para a estocagem de carbono no longo prazo.

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA

De acordo com KLOCK (1995), a composição química da madeira é considerada semelhante, nas diferentes espécies lenhosas. Aceita-se que as madeiras possuem, em geral, aproximadamente 50% de carbono, 6,1% de hidrogênio, 43% de oxigênio e somente uma

pequena parte composta de nitrogênio e elementos minerais, o que difere em grandeza dos valores apresentados por diversos autores (IPT, 1988) provavelmente devido a utilização de espécies e/ou famílias diferentes além da natureza do material analisado. Estes elementos se combinam, formando compostos químicos, os quais representam em quantidades relativas, as percentagens a seguir: celulose (40-45%), hemicelulose (20-30%), lignina (18-25%) em folhosas e 25-35% em coníferas e extrativos (3-8%). As funções destes elementos químicos, podem ser expressas como: formação do esqueleto da madeira (celulose), formação da matriz envolvente do esqueleto da fibra (hemicelulose e pectina), incrustantes (lignina e suberina) e adicionais (extrativos).

KOLLMANN (1959) afirma que a composição da parede celular das plantas e a natureza de seus distintos componentes não podem ser explicados de um modo puramente químico, sendo que se necessita de considerações bioquímicas, que se estendem à origem e função das substâncias vegetais de secreção.

Segundo HARKIN (1969), se podem diferenciar as substâncias de sustentação e as de cimentação. Entre as primeiras a principal é a celulose, que confere resistência e tenacidade à madeira, e os hidratos de carbono afins que a acompanham, os quais fisiologicamente servem em parte como substâncias de reservas. Entre as substâncias cimentadoras, a lignina é a principal, acompanhada por gomas, colas, resinas, graxas, ceras, materiais corantes e minerais.

De acordo com MCMILLIN (1968) a holocelulose é obtida da madeira mediante ação reiterada de uma solução de 3% de mono-etanol-amina, em álcool 95% precedida por cloração. Se distingue da celulose Cross-&-Bevan por apresentar uma maior riqueza em hidratos de carbono coligados, sendo o restante dissolvido com lignina no processo. Com a solução de mono-etanol-amina as madeiras das folhosas tornam-se roxas e das coníferas tornam-se pardas. A cor da holocelulose depende do conteúdo residual de lignina e oscila

geralmente entre o pardo e o amarelo-claro. Caracteriza-se quimicamente pela considerável riqueza de hidratos de carbono coligados e também por conter muito mais α -celulose que a celulose obtida das madeiras.

Com exceção do composto orgânico β (1-3) glucan, encontrado nas algas marinhas, a celulose é o mais abundante composto químico, sendo encontrado em todas as plantas do reino vegetal e em certos animais (TIMELL, 1973). É um carboidrato, polissacarídeo, que quando analisada amostra proveniente de algodão puro observa-se uma composição química elementar de 44,44% de carbono, 6,22% de hidrogênio e 49,34% de oxigênio. Corresponde à fórmula mínima $C_6H_{10}O_5$ formada por inúmeras unidades e representada por $(C_6H_{10}O_5)_n$. O n é o grau de polimerização, que atinge valores próximos e até superiores a 10.000-15.000.

De acordo com KOLLMANN (1959) a principal fonte de celulose, em forma de fibras, é a madeira. Como a celulose é um polissacarídeo apresenta-se como um polímero de cadeia linear com grande comprimento, suficiente para ser insolúvel em água. Como todos os polissacarídeos naturais, a celulose é polimodispersa, ou seja, contém moléculas de tamanhos diferentes, podendo ser solubilizada em certos ácidos fortes, como o ácido sulfúrico (72%), o ácido clorídrico (44%) e o ácido ortofosfórico (85%). Sua estrutura consiste unicamente de unidades de β -D-anidro-glucose (β -D-anidro-glucopiranoose), unidas por ligações β (1-4) apresentando estrutura organizada e cristalina.

Pode-se entender a correspondência entre a constituição química da celulose e suas propriedades físicas e técnicas. Junto a natureza de sua substância fundamental (glucose), tem-se a grande importância devido o elevado grau de polimerização, que é a longitude das cadeias de valência principal. O grau médio de polimerização (GP) explica o número de moléculas da substância fundamental que se dispõem em série, sendo que sua magnitude importa nas propriedades mecânicas. O grau de polimerização da celulose de fibras de nativas de algodão chega a $GP = 3.000$, sendo que madeiras podem atingir um $GP = 1.900-2.000$.

Assim, as propriedades da celulose são dependentes do seu grau de polimerização e, conseqüentemente, do seu peso molecular. Como o peso molecular de cada anidro-glucose é de 162, tem-se que, o peso molecular mantém a relação com o grau de polimerização $PM = 162 \times GP$, onde GP é o grau de polimerização (KOLLMANN, 1959).

ROMANOWSKI (1986) estudando a composição química de caules de *Mimosa scabrella* Bentham de diferentes idades encontrou teores de celulose igual a 51,52%, sendo que as hemiceluloses apresentaram teores em torno de 21,86%. Nas mesmas determinações o ácido urônico apresentou teores em torno de 13,4% e as unidades acetil, teores em torno de 14,6%.

A hemicelulose é um grupo de carboidratos de pesos moleculares baixos e que ocorre nos tecidos vegetais, juntamente com a celulose. De acordo com KOLLMANN (1959) é constituída por vários monossacarídeos, como a glucose, xilose, manose, galactose e outros. As hemiceluloses possuem peso molecular bem inferior ao da celulose, sendo que, raras vezes possuem mais que 150 a 200 unidades de monossacarídeos na cadeia central. São diferentes entre folhosas e coníferas, pois nas segundas, os polissacarídeos são mais complexos, tanto em número quanto em sua estrutura. São polímeros geralmente amorfos, constituídos de uma cadeia principal de unidade repetitivas, mais as cadeias laterais. Assim, devido as inúmeras possibilidades de combinações dos monossacarídeos, as hemiceluloses são numerosas e variam em estrutura (TIMELL, 1973).

Segundo MCMILLIN (1968) as hemiceluloses são também polissacarídeos que servem como substâncias de sustentação e reserva, sendo mais facilmente hidrolisáveis que a celulose por ação de ácidos minerais diluídos. Distinguem-se também da celulose por sua maior solubilidade em álcalis, pelo qual é possível sua separação mais ou menos perfeita.

As hemiceluloses são insolúveis em solventes orgânicos neutros e a maior parte é insolúvel em água. Tanto a celulose como as hemiceluloses são hidrolisáveis em ácido,

embora as hemiceluloses o sejam mais rapidamente (HARKIN, 1969). Assim, torna-se difícil uma separação correta com este meio, pois ambos sofrem degradação em meio ácido.

No que se refere a lignina, trata-se do mais complexo dos constituintes da madeira, sendo que seu teor na madeira varia de 15 a 35%. ROMANOWSKI (1986), estudando a composição química de caules de *Mimosa scabrella* Bentham de diferentes idades encontrou teores médios de lignina em torno de 22,76%.

Distribuída na parede celular e na lamela média, mantém as fibras unidas e dá resistência à madeira. É um produto do metabolismo da planta, sendo depositado pelo protoplasma da célula lenhosa, na parede celular. A lignina é um polímero diferenciado dos carboidratos polímeros pelas seguintes características: é composto predominantemente aromático, amorfo e relativamente instável quimicamente, irregular em sua estrutura e constituição molecular, extremamente reativo e sujeito à reações de condensação (KLOCK, 1995). É de natureza aromática, com alto peso molecular e constituído de unidades de fenilpropano. É um composto presente em todos os vegetais superiores, não ocorrendo em plantas marítimas. Em média estão presentes em uma proporção de 17-25% nas folhosas e 28-36% nas coníferas (FENGEL & WEGENER, 1989).

A lignina é considerada uma combinação polímera espacial, tanto que seu comportamento químico revela que, em estado natural, é um corpo macro-molecular disposto em um retículo tridimensional. Sua composição não é constante, sendo que depende, em certos limites, da substância de origem e do método de análise. De acordo com IPT (1988) a composição elementar da lignina apresenta 67,5% de carbono e 6% hidrogênio nas coníferas e 60,0% de carbono seguido de 8% de hidrogênio nas folhosas, o que segundo os autores está de acordo com a composição elementar dos compostos aromáticos.

O processo de lignificação passa a ocorrer quando a célula para de crescer em comprimento, largura e espessura da parede (KOLLMANN, 1959). Os primeiros sinais de

lignificação só ocorrem após o crescimento em superfície da célula e o início do espessamento secundário. A lignificação não ocorre simultaneamente e na mesma posição para todas as células. Assim, pressupõe-se existir individualidade para cada célula.

Em sua composição elementar ocorre apenas carbono, hidrogênio e oxigênio. A base estrutural é o grupamento fenil-propano, porém existem, ligados ao anel benzênico, um número variável de grupos metoxílicos e hidroxílicos. Os principais tipos de estruturas fundamentais da Lignina são o guaiacil-propano, siringil-propano, hidroxil-benzil e fenil-propano. Seus grupos funcionais são os grupos metoxílicos, grupos hidroxílicos, grupos carboxílicos e grupos carbonilos (KOLLMANN, 1959).

A lignina serve como cimento na armação celulósica (KLOCK, 1995). A forte união, quase quimicamente íntima, segundo é indicada, da substância cimentadora como a que constitui a armação, podendo ser rompida somente por ação de reativos energéticos, sendo que os produtos assim obtidos são provenientes de uniões de substâncias ainda não bem conhecidas, de diferentes propriedades.

É extraída da madeira por dissolução, com uma união de ácido sulfúrico e clorato potássico. É substância de cor e amorfa, de peso molecular indeterminado, sendo considerada hidrofóbica. Na madeira possui a cor clara, algo em torno de um bege-claro, devido a sua reatividade e tendência a formar grupos cromóforos (HARKIN, 1969).

Os extrativos da madeira são compostos com baixo ou médio peso molecular, extraíveis da madeira por solventes orgânicos ou água, sendo que existem alguns que são volatilizados pelo vapor. Fisiologicamente, os extrativos da madeira podem ser classificados como materiais de reserva, materiais de proteção e hormônios vegetais. De forma geral, a madeira contém de 1-10% de extrativos, base peso seco. As coníferas em geral possuem de 4-10% e as folhosas de 1-4% de extrativos (KOLLMANN, 1959).

De acordo com SENAI-IPT (1988) todos os compostos formados na madeira

originam-se da fotossíntese. Os extrativos são resultantes de modificações sofridas pelos carboidratos no processo fisiológico da árvore. Uma de suas funções é servir como substância de reserva, localizando-se nas células parenquimatosas, principalmente do raio (HARKIN, 1969). Os extrativos suprem as necessidades das células em casos de deficiência de nutrientes e energia. Outras funções estão na proteção física da madeira e da casca. De acordo com TIMELL (1973), os extrativos geralmente desempenham um importante papel na utilização da madeira, influenciando suas propriedades físico-químicas e mecânicas. Na fabricação da pasta de celulose os extrativos desempenham papel negativo, vindo a ser um inibidor do processo. Segundo o autor, na casca e nas raízes são mais altos os teores de extrativos, o que pode ser explicado pela sua função de proteção a estas estruturas.

As reservas alimentícias se localizam nas células do parênquima. Terpenos e ácidos resinosos são encontrados nos canais de resina e nas células epiteliais secretoras. Extrativos solúveis em água, como açúcares, são encontrados no alburno. O cerne das folhosas é rico em polifenóis e em extrativos gordurosos que formam as tiloses. Os constituintes minerais se localizam predominantemente na lamela média e na parede primária das fibras, embora ocorram também na parede secundária (KLOCK, 1995).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os dados utilizados para a obtenção dos parâmetros de produção foram coletados na Fazenda Massaroca-Caetê, de coordenadas UTM 683.000 e 7.214.500, com área de 600 ha, localizada no Distrito de Antinhas, Município de Bocaiúva do sul, Estado do Paraná, de propriedade da empresa Cal Cem Indústria de Minérios LTDA, sediada no município de Colombo, neste mesmo Estado. A empresa possui povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Bentham) para garantir o suprimento de lenha consumida pelos seus fornos de processamento de cal. A área total com florestas de bracatinga corresponde a aproximadamente 400 ha, distribuídos em talhões de diversas idades.

4.2 OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRODUÇÃO

Foram coletados dados de parcelas de cada idade de povoamentos com 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 anos. Foram demarcadas 4 (quatro) parcelas em cada um dos talhões, todos provenientes de regeneração natural e com características de média produtividade. As parcelas foram demarcadas ao longo do gradiente de variação da declividade, com o objetivo de abranger a maior variação possível de sítio em um mesmo talhão. De cada talhão foi coletado material para identificação da espécie, os quais foram herborizados e registrados no Herbário do Laboratório de Dendrologia do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (Reg. nº 4207 – 27/07/94). Definiu-se pela utilização de parcelas retangulares de 100

m² nos talhões que apresentavam idades de 1 a 5 anos e de 400 m² naqueles que apresentavam idades de 6 e 7 anos. Isto deveu-se ao sensível decréscimo da densidade do povoamento com o aumento da idade. Por intermédio da determinação da declividade, relativamente alta na região, as parcelas tiveram corrigidas suas áreas, de tal modo que, os parâmetros de produção da espécie não fossem superestimados.

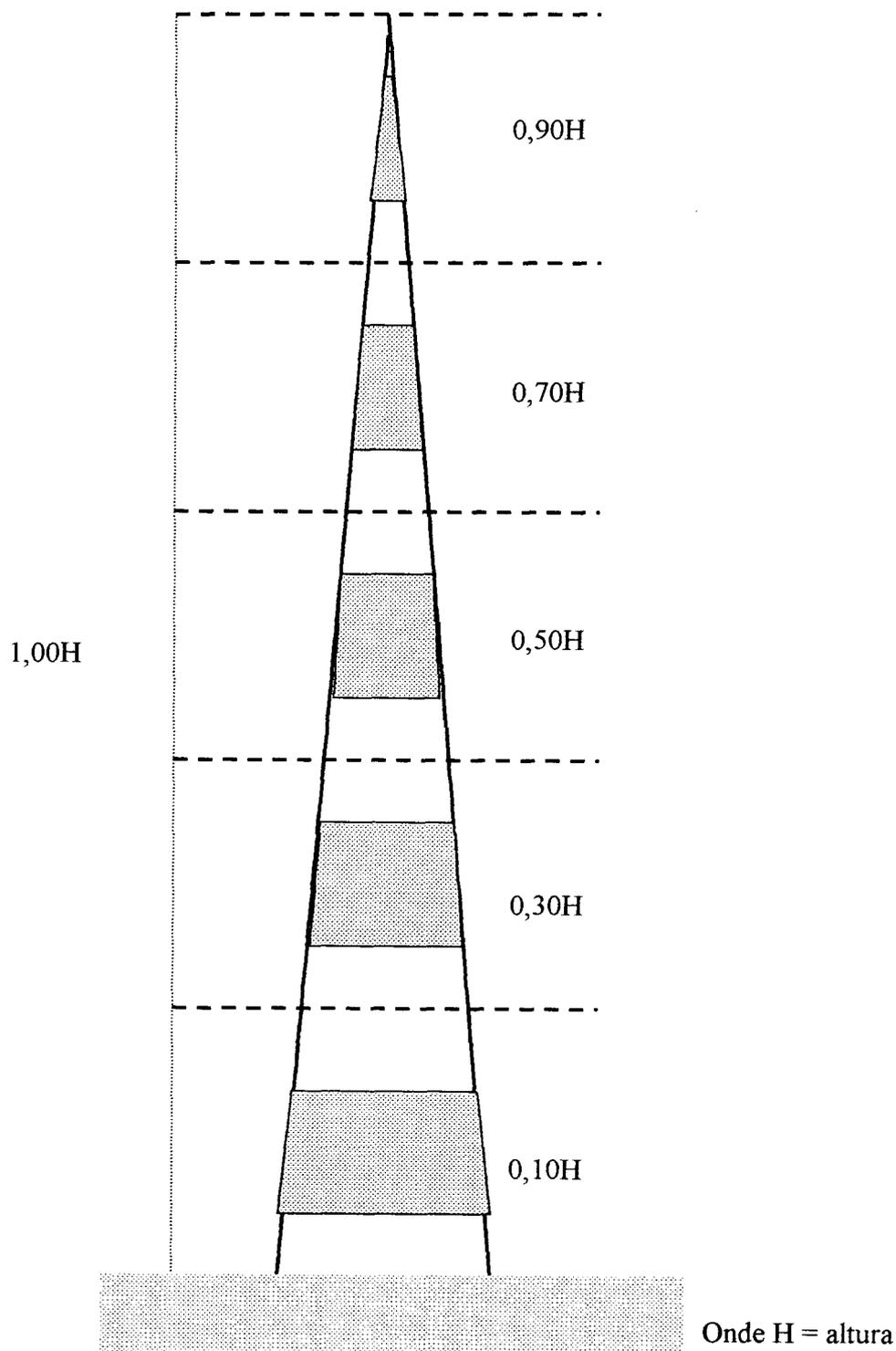
Foram tomadas medidas do CAP (circunferência a altura do peito) de todas as árvores de cada parcela, sendo, posteriormente pelo método de Hohenadl (seções relativas), cubadas as 7 (sete) árvores representativas de cada uma das parcelas ($\bar{x}-3S$, $\bar{x}-2S$, $\bar{x}-1S$ (dominadas); \bar{x} (médias); $\bar{x}+1S$, $\bar{x}+2S$, $\bar{x}+3S$ (dominantes)), o que resultou em um total de 28 árvores para cada idade estudada. Durante a cubagem efetivou-se, ainda, a coleta de dados relativos a espessura de casca das árvores representativas. Procedeu-se a padronização na coleta destas árvores a partir de classes de desvio-padrão (S), o que permitiu a correção das variâncias intrínsecas da própria coletividade (HOSOKAWA & SOUZA, 1987).

4.3 OBTENÇÃO DO MATERIAL PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS

Para a obtenção do material a ser utilizado nas análises químicas de determinação da biomassa de carbono foram tomadas amostras de todas as árvores representativas cubadas, na forma de toretes com comprimento variando entre 30 e 50 cm, seccionados exatamente no meio de cada seção relativa, resultando um total de 5 toretes por árvore cubada (FIGURA 02). Para conservar a umidade inicial dos toretes, os mesmos receberam nos topos uma camada de cola de isopor, além de serem acondicionados e vedados em sacos plásticos. Os toretes coletados foram identificados um a um com 4 (quatro) caracteres, da seguinte forma: o primeiro número referia-se à idade do povoamento de origem, o segundo número à parcela, o

terceiro à classe de diâmetro e o quarto à seção relativa em questão. O material foi, então encaminhado ao Laboratório de Química da Madeira, do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, para posterior preparo e efetivação das análises químicas.

FIGURA 02 – ESQUEMA DE COLETA DO MATERIAL PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS



4.4 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

4.4.1 Modelos estimadores dos parâmetros de produção de biomassa

Com o objetivo de estimar altura das árvores individuais em função do diâmetro, para cada idade separadamente, foram testados os modelos apresentados na TABELA 01, modelos estes bastante consagrados na literatura florestal.

TABELA 01 – MODELOS ESTIMADORES DA ALTURA (H) EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO (DAP).

AUTORES	MODELOS
Prodan	$H = DAP^2 / b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2$
Curtis	$LN (H) = b_0 + b_1/DAP$
Henriksen	$H = b_0 + b_1LN (DAP)$
Stoffells	$LN (H) = b_0 + b_1LN (DAP)$

Onde: H = altura (m); DAP = diâmetro a altura do peito (cm);
LN = logaritmo natural; b_0, b_1, \dots = coeficientes do modelo.

Com o objetivo de estimar o volume das árvores individuais, para cada idade separadamente, em função das variáveis Altura (H) e Diâmetro (DAP), foram testados os modelos apresentados na TABELA 02.

TABELA 02 – MODELOS ESTIMADORES DO VOLUME (V) EM FUNÇÃO DO DAP E H.

AUTORES	MODELOS
Stoate	$V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2H + b_3DAP^2H$
Mayer	$V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3H + b_4DAP^2H$
Shumacher – Hall	$LN (V) = b_0 + b_1LN (DAP) + b_2LN (H)$
Spurr	$LN (V) = b_0 + b_1LN (DAP^2H)$

Onde: H = altura (m); DAP = diâmetro a altura do peito (cm);
 V = volume (m³); LN = logaritmo natural;
 b₀, b₁... = coeficientes do modelo.

Com o objetivo de estimar a espessura da casca (cm) das árvores individuais em função do diâmetro (DAP), testou-se o ajuste dos modelos apresentados na TABELA 03, escolhidos de acordo com a análise prévia da dispersão dos dados observados quando plotadas as variáveis de interesse em eixos cartesianos.

TABELA 03 – MODELOS ESTIMADORES DA ESPESSURA DA CASCA EM FUNÇÃO DO DAP.

AUTORES	MODELOS
Sing & Sharma	$E_C = b_0 + b_1DAP$
Belanger	$LN(E_C) = b_0 + b_1LN(DAP)$

Onde: DAP = diâmetro a altura do peito (cm); E_C = Espessura da casca (cm);
 LN = logaritmo natural; b₀, b₁... = coeficientes do modelo.

Os estudos de biomassa de uma determinada espécie baseiam-se na utilização de variáveis de fácil obtenção no campo que possam expressar o peso de árvores individuais ou de um povoamento. Para o presente estudo foram testados os modelos apresentados na TABELA 04, que estimam o peso seco e úmido do lenho das árvores individuais.

TABELA 04 – MODELOS ESTIMADORES DO P_S E P_U EM FUNÇÃO DO DAP E H

AUTORES	MODELOS P _S
Sing & Sharma	$P_S = b_0 + b_1DAP$
Belanger	$P_S = b_0 + b_1DAP^2H$
Sing & Sharma	$P_S = b_0 + b_1LN(DAP^2)H$
Hosokawa	$P_S = b_0 + b_1LN(DAP) + b_2LN(H)$

Onde: H = altura (m); DAP = diâmetro a altura do peito (cm);
 P_S = peso seco (kg); P_U = peso úmido (kg);
 LN = logaritmo natural; b₀, b₁... = coeficientes do modelo.

A estimativa do peso seco da casca das árvores individuais baseou-se na utilização dos dados relativos as suas densidades, espessura e volume de casca.

No que se refere a estimativa da distribuição diamétrica das árvores das parcelas, foram testadas as funções de distribuição Weibull e Gama, apresentadas na TABELA 05. Para avaliação dos ajustes obtidos, foram utilizados os estimadores de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (d), assim como o valor do Qui-Quadrado (Q^2).

TABELA 05 – MODELOS ESTIMADORES DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA

Weibull	$f(x) = (c/b) (x/b)^{c-1} \exp \{- (x/b)^c\}$
	para $x \geq 0, b > 0, c > 0$
Gama	$f(x) = \alpha / (r-1)! (\alpha x)^{r-1} e^{-\alpha x}$
	para $x > 0$

Onde: $f(x)$ = função de densidade probabilística;
 c, b, r, α = parâmetros dos modelos;
 e = base do logaritmo natural;
 x = variável aleatória.

Com o intuito de estimar os benefícios diretos do povoamento, classificando-os em diferentes bitolas comerciais, utilizou-se da função afilamétrica representada pelo polinômio de terceiro grau, como apresentado a seguir:

$$d_i / d_{0,1} = b_0 + b_1(h_i / H) + b_2(h_i / H)^2 + b_3(h_i / H)^3$$

Onde: d_i = diâmetro a uma determinada altura;
 $d_{0,1}$ = diâmetro a 10% da altura;
 h_i = uma determinada altura;
 H = altura total;
 b_0, b_1, \dots = coeficientes do modelo.

A exemplo da solução apresentada por vários autores citados por BORGES (1981) para casos similares, foi utilizado um modelo linear simples para a estimativa do diâmetro relativo ($d_{0,1}$) em função do diâmetro absoluto (DAP), conforme apresentado a seguir.

$$d_{0,1} = b_0 + b_1DAP$$

Onde: $d_{0,1}$ = diâmetro a 10% da altura;
 DAP = diâmetro à altura do peito;
 $b_0, b_1\dots$ = coeficientes do modelo.

O traçamento simulado do fuste foi efetuado de acordo com as seguintes bitolas e respectivos preços de mercado:

- ◆ peças para serraria com diâmetro mínimo na ponta fina igual a 15 cm, comprimento igual a 3 m e R\$ 7,00/st;
- ◆ peças para escora de construção civil com diâmetro mínimo na ponta fina igual a 7 cm, comprimento igual a 4m e R\$ 0,40/uni;
- ◆ peças para energia com diâmetro mínimo na ponta fina igual a 4 cm, comprimento igual a 1 m e R\$ 5,00/st.

O traçamento ótimo simulado das árvores utiliza-se de uma função relativa baseada em uma equação volumétrica para a obtenção do volume absoluto das peças. Foi então ajustada uma equação, para cada idade, que estimasse o volume do tronco de árvores individuais.

Com auxílio da equação que estima o volume total das árvores individuais (tronco e galhos) obteve-se o volume dos galhos por diferença, sendo este valor adicionado ao volume de lenha obtido por meio do sortimento das árvores representativas de cada classe diamétrica. Como a cubagem dos galhos, em campo, foi efetuada até um perímetro mínimo de 12 cm, justifica-se a sua destinação para energia, como usual no mercado.

Para a efetivação do traçamento simulado utilizou-se de um fator de empilhamento, para que os resultados se adequassem aos padrões de medida de mercado relativos à espécie, sendo seu valor igual a 1,62 (CARPANEZZI, 1994).

4.4.2 Critério de seleção dos melhores modelos estimadores de produção

A seleção dos melhores modelos estimadores dos parâmetros de produção das árvores individuais, que concentrou-se inicialmente da dispersão dos dados observados e correlação das variáveis dependentes e independentes, baseou-se na análise gráfica da distribuição dos resíduos e nos seguintes indicadores de ajuste:

- a) coeficiente de determinação (R^2);
- b) erro padrão da estimativa absoluto (S_{yx});
- c) erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$);
- d) análise de tendenciosidade dos modelos ajustados e
- e) teste “F” de significância.

Segundo os critérios apresentados, os melhores modelos estimadores escolhidos foram aqueles que apresentaram, de forma conjunta, o menor erro padrão da estimativa absoluto e percentual (S_{yx} e $S_{yx}\%$) e maior coeficiente de determinação (R^2). Procurou-se levar em conta, sempre que necessário, a análise de tendenciosidade dos modelos ajustados, o que permitiu eliminar modelos que pudessem conter qualquer viés de estimativa.

Os volumes médios estimados e corrigidos foram obtidos a partir do produto entre o antilogaritmo dos volumes estimados e o fator de correção.

Para fins de comparação de modelos logarítmicos com modelos não logarítmicos procedeu-se, ainda, o recálculo do erro padrão da estimativa considerando o fator de correção da discrepância logarítmica, conforme recomendado por HOSOKAWA (1990).

4.5 PREPARAÇÃO E ANÁLISES QUÍMICAS DAS AMOSTRAS

Inicialmente efetivou-se a separação do lenho e da casca, para que ambos pudessem ser analisados separadamente, o que se justificou em função das diferenças marcantes entre os dois materiais, principalmente no que se refere a sua composição química e características físicas e mecânicas.

A umidade inicial da casca e do lenho foi obtida a partir da relação entre a diferença do peso da madeira úmida (P_u) e o peso em estado completamente seco (P_0) em gramas, sendo expresso em porcentagem. Pesou-se o material úmido e após mantido em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até peso constante. A fórmula utilizada foi:

$$U (\%) = (P_u - P_0) / P_0 * 100$$

Onde: U = teor de umidade (%);

P_u = peso úmido (gramas);

P_0 = peso seco (gramas).

A Massa Específica Básica foi obtida por meio da relação entre o peso seco do material (P_0) e o seu volume verde (V_v), sendo expressa em g/cm^3 . O volume foi determinado pelo método de pesagem que se utiliza de uma balança e um recipiente aferido com água. O material, completamente saturado, foi submerso na água contida no recipiente, tomando-se o cuidado de não encostar nas laterais e fundo do mesmo. O volume foi então obtido pelo deslocamento do líquido que, por apresentar a densidade igual a um ($1 \text{ g}/\text{cm}^3$), tem seu peso deslocado igual ao seu volume em gramas por centímetro cúbico. A fórmula utilizada foi:

$$\text{Meb} = P_0 (\text{g}) / V_v (\text{cm}^3)$$

Onde: Meb = Massa Específica Básica (g/cm^3);

P_0 = peso seco; V_v = volume verde.

A serragem utilizada para as análises químicas foi preparada a partir dos toretes obtidos das seções relativas das árvores cubadas, como já descrito. Os toretes foram seccionados em discos utilizando-se de serra-de-fita, sendo que, dos discos se obteve os blocos que foram então transformados em cavacos. Os cavacos foram quebrados em moinho, obtendo-se uma serragem com granulometria diversificada, posteriormente classificada por peneiramento. Essa classificação visava separar o material que atravessasse a peneira de malha nº 16 internacional (40 mesh ASTM) e ficasse retido na peneira de malha nº 24 internacional (60 mesh ASTM) (TAPPI T 264 om – 88). Esse material foi então aclimatado por 48 horas em ambiente com Umidade Relativa igual a $65\% \pm 3$ e temperatura igual a $20^{\circ} \text{C} \pm 2$, sendo mantido nestas condições até a efetivação de todas as análises planejadas e previstas.

O peso de biomassa foi estimado utilizando-se os dados observados de volume de casca e de densidade. Essa variável foi estimada multiplicando-se a massa específica básica pelos volumes observados para cada árvore de cada idade e parcela, conforme o demonstrado na formulação abaixo, onde P_S é o peso seco da casca, M_{eb} é a massa específica básica, e V_V é o volume úmido de casca:

$$P_S = M_{eb} \times V_V$$

As amostras utilizadas para as análises químicas foram compostas para cada árvore, utilizando-se das amostras das seções relativas, que tiveram determinadas suas proporções na amostra final por meio do peso de cada seção em relação ao peso total do tronco. Utilizou-se desta metodologia devido a variação nas propriedades e composição química da madeira ao longo do fuste de uma mesma árvore, como determinado por HOSOKAWA *et al.* (1996). Este método permitiu uma avaliação mais significativa de cada indivíduo, pois desta forma cada amostra composta representava toda a porção do fuste de uma determinada árvore.

Para cada amostra assim obtida efetivou-se 2 (duas) determinações (repetições), salvo

em alguns casos em que houve a necessidade, para confirmação da média, de se proceder a um número maior devido a variação entre os primeiros valores.

Efetuaram-se análises químicas para a quantificação dos constituintes fundamentais, a lignina e a holocelulose, e dos constituintes acidentais, os extrativos e as cinzas, tanto para a madeira como para a casca. No que se refere aos extrativos, foram determinados os seus teores em álcool-benzeno, água fria e água quente.

Na TABELA 06 são apresentadas as determinações químicas e as respectivas normas adotadas.

TABELA 06 – ANÁLISES QUÍMICAS E RESPECTIVAS NORMAS UTILIZADAS

ANÁLISES QUÍMICAS	NORMAS
Teores de:	
lignina	TAPPI – T222om – 88
cinza	TAPPI – T211om – 93
holocelulose	Obtido por diferença
Solúveis em:	
água quente	TAPPI – T207om – 93
água fria	TAPPI – T207om – 93
álcool-benzeno	TAPPI – T204om - 88

Utilizando-se dos valores da massa específica básica e do volume de cada árvore individual estimou-se o peso seco da madeira e da casca, o que permitiu a determinação do peso seco relativo aos seus constituintes fundamentais e acidentais. A quantificação destes constituintes da madeira e da casca propiciou, por meio de suas formulações químicas ordinárias, a determinação do conteúdo de carbono de cada árvore individual. Foram abandonados os dados relativos a quantificação do carbono a partir dos extrativos, devido a

enorme complexidade e heterogeneidade de sua constituição elementar, além de sua pequena representatividade na biomassa total de cada árvore individual. Da mesma forma, os dados relativos aos teores de cinza foram abandonados logo após sua determinação e utilização em cálculos primários iniciais. Como se sabe, os teores de cinza se referem ao conteúdo de minerais, não apresentando sequer traços de carbono em sua constituição.

As determinações dos teores de carbono de cada árvore individual a partir dos teores de lignina, para o lenho e para a casca, foram efetivadas levando-se em consideração a porcentagem de carbono contido na lignina equivalente a 60%, conforme citado por IPT (1988). No que se refere aos teores de carbono devidos aos teores de holocelulose, os mesmos foram determinados levando-se em conta o fracionamento do macroelemento em celulose e hemicelulose. O percentual de cada componente químico na holocelulose foi determinado a partir de dados obtidos por ROMANOWSKI (1986), sendo igual a 71,56% para a celulose e 28,44% para a hemicelulose.

A determinação dos teores de carbono a partir dos teores de celulose foi efetuada utilizando-se do peso seco de cada árvore individual e do percentual de massa de carbono em cada molécula de glucose, sendo descontado para cada uma destas unidades de polissacarídeo o equivalente ao peso de uma molécula de água, que é perdida quando ocorrem as ligações das unidades glicosídicas na formação da longa cadeia de celulose.

No que se refere aos teores de carbono devidos aos teores de hemiceluloses, foi efetuada hidrólise ácida de amostras de árvores médias de cada idade, para o lenho e para a casca, com o objetivo de determinar os teores dos monossacarídeos descritos como sendo seus constituintes primários, tais como a ramnose, a arabinose, a xilose, a manose e a galactose, no peso seco da biomassa.

As determinações foram efetuadas, separadamente, para o lenho e para a casca da espécie respectivamente, a partir da hidrólise dos materiais secos, com granulometria de 100

mesh, conforme descrito por SAEMAN (1954) e citado por BOCHICCHIO (1999).

Cerca de 10 mg de material foi submetido a uma pré-hidrólise ácida com ácido sulfúrico 72% m/v em gelo, seguida por diluição do ácido a 8% m/v, em banho fervente, por 5 horas. O material foi neutralizado com carbonato de bário e filtrado.

Os monossacarídeos foram reduzidos pela adição de cerca de 10 mg de boroidreto de sódio (NaBH_4) (WOLFROM & THOMPSON, 1963b). Após duas horas foi adicionado resina catiônica DOWEX 50W-X 8- H^+ para remoção dos ions Na^+ (até pH 5,0). As soluções foram filtradas e o solvente evaporado à vácuo. Metanol foi adicionado ao residuo e o borato de metila formado, evaporado a vácuo.

Os alditóis foram acetilados pela adição de 0,5 ml de anidrido acético e 0,5 ml de piridina, em tubos vedados, permanecendo durante cerca de 10 horas à temperatura ambiente (WOLFROM & THOMPSON, 1963a).

A reação foi interrompida adicionando-se água gelada, sendo a seguir procedida a extração dos acetato de alditóis, por meio da adição de clorofórmio e posterior eliminação de piridina em tratamentos sucessivos com sulfato de cobre (CuSO_4) 5% e água destilada.

Os acetatos de alditóis formados foram submetidos à cromatografia líquido-gasosa (G.L.C) para análise da composição monossacarídica.

Desta forma, obteve-se o peso de carbono (kg) de cada árvore cubada, representativa de cada classe de diâmetro e de cada idade, a partir da quantificação dos teores dos seus constituintes fundamentais e acidentais (%) e da determinação do peso seco da sua biomassa (kg).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 MODELOS ESTIMADORES DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

Os modelos que melhor estimaram a relação altura/diâmetro, para cada idade, são apresentados na TABELA 07.

TABELA 07 – MODELOS HIPSOMÉTRICOS DE MELHOR AJUSTE

IDADE	MODELOS	R ²	S _{yx} %
3	$H = DAP^2 / b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2$	0,99	7,80
4	$H = DAP^2 / b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2$	0,99	7,14
5	$LN(H) = b_0 + b_1LN(DAP)$	0,93	11,33
6	$LN(H) = b_0 + b_1 / (DAP)$	0,62	8,86
7	$H = b_0 + b_1LN(DAP)$	0,81	8,99

Verificou-se que todos os modelos apresentaram elevados coeficientes de determinação (R²), com exceção das idades 6 e 7, onde os valores variaram de 0,62 a 0,81. O decréscimo no valor destes coeficientes deve-se a presença marcante de galhos nas árvores dos povoamentos com idade mais avançada, o que diminui a correlação entre as duas variáveis. No que diz respeito ao erro padrão da estimativa em percentual (S_{yx}%), os modelos apresentaram, invariavelmente, valores dentro do limite considerado como aceitável (em torno de 10%), o que vem a definir modelos estimadores de boa precisão para todas as idades estudadas. De uma forma geral, os modelos não apresentaram tendências que viessem a comprometer sua qualidade de estimador, apresentando inclusive valores de “F” da análise de variância altamente significativos, o que define os modelos de ajuste como representativos da

relação existente entre as variáveis altura e diâmetro.

Os modelos que melhor estimaram a relação volume/altura-diâmetro, para cada idade, são apresentados na TABELA 08.

TABELA 08 – MODELOS VOLUMÉTRICOS DE MELHOR AJUSTE

IDADE	MODELOS	R ²	S _{yx} %
3	$V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3H + b_4DAP^2H$	0,99	9,43
4	$V = b_0 + b_1DAP + b_2DAP^2 + b_3H + b_4DAP^2H$	0,97	19,62
5	$V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2H + b_3DAP^2H$	0,98	16,15
6	$LN(V) = b_0 + b_1LN(DAP) + b_2LN(H)$	0,99	9,33
7	$V = b_0 + b_1DAP^2 + b_2H + b_3DAP^2H$	0,99	10,49

Verificou-se que todos os modelos apresentaram elevados valores de coeficiente de determinação (R²), variando entre 0,97 e 0,99 o que permite afirmar que as variáveis altura e diâmetro explicam quase que totalmente as oscilações da variável volume. O erro padrão da estimativa em percentual (S_{yx}%) apresentou-se acima dos limites recomendados (10%) nas idades 4 e 5 anos, com valores iguais a 19,62% e 16,15% respectivamente. Os modelos ajustados, de forma geral, não apresentaram tendências marcantes, vindo a ser definidos como bons estimadores da variável volume em função da altura e do diâmetro das árvores individuais. No que se refere aos valores de “F” da Análise de Variância, os mesmos apresentaram-se altamente significativos, indicando que os modelos são representativos da relação existente entre as variáveis.

Na TABELA 09 são apresentados os coeficientes da equação que estima a relação entre a espessura da casca (cm) e o diâmetro e o respectivo erro padrão de estimativa em percentual (S_{yx}%), igual a 19,33%, além do coeficiente de determinação (R²), igual a 0,91. A análise de variância para o modelo ajustado apresentou um valor de “F” igual a 3076,64

altamente significativo, indicando que o modelo representa a relação entre as variáveis.

TABELA 09 - PARÂMETROS DE AJUSTE DO MODELO ESP (CASCA) = $b_0 + b_1DAP$

$R^2 = 0,91$		Erro Padrão		
$S_{YX} \% = 19,33$	Coefficientes	Coefficientes	t(299)	p-valor
Intercepto	0,057870	0,004218	13,71887	0,00000
Diâmetro	0,025096	0,000452	55,46745	0,00000

Os modelos que apresentaram melhores indicadores de ajuste para a variável Peso Seco (P_s) em função da altura (H) e do diâmetro (DAP), para cada idade, são apresentados na TABELA 10.

TABELA 10 – MODELOS GRAVIMÉTRICOS DE MELHOR AJUSTE

IDADE	MODELOS	R^2	$S_{yx}\%$
3	$P_s = b_0 + b_1DAP$	0,99	8,25
4	$P_s = b_0 + b_1DAP^2H$	0,99	10,23
5	$P_s = b_0 + b_1LN(DAP^2)H$	0,99	11,78
6	$P_s = b_0 + b_1LN(DAP) + b_2LN(H)$	0,98	9,49
7	$P_s = b_0 + b_1LN(DAP) + b_2LN(H)$	0,99	12,56

Observou-se que os modelos ajustados apresentaram elevados coeficientes de determinação (R^2), assim como baixos valores no que se refere ao erro padrão da estimativa em percentual ($S_{yx}\%$), variando entre 0,98 e 0,99, e entre 8,25% e 12,56% respectivamente. As análises de tendenciosidade não foram significativas para nenhum dos modelos apresentados.

No que se refere aos modelos de distribuição diamétrica, o que apresentou melhores indicadores de ajuste foi o modelo de distribuição gamma, o qual é indicado também devido a

relativa facilidade no seu manuseio (ANEXO 01). Observou-se que nas idades menores (3 e 4 anos) a assimetria a direita é mais significativa que nas maiores idades, onde algumas parcelas apresentaram um certo achatamento na sua curva de frequência. Da mesma forma, as maiores classes diamétricas apresentaram um desvio menor, no que se refere a diferença entre os dados observados e esperados, enquanto as classes médias e inferiores apresentaram, via de regra, um desvio maior.

Já a representação gráfica das tendências do diâmetro relativo ($d_{0,1}$) em função do diâmetro absoluto (DAP) apresentou-se na forma de uma reta (ANEXO 01), indicando que um modelo linear poderia perfeitamente expressar a relação entre estas variáveis. Ajustado para cada idade, o modelo linear apresentou elevados valores do coeficiente de determinação (R^2), variando em torno de 0,99, assim como baixos erros padrões da estimativa (S_{yx}), variando entre 0,1558 e 0,1970 (TABELA 11). Os valores de “F” das análises de variâncias apresentaram-se altamente significativos, indicando que o modelo representa a relação entre as variáveis estudadas.

TABELA 11 – INDICADORES DE AJUSTE DA FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA

IDADE	MODELOS	R^2	S_{yx}	“F”
3	$d_{0,1} = b_0 + b_1DAP$	0,99	0,1558	14724
4	$d_{0,1} = b_0 + b_1DAP$	0,99	0,1970	6364
5	$d_{0,1} = b_0 + b_1DAP$	0,99	0,1501	26601
6	$d_{0,1} = b_0 + b_1DAP$	0,99	0,1501	26601
7	$d_{0,1} = b_0 + b_1DAP$	0,99	0,1707	29652

A função afilamétrica relativa de terceiro grau apresentou um bom ajuste para todas as idades, com coeficientes de determinação (R_2) que variaram de 0,96 a 0,98. Da mesma forma, os valores do “F” estatístico apresentaram-se altamente significativos para todas as idades

ajustadas. Quanto ao erro padrão da estimativa (S_{yx}), o modelo apresentou- adequado, para todas as idades, não ocorrendo variações significativas (TABELA 12). O modelo cumpriu os requisitos básicos das funções afilamétricas, tais sejam, estimando o diâmetro igual a zero (0) quando h_i/H fosse igual a hum (1), e o valor do DAP quando h_i fosse igual a 1,30 metros.

TABELA 12 – INDICADORES DE AJUSTE DA FUNÇÃO AFILAMÉTRICA RELATIVA

IDADE	MODELOS	R ²	S _{yx}	“F”
3	$d_i / d_{0,1} = b_0 + b_1(h_i / H) + b_2(h_i / H)^2 + b_3(h_i / H)^3$	0,98	0,0746	2186
4	$d_i / d_{0,1} = b_0 + b_1(h_i / H) + b_2(h_i / H)^2 + b_3(h_i / H)^3$	0,97	0,0728	1376
5	$d_i / d_{0,1} = b_0 + b_1(h_i / H) + b_2(h_i / H)^2 + b_3(h_i / H)^3$	0,98	0,0830	1075
6	$d_i / d_{0,1} = b_0 + b_1(h_i / H) + b_2(h_i / H)^2 + b_3(h_i / H)^3$	0,96	0,0750	1549
7	$d_i / d_{0,1} = b_0 + b_1(h_i / H) + b_2(h_i / H)^2 + b_3(h_i / H)^3$	0,97	0,0631	2170

O traçamento ótimo simulado do fuste, realizado de acordo com as bitolas e preços praticados no mercado, forneceu uma renda de R\$ 1.312, 51 por hectare de terra cultivada com bracatinga no sistema tradicional (idade de corte aos 7 anos). Este valor vem a corroborar os resultados obtidos por MENDONÇA *et al.* (1988), que citam valores próximos a 12 salários mínimos como sendo a remuneração pelo cultivo de 1 hectare de bracatinga.

Observou-se que a participação das peças destinadas a lenha na composição da renda bruta é mais significativa nas idades de três (3) e quatro (4) anos (70 – 80%), vindo a decrescer nas idades posteriores (20 – 30%), onde as peças de escora passam a predominar. Nos povoamentos com idades de cinco (5) a sete (7) anos, sua participação chega a constituir em média 50% da Renda bruta gerada pela biomassa da espécie, no que se refere aos produtos diretos. Já as peças para serraria apresentam uma participação na composição da Renda Bruta nos povoamentos com idade de cinco (5) e seis (6) anos, mesmo que de forma ainda incipiente, vindo a se tornar mais representativas na idade de sete (7) anos (TABELA 13).

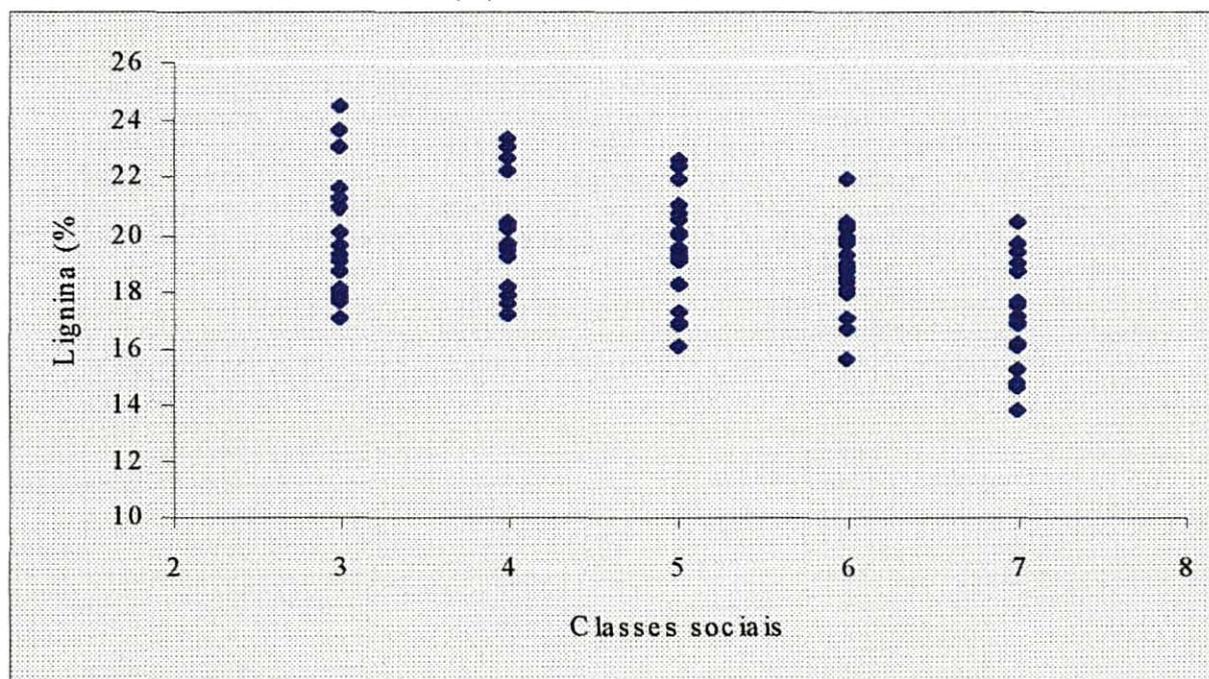
TABELA 13 – VOLUME E RENDA GERADA PELO TRAÇAMENTO SIMULADO DO FUSTE

Idade	L (st/ha)	E (pçs/ha)	S (st/ha)	L (R\$/ha)	E (R\$/ha)	S (R\$/ha)	Rb (R\$/ha)
3	85,85	754		429,28	301,90		731,18
3	56,74	106		283,72	42,57		326,29
3	111,23	753		556,16	301,34		857,50
3	78,38	189		391,91	75,88		467,80
4	82,15	1159		410,78	463,94		874,73
4	95,18	388		475,91	155,32		631,23
4	133,77	273		668,85	109,28		778,13
4	144,52	531		722,65	212,55		935,19
5	170,24	1556		851,23	622,66		1473,89
5	169,50	1203	1,59	847,53	481,31	11,19	1340,03
5	64,60	708		323,03	283,45		606,49
5	103,42	1143		517,14	457,30		974,44
6	115,59	955		578,00	382,22		960,22
6	84,54	1589	8,51	422,72	635,70	59,62	1118,05
6	122,29	1054		611,46	421,75		1033,21
6	125,19	2172		625,97	869,11		1495,09
7	90,16	1704	25,26	450,82	681,66	176,84	1309,32
7	59,89	2198	33,46	299,49	879,20	234,27	1412,96
7	66,36	1708	16,03	331,85	683,22	112,26	1127,33
7	61,08	1789	81,61	305,43	715,72	571,30	1592,46

5.2 TEORES DE LIGNINA E HOLOCELULOSE

De acordo com a análise de variância, efetuada com os dados resultantes das análises do lenho, os teores de extrativos em água fria, extrativos em álcool-benzeno, extrativos totais e teores de lignina apresentaram variação significativa em relação a variável idade, o que não ocorreu com os teores de extrativos em água quente, teores de cinzas e teores de holocelulose. Em relação às classes sociais, ocorreram variações significativas nos teores de extrativos em água quente, com valores variando entre 4,69% (dominadas) e 2,36% (dominantes), extrativos em água fria, com valores variando entre 2,80% (dominadas) e 1,96% (dominantes), extrativos em álcool-benzeno, com valores variando entre 2,61% (dominadas) e 1,54% (dominantes), extrativos totais, com valores variando entre 9,27% (dominadas) e 5,08% (dominantes), e teores de holocelulose, que variaram entre 72,40% (dominadas) e 73,71% (dominantes). No que se refere aos teores de lignina, os mesmos apresentaram tendência de decréscimo ao longo das classes sociais, variando seu conteúdo entre 20,30% (dominadas) e 17,70% (dominantes) (FIGURA 03).

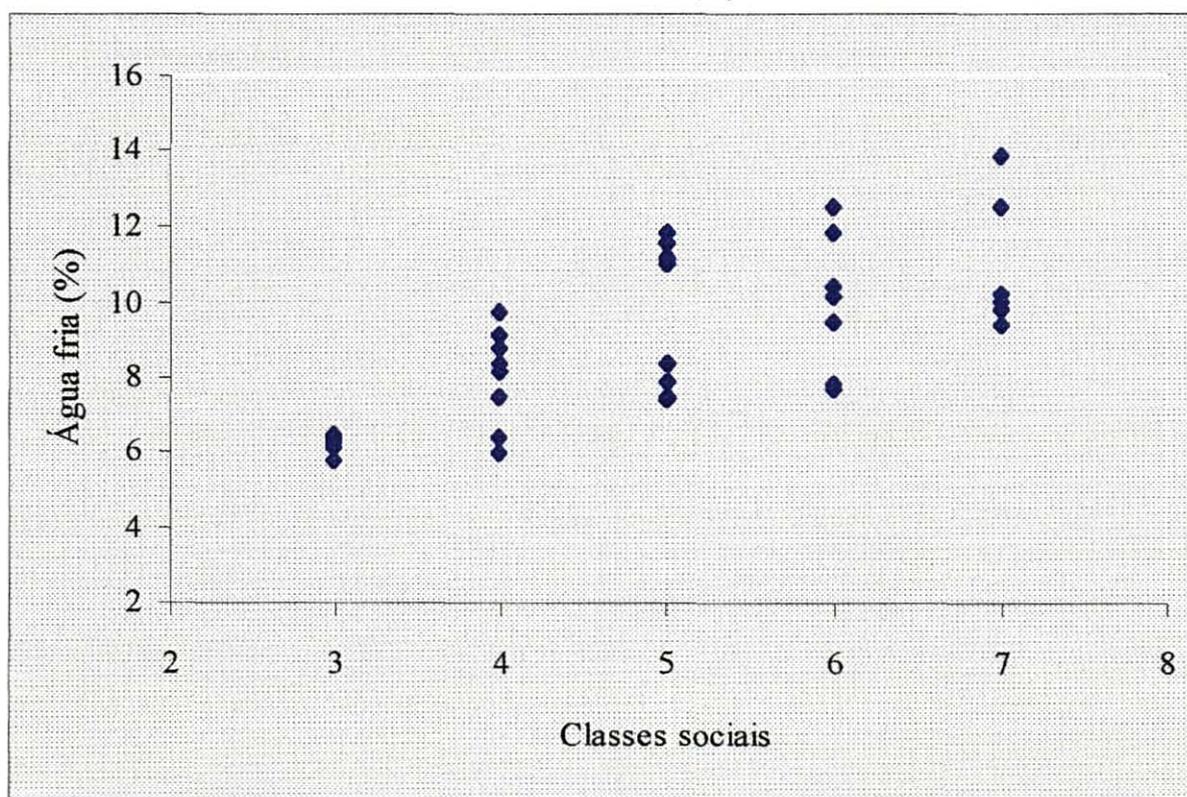
FIGURA 03 – TEORES DE LIGNINA (%) AO LONGO DAS CLASSES SOCIAIS



Os teores de extrativos (extrativos em água quente, extrativos em água fria e extrativos em álcool-benzeno), notadamente os teores de extrativos em água fria, apresentaram tendência de decréscimo ao longo das classes sociais, indicando que o lenho das árvores dominantes de um povoamento equiâneo, são as que possuem estes componentes em menor quantidade.

No que se refere as análises da casca da espécie, os teores de extrativos em água quente e extrativos em água fria (FIGURA 04) apresentaram tendências de acréscimo ao longo das classes sociais, com valores variando entre 8,88% e 12,25% para o primeiro e entre 7,57% (dominadas) e 14,46% (dominantes) para o segundo, indicando que a casca das árvores dominantes possuem maiores teores destes componentes químicos.

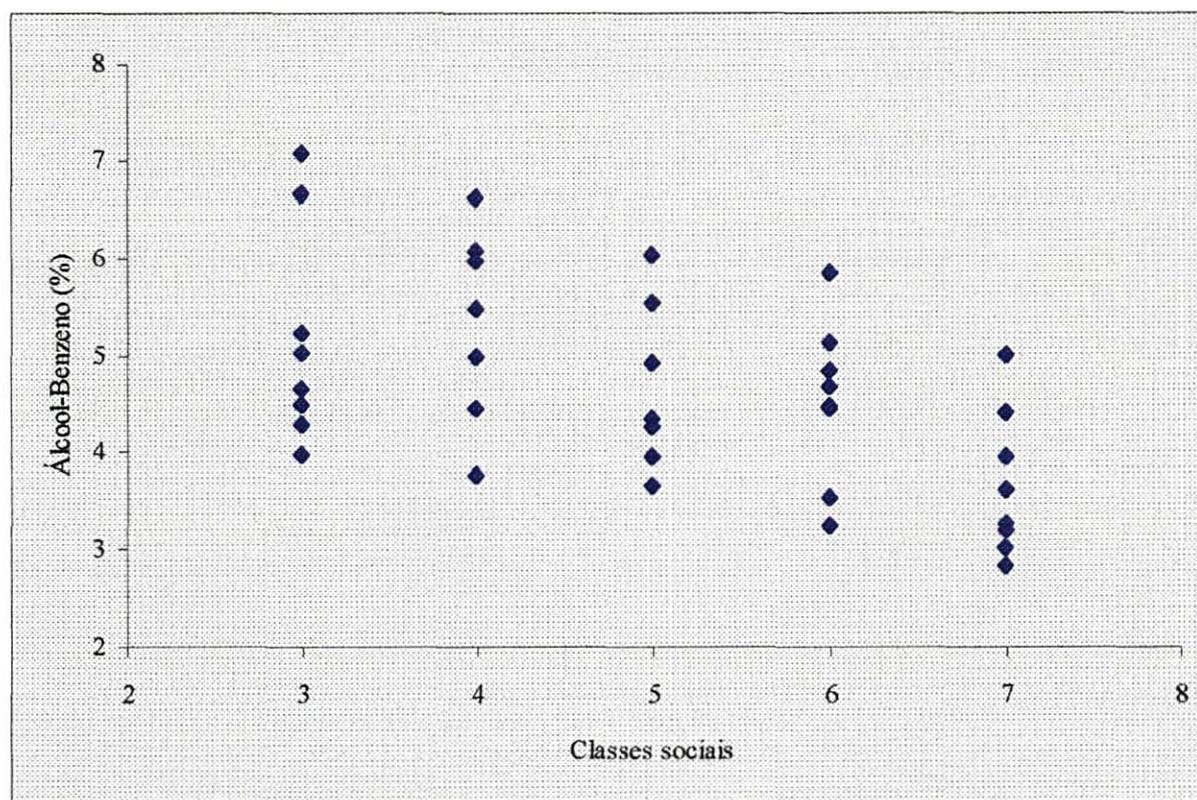
FIGURA 04 – TEORES DE ESTRATIVOS EM ÁGUA FRIA (%) AO LONGO DAS CLASSES SOCIAIS



Ao contrário, os teores de extrativos em álcool-benzeno apresentaram tendência de decréscimo ao longo das classes sociais, com valores variando entre 5,04% (dominadas) e

2,99%, (dominantes) indicando que as árvores dominadas dos povoamentos equiâneos possuem maiores teores deste componente (FIGURA 05). Observou-se que os teores de extrativos da casca apresentaram-se significativamente maiores na casca que no lenho de uma mesma árvore, alcançando em alguns casos a casa das dezenas.

FIGURA 05 – TEORES DE EXTRATIVOS EM ÁLCOOL-BENZENO (%)



Já os teores de cinza, como era esperado, não apresentaram tendência alguma em relação às classes sociais dos povoamentos, com valores variando em torno de 3,00 e 4,00%. Da mesma forma que no caso dos extrativos, os teores de cinza apresentaram-se significativamente maiores na casca que no lenho, onde os valores variaram entre 0,60 e 0,90%.

No que se refere aos teores de lignina na casca da espécie estudada, o referido componente não apresentou qualquer tendência significativa em relação as classes sociais dos povoamentos, com seus valores variando em torno de 35%, o mesmo ocorrendo com a

holocelulose, que teve seus valores variando em torno de 40% para todas as classes sociais. Observou-se que os teores de lignina da casca apresentaram-se maiores que no lenho. Já os teores de holocelulose apresentaram-se menores na casca que no lenho.

O isoalmento dos monossacarídeos da hemicelulose forneceu os resultados apresentados na TABELA 14, para amostras do lenho, e na TABELA 15, para amostras da casca. As amostras do lenho apresentaram concentrações de rhamnose variando em torno de 3,03%, arabinose em torno de 2,58%, galactose em torno de 4,70%, manose em torno de 9,50% e xilose em torno de 80,08%, monossacarídeo este que predomina significativamente em relação à biomassa da hemicelulose. quanto ao ácido urônico, a glucose e as unidades acetil, não determinados, utilizou-se os valores obtidos para a mesma espécie por ROMANOWSKI (1986), iguais a 0,14%, 3,26% e 10,80% respectivamente.

TABELA 14 – COMPOSIÇÃO MONOSSACARÍDICA DA HEMICELULOSE DO LENHO (%)

Amostra	ramnose (C ₆ H ₁₄ O ₅)	arabinose (C ₅ H ₁₀ O ₅)	manose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	galactose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	xilose (C ₅ H ₁₀ O ₅)
L3-1	3,70	2,80	12,00	5,80	75,70
L3-2	3,10	2,80	10,30	5,20	78,40
L5-1	2,40	3,00	9,60	4,50	80,40
L5-2	3,00	2,10	10,60	4,00	80,20
L7-1	2,80	2,40	7,50	4,40	82,90
L7-2	3,20	2,60	7,00	4,30	82,80

No que se refere às amostras da casca, as mesmas apresentaram concentrações de ramnose variando em torno de 6,12%, arabinose em torno de 28,02%, galactose em torno de 13,83%, manose em torno de 7,30% e xilose em torno de 42,92%, monossacarídeo este que também predomina em relação à biomassa da hemicelulose da casca. Observou-se que os teores de arabinose apresentaram-se maiores na casca que no lenho, ocorrendo o contrário em

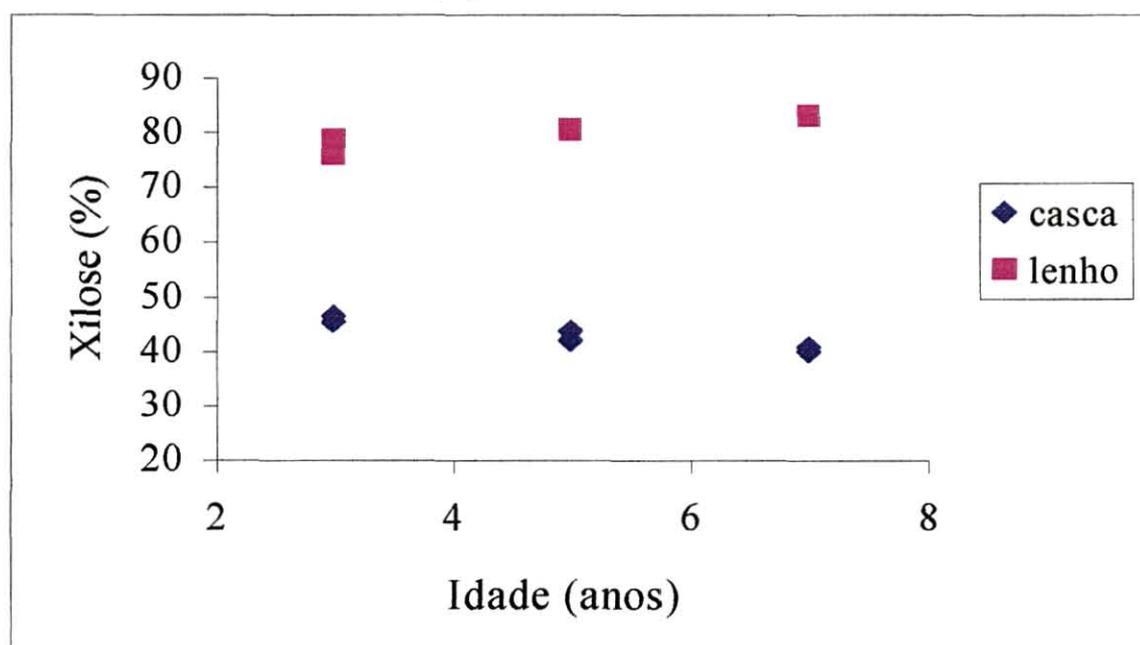
relação a xilose, que apresentou menores teores na casca que no lenho. Da mesma forma, a galactose apresentou maiores teores na casca que no lenho, ocorrendo mais uma vez o contrário com a manose que apresentou menores teores na casca que no lenho.

TABELA 15 – COMPOSIÇÃO MONOSSACARÍDICA DA HEMICELULOSE DA CASCA (%)

Amostra	fucose (C ₆ H ₁₄ O ₅)	ramnose (C ₆ H ₁₄ O ₅)	arabinose (C ₅ H ₁₀ O ₅)	manose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	galactose (C ₆ H ₁₂ O ₆)	xilose (C ₅ H ₁₀ O ₅)
C3-1	2,00	5,90	26,40	6,90	13,40	45,30
C3-2	1,70	5,90	27,20	6,40	12,50	46,40
C5-1	1,80	5,90	28,40	7,90	14,40	41,90
C5-2	2,30	6,10	27,90	7,10	13,60	43,50
C7-1	1,90	6,30	29,20	7,50	14,50	40,60
C7-2	2,10	6,60	29,00	8,00	14,60	39,80

Observou-se a presença da fucose na casca, mesmo que de forma incipiente, apresentando teores em torno de 1,97%, o que não ocorreu no lenho. Observou-se, ainda, o acréscimo nos teores de alguns monossacarídeos em relação a idade das árvores, tais como a xilose no lenho (FIGURA 06), e a manose, a galactose, a arabinose e a rhamnose na casca.

FIGURA 06 – TEORES DE XILOSE (%) AO LONGO DAS IDADES



Decréscimos em relação a idade foram observados nos teores de manose e galactose no lenho, e xilose na casca (FIGURA 06), vindo a corroborar as afirmações de diversos autores, como WILKIE (1983).

5.3 PESO DA BIOMASSA DE CARBONO

Em termos absolutos, a análise da biomassa total do carbono, para cada árvore individual em suas respectivas idades, apresentou amostras com peso variando desde 0,2626 kg até 111,2642 kg. As árvores dos povoamentos mais velhos apresentaram maiores quantidade de biomassa de carbono, fato que está relacionado ao seu diâmetro e a presença de um número maior de galhos. Em função disso, os valores da biomassa de carbono apresentaram tendência de crescimento geométrico, quando relacionados com seus respectivos diâmetros.

Em termos relativos, a biomassa do carbono de cada árvore individual apresentou valores que variaram entre 40 e 45%, bastante próximos daqueles indicados na literatura consultada, indicando, *a priori*, a não homogeneidade na concentração do carbono na biomassa das árvores de um mesmo povoamento e, eventualmente, de classes diamétricas distintas. De uma forma geral, a biomassa de carbono, em termos relativos à biomassa total das árvores, apresentou-se maior nas árvores dominadas e médias que nas dominantes.

Os teores de Carbono (%) apresentaram, mesmo de forma bastante sutil, uma certa tendência de acréscimo ao longo das árvores dominadas até médias, vindo a decrescer novamente nas árvores dominantes.

Na TABELA 16 são apresentados os valores absolutos e relativos do peso de biomassa de carbono para os povoamentos com três (3) anos de idade, com as respectivas classes sociais.

TABELA 16 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 3 ANOS

ÁRVORE*	BIOMASSA DO CARBONO (KG)	BIOMASSA DO CARBONO (%)
313	0,262	42,59
323	0,385	42,72
333	0,839	43,26
343	0,580	43,26
314	1,750	42,98
324	1,155	42,61
334	2,636	43,13
315	6,215	44,66
325	2,970	44,38
335	6,473	44,78
345	6,400	44,30
316	12,001	43,97
326	4,742	43,63
346	9,112	44,11
317	18,236	44,09
327	9,020	42,97
337	14,020	43,54
347	12,722	43,36

* 313 = árvore com 3 anos; parcela 1; classe de diâmetro $\bar{x} - 1S$ (dominada)

324 = árvore com 3 anos; parcela 2; classe de diâmetro \bar{x} (média)

335 = árvore com 3 anos; parcela 3; classe de diâmetro $\bar{x} + 1S$ (dominante)

346 = árvore com 3 anos; parcela 4; classe de diâmetro $\bar{x} + 2S$ (dominante)

347 = árvore com 3 anos; parcela 4; classe de diâmetro $\bar{x} + 3S$ (dominante)

Os povoamentos com idade de 3 anos apresentaram árvores com biomassa de carbono variando entre 0,262 kg e 18,236 kg, o que equivale a 42,59% e 44,09% da biomassa total, respectivamente.

Na TABELA 17 são apresentados os valores absolutos e relativos do peso de biomassa de carbono para os povoamentos com quatro (4) anos de idade.

TABELA 17 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 4 ANOS

ÁRVORE	BIOMASSA DO CARBONO (KG)	BIOMASSA DO CARBONO (%)
413	0,678	41,94
423	0,445	42,34
433	2,346	42,74
414	4,429	43,01
434	7,086	42,29
444	2,027	42,37
415	9,630	44,27
425	5,203	43,76
435	7,727	43,00
445	5,404	43,63
416	19,913	43,97
426	10,828	43,78
436	9,972	42,39
446	12,035	42,97
417	32,713	42,87
427	16,045	43,30
437	16,967	43,30
447	23,362	41,85

Os povoamentos com idade de 4 anos apresentaram árvores com biomassa de carbono variando entre 0,445 kg e 32,713 kg, o que equivale a 41,94% e 42,87% da biomassa total, respectivamente. Os valores absolutos de biomassa de carbono variaram dentro de uma mesma classe de diâmetro em razão da presença ou não de galhos nas árvores cubadas, fazendo com que uma apresentasse maior valor de biomassa total que outra.

Na TABELA 18 são apresentados os valores absolutos e relativos do peso de biomassa de carbono para os povoamentos com cinco (5) anos de idade.

TABELA 18 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 5 ANOS

ÁRVORE	BIOMASSA DO CARBONO (KG)	BIOMASSA DO CARBONO (%)
513	0,903	43,42
523	1,348	43,21
533	0,890	43,76
543	0,736	43,24
514	3,996	43,97
524	5,817	42,79
534	2,991	43,20
544	3,832	42,96
515	13,397	43,75
525	13,709	43,58
545	7,840	43,60
516	22,172	43,56
526	22,789	43,83
546	13,567	43,02

No que se refere aos povoamentos com idade de 5 anos, os mesmos apresentaram árvores com biomassa de carbono variando entre 0,736 kg e 22,789 kg, o que equivale a 43,24% e 43,83% da biomassa total, respectivamente. Da mesma forma que nos povoamentos com idade de 4 anos, os valores absolutos de biomassa de carbono variaram dentro de uma mesma classe de diâmetro em razão da presença ou não de galhos nas árvores cubadas, fazendo com que uma apresentasse maior valor de biomassa total que outra.

Na TABELA 19 são apresentados os valores absolutos e relativos do peso de biomassa de carbono para os povoamentos com seis (6) anos de idade.

TABELA 19 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 6 ANOS

ÁRVORE	BIOMASSA DO CARBONO (KG)	BIOMASSA DO CARBONO (%)
613	1,235	43,66
623	2,615	43,66
633	1,389	42,63
643	4,431	43,82
614	6,394	42,51
624	8,466	41,98
634	5,351	41,76
644	11,389	43,14
615	11,403	43,74
625	21,276	44,38
635	13,605	44,27
645	15,846	43,75
616	22,972	43,57
626	33,794	43,96
636	27,829	43,53
646	31,245	44,27
617	28,768	44,06
627	42,159	43,05
637	38,626	43,23

Os povoamentos com idade de 6 anos apresentaram árvores com biomassa de carbono variando entre 1,235 kg e 42,159 kg, o que equivale a 43,66% e 43,05% da biomassa total, respectivamente. Os valores absolutos de biomassa de carbono variaram bem menos que nas menores idades, provavelmente devido a presença homogênea de galhos em todas as árvores individuais cubadas.

Na TABELA 20 são apresentados os valores absolutos e relativos do peso de biomassa de carbono para os povoamentos com sete (7) anos de idade.

TABELA 20 – PESO DA BIOMASSA DE CARBONO (KG E %) PARA A IDADE DE 7 ANOS

ÁRVORE	BIOMASSA DO CARBONO (KG)	BIOMASSA DO CARBONO (%)
713	1,741	43,58
723	2,347	43,20
743	14,865	44,33
714	16,386	44,57
724	6,605	40,59
734	17,236	42,48
744	38,947	43,38
715	24,869	44,63
725	21,814	43,29
735	47,621	44,08
745	64,681	44,03
716	44,583	43,94
726	38,688	43,25
736	68,670	44,28
746	111,264	43,84

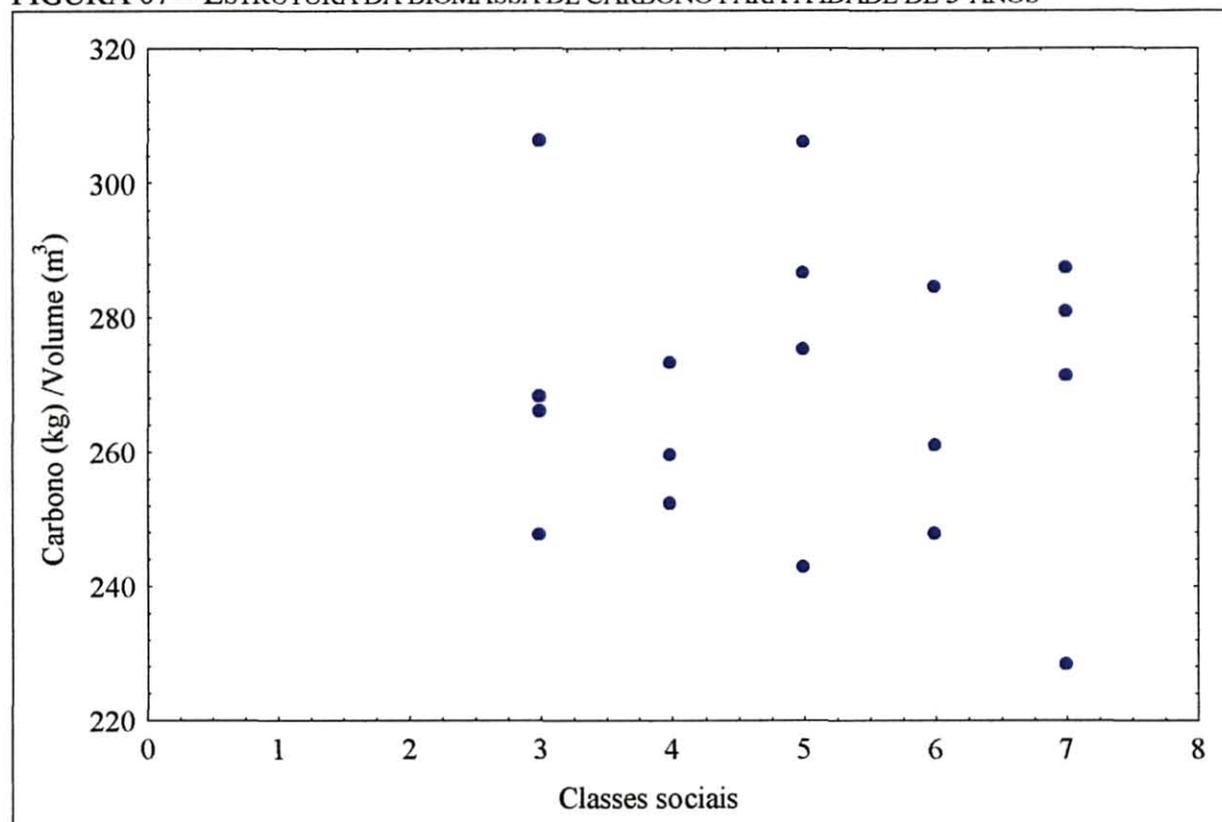
Estes povoamentos apresentaram árvores com biomassa de carbono variando entre 1,741 kg e 111,264 kg, o que equivale a 43,58% e 43,84% da biomassa total, respectivamente. Da mesma forma que nos povoamentos com idades de 3, 4, 5 e 6 anos, a concentração da biomassa de carbono nas árvores individuais apresentou variações de acordo com a maior ou menor presença de galhos nas árvores cubadas.

De uma forma geral, a participação relativa do carbono na biomassa total das árvores apresentou-se dentro dos valores descritos na bibliografia consultada, levando-se em conta os valores não considerados do carbono devido aos Extrativos Totais.

5.4 ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO

A estrutura de fixação da biomassa de carbono para os povoamentos com idade de três (3) anos é apresentada no FIGURA 07, tendo-se plotado no eixo cartesiano os valores relativos a concentração de carbono, em kilogramas, relacionada com o volume, em metros cúbicos, e no eixo de coordenadas as respectivas classes de diâmetro. Desta forma, obteve-se a relação entre o que se poderia chamar de “densidade de carbono” (kg/m^3) para cada classe social do povoamento.

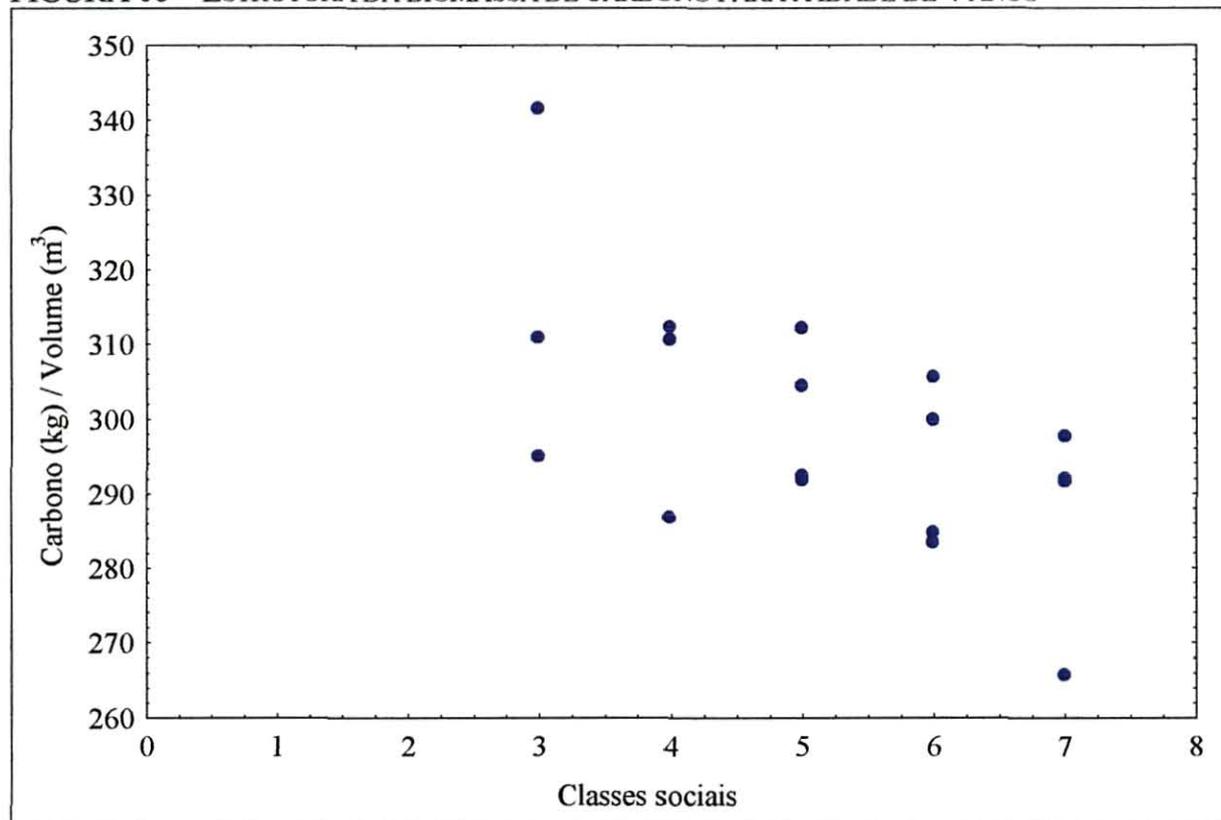
FIGURA 07 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 3 ANOS



Observou-se que as árvores dominadas apresentaram maior eficiência na fixação atômica do elemento carbono, com a “densidade de carbono” variando em torno de $290 \text{ kg}/\text{m}^3$, em detrimento das árvores dominantes, com a mesma apresentando valores que giraram em torno de $260 \text{ kg}/\text{m}^3$.

A estrutura de fixação da biomassa de carbono para os povoamentos com idade de quatro (4) anos é apresentada no FIGURA 08.

FIGURA 08 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 4 ANOS

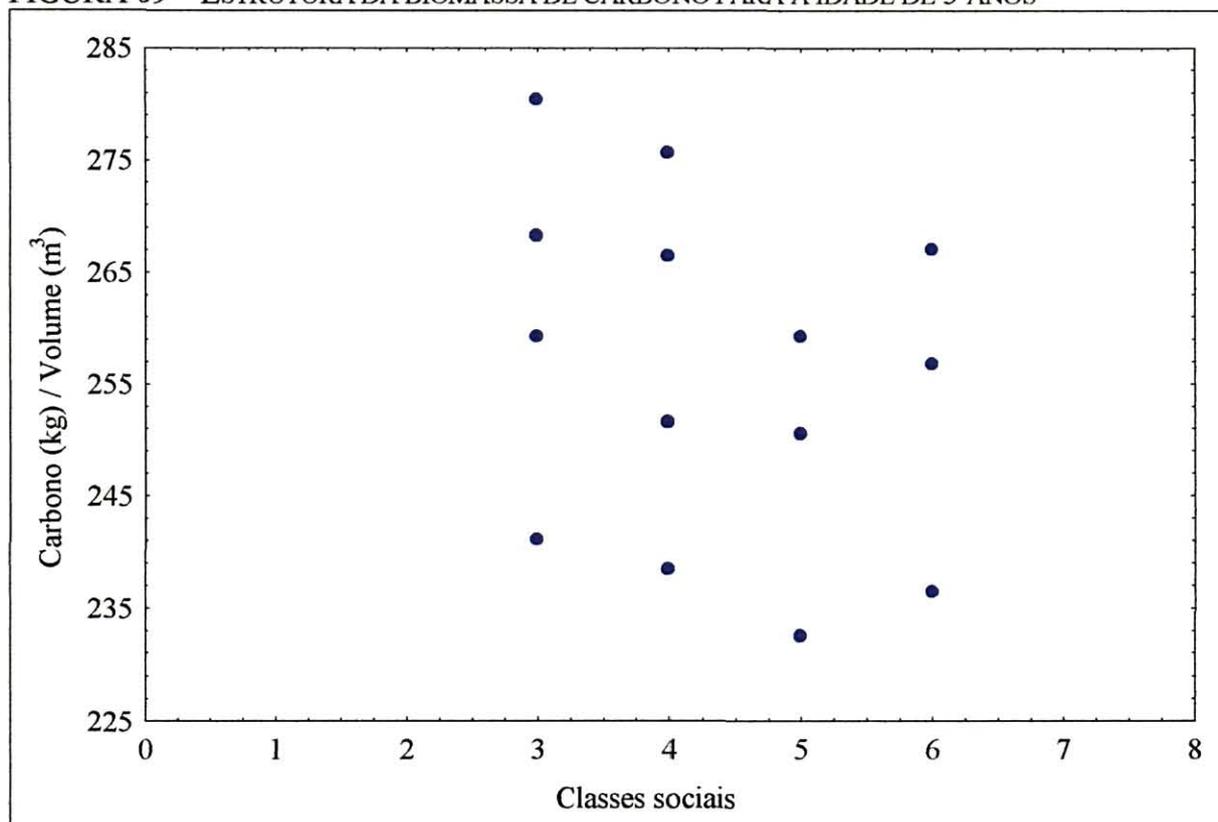


Da mesma forma que nos povoamentos com idade de 3 anos, observou-se uma tendência de decréscimo da “densidade de carbono” em relação as classes sociais do povoamento, sendo que as árvores dominadas apresentaram maior eficiência na fixação atômica do elemento carbono, com a “densidade de carbono” variando em torno dos 300 kg/m³, em detrimento das árvores dominantes, onde a “densidade de carbono” variou em torno dos 280 kg/m³.

Os povoamentos com 4 anos apresentaram amplitude de variação da “densidade de carbono” entre as árvores dominadas e dominantes tal que a diferença na sua eficiência chegou a alcançar valores próximos aos 100 kg por árvore individual, indicando claramente uma maior “carbono-eficiência” das primeiras, em detrimento das segundas.

A estrutura de fixação da biomassa de carbono para os povoamentos com idade de cinco (5) anos é apresentada no FIGURA 09.

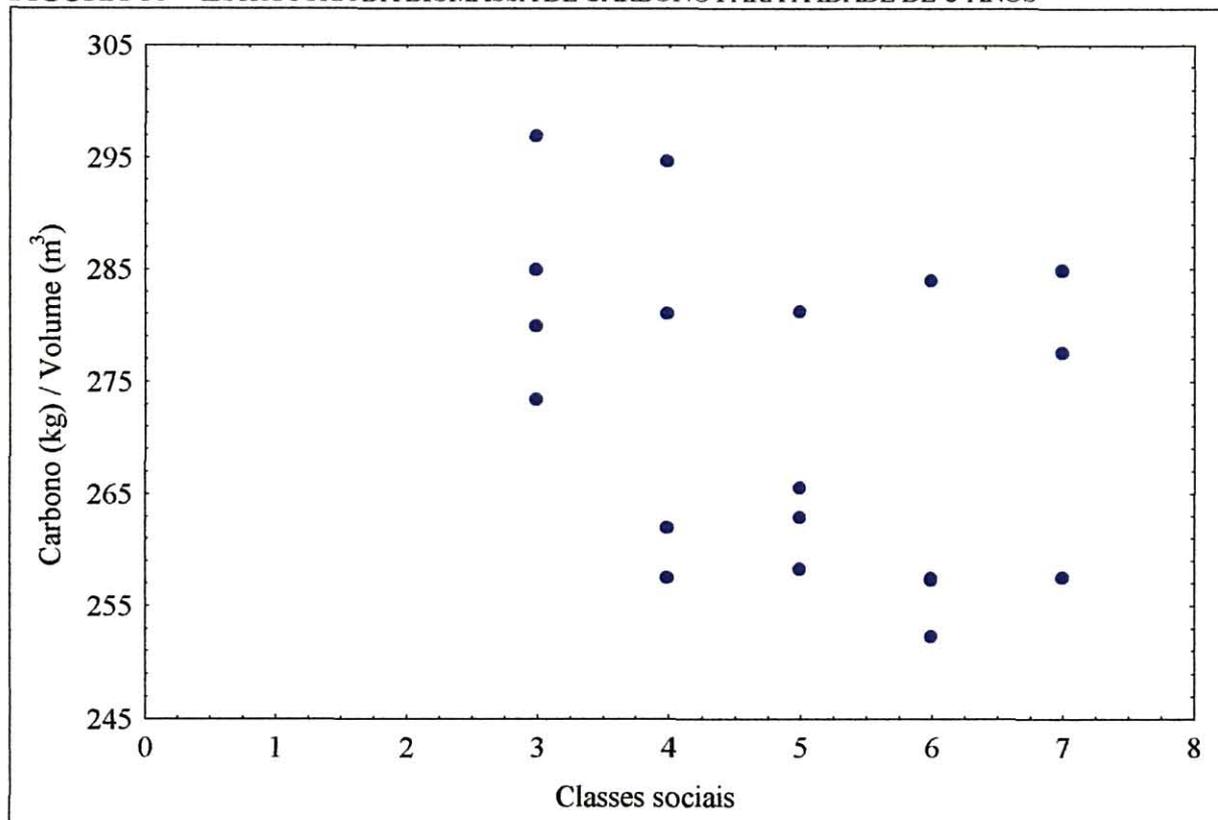
FIGURA 09 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 5 ANOS



Nos povoamentos com idade de 5 anos observou-se, também, uma tendência de decréscimo da “densidade de carbono” em relação as classes sociais do povoamento. Em sendo assim, as árvores dominadas apresentaram maior eficiência na fixação atômica do elemento carbono, com a “densidade de carbono” variando em torno dos 260 kg/m^3 , em detrimento das árvores dominantes, nesse caso as árvores com diâmetro igual à média mais 2 desvios, onde a “densidade de carbono” variou em torno dos 240 kg/m^3 . De acordo com a tendência observada, pode-se inferir que as árvores com diâmetro igual à média mais 3 desvios, se amostradas, apresentariam valores para a “densidade de carbono” inferiores a classe anterior, aumentando ainda mais as diferenças no que se refere a eficiência na fixação elementar do carbono.

A estrutura de fixação da biomassa de carbono para os povoamentos com idade de seis (6) anos é apresentada no FIGURA 10.

FIGURA 10 – ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 6 ANOS

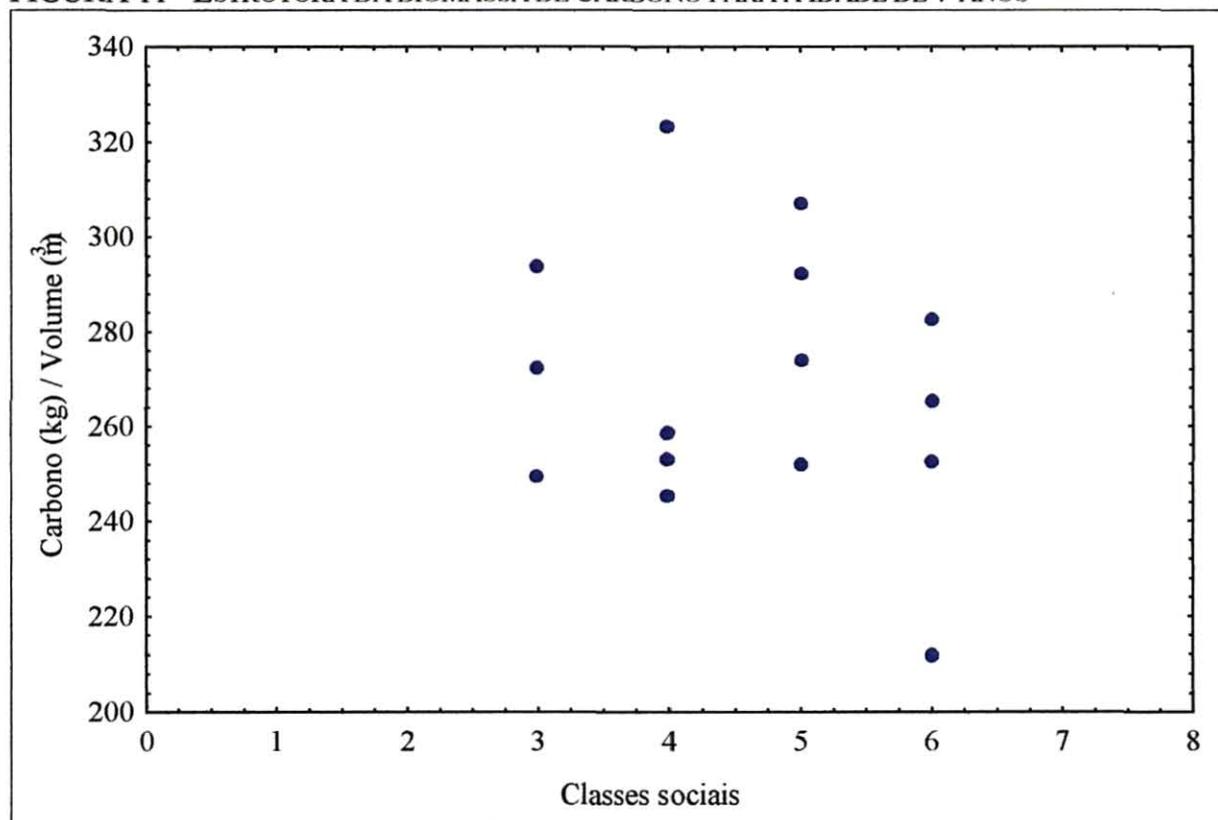


Os povoamentos com idade de 6 anos, da mesma forma que os povoamentos mais jovens, apresentaram tendência de decréscimo da variável “densidade de carbono” em relação as suas classes sociais, indicando que as árvores de menores diâmetros seriam as mais eficientes na fixação atômica do elemento carbono. Nesse caso, a “densidade de carbono” variou em torno dos 285 kg/m³ nas classes dominadas e em torno dos 265 kg/m³ nas classes dominantes.

As árvores dominadas desses povoamentos tornam-se ainda mais eficientes, ao considerar-se que as mesmas apresentam características dimensionais que as qualifica como passíveis de aproveitamento na obtenção de renda, de acordo com o método de traçamento ótimo do fuste, o que vem a otimizar sua utilização de forma direta e indireta.

A estrutura de fixação da biomassa de carbono para os povoamentos com idade de sete (7) anos é apresentada no FIGURA 11.

FIGURA 11– ESTRUTURA DA BIOMASSA DE CARBONO PARA A IDADE DE 7 ANOS



Assim como os povoamentos mais jovens, os povoamentos com idade de 7 anos apresentaram tendência de decréscimo da variável “densidade de carbono” em relação as classes sociais, indicando que as árvores de menores diâmetros seriam as mais eficientes na fixação atômica do elemento carbono. Nesse caso, a “densidade de carbono” variou em torno dos 280 kg/m³ nas classes dominadas e em torno dos 245 kg/m³ nas classes dominantes.

As árvores dominadas desses povoamentos, da mesma forma que nos povoamentos com idade de 6 anos, tornam-se mais eficientes, ao se considerar que as mesmas apresentam características dimensionais que as qualifica como passíveis de aproveitamento na obtenção de renda, de acordo com o método de traçamento ótimo do fuste, o que vem a otimizar sua utilização de forma de produtos diretos e indiretos.

5.5 FIXAÇÃO DE CARBONO EM FUNÇÃO DAS BITOLAS COMERCIAIS

A estrutura da fixação atômica do carbono, quando relacionada com o traçamento simulado das bitolas comerciais, é apresentada na TABELA 21, de acordo com cada idade e respectiva classe social.

TABELA 21 – ESTRUTURA DE FIXAÇÃO DE CARBONO POR IDADE (% E KG)

IDADE CLASSE	3	4	5	6	7
<i>dominadas</i> $\bar{x} - 2S$				5,29 (%) 1.960,72 (kg)	13,99 (%) 5.162,16 (kg)
<i>dominadas</i> $\bar{x} - 1S$	7,81 (%) 1.095,34 (kg)	15,22 (%) 3.058,01 (kg)	19,06 (%) 4.391,53 (kg)	24,24 (%) 8.990,72 (kg)	31,59 (%) 11.665,78 (kg)
<i>médias</i> \bar{x}	30,12 (%) 4.223,16 (kg)	32,76 (%) 6.583,63 (kg)	29,91 (%) 6.890,51 (kg)	31,11 (%) 11.537,58 (kg)	28,29 (%) 10.436,81 (kg)
<i>dominantes</i> $\bar{x} + 1S$	28,16 (%) 3.947,28 (kg)	26,03 (%) 5.231,78 (kg)	24,68 (%) 5.686,84 (kg)	22,48 (%) 8.337,26 (kg)	15,78 (%) 5.824,33 (kg)
<i>dominantes</i> $\bar{x} + 2S$	18,36 (%) 2.573,56 (kg)	15,02 (%) 1.152,49 (kg)	15,26 (%) 3.515,78 (kg)	11,19 (%) 4.150,24 (kg)	6,78 (%) 2.500,54 (kg)
<i>dominantes</i> $\bar{x} + 3S$	15,55 (%) 885,83 (kg)	10,97 (%) 971,42 (kg)	11,09 (%) 2.554,42 (kg)	5,70 (%) 2.113,01 (kg)	3,57 (%) 1.318,86 (kg)

Observou-se que os povoamentos com idade de 3 anos apresentaram maior representatividade em termos de fixação de carbono nas árvores médias e dominantes. As árvores da classe $\bar{x} - 1S$ (dominadas) apresentaram peças com bitolas para lenha com biomassa de carbono igual a 1.095,34 kg, o que equivale a 7,81% do total da biomassa de carbono naquela idade. As árvores da classe \bar{x} (médias) apresentaram peças nas mesmas

bitolas, com biomassa de carbono igual a 4.223,16 kg, o que equivale a 30,12% do total da biomassa de carbono. As árvores dominantes desta idade, $\bar{x} + 1S$, $\bar{x} + 2S$ e $\bar{x} + 3S$, apresentaram, respectivamente, biomassa de carbono igual a 3.947,28 kg, 2.573,56 kg e 885,83 kg, o que equivale a 28,16%, 18,36% e 15,55% do total da biomassa de carbono naquela idade.

Os povoamentos com idade de 4 anos apresentaram ligeiro deslocamento na representatividade de cada classe no que se refere a biomassa de carbono, em função das bitolas comerciais. As árvores da classe $\bar{x} - 1S$ (dominadas) apresentaram peças com bitolas para lenha com biomassa de carbono igual a 3.058,01 kg, o que equivale a 15,21% do total da biomassa de carbono naquela idade. As árvores da classe \bar{x} (médias) apresentaram peças nas mesmas bitolas, com biomassa de carbono igual a 6.583,63 kg, o que equivale a 32,76% do total da biomassa de carbono. No que se refere às árvores dominantes, a classe $\bar{x} + 1S$ apresentou peças com bitolas para lenha com biomassa de carbono igual a 5.231,78 kg o que equivale a 26,03% do total da biomassa de carbono. Já as árvores das classes $\bar{x} + 2S$ e $\bar{x} + 3S$, apresentaram peças com bitolas para lenha, juntamente com peças para escora de construção civil, com biomassa de carbono igual a 1.152,49 kg e 971,42 kg, o que equivale a 15,01% e 10,97% do total da biomassa de carbono naquela idade, respectivamente.

Os povoamentos com idade de 5 anos também apresentaram ligeiro deslocamento na representatividade de cada classe no que se refere a biomassa de carbono, em função das bitolas comerciais. As árvores da classe $\bar{x} - 1S$ (dominadas) apresentaram peças com bitolas para lenha com biomassa de carbono igual a 4.391,53 kg, o que equivale a 19,06% do total da biomassa de carbono naquela idade. As árvores da classe \bar{x} (médias) apresentaram peças nas mesmas bitolas, com biomassa de carbono igual a 6.890,51 kg, o que equivale a 29,90% do total da biomassa de carbono. No que se refere às árvores dominantes, as classes $\bar{x} + 1S$, $\bar{x} + 2S$ e $\bar{x} + 3S$, apresentaram peças com bitolas para lenha, juntamente com peças para escora de

construção civil, com biomassa de carbono igual a 5.686,84 kg, 3.515,78 kg e 2.554,42 kg, o que equivale a 24,68%, 15,26% e 11,08% do total da biomassa de carbono naquela idade, respectivamente.

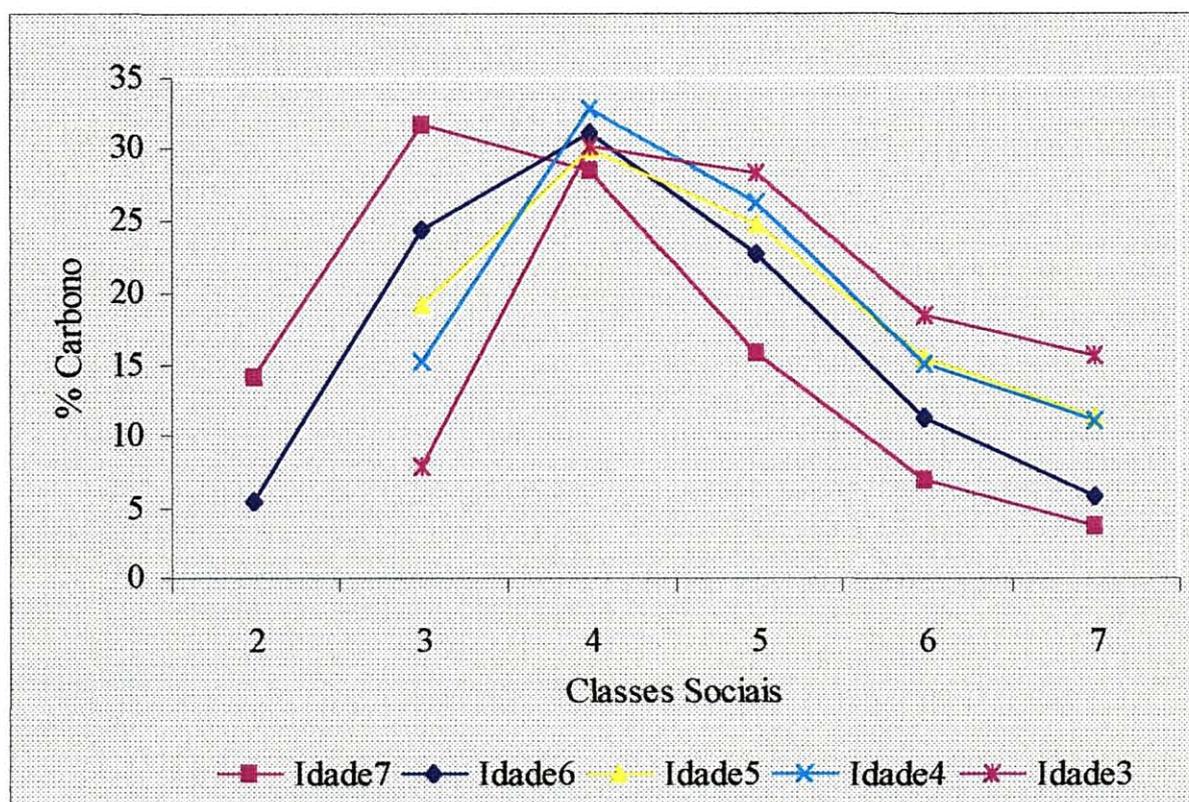
Da mesma forma, os povoamentos com idade de 6 anos apresentaram ligeiro deslocamento na representatividade de cada classe no que se refere a biomassa de carbono, em função das bitolas comerciais. As árvores da classe $\bar{x} - 2S$ (dominadas) apresentaram peças com bitolas para lenha com biomassa de carbono igual a 1.960,72 kg, o que equivale a 5,28% do total da biomassa de carbono naquela idade. A outra classe dominada desta idade, $\bar{x} - 1S$ apresentou peças nas mesmas bitolas, com biomassa de carbono igual a 8.990,72 kg, o que equivale a 24,24% da biomassa total de carbono. As árvores das classes \bar{x} (médias), $\bar{x} + 1S$ e $\bar{x} + 2S$ apresentaram peças com bitolas para lenha, juntamente com peças de escora para a construção civil, com biomassa de carbono igual a 11.537,58 kg, 8.337,26 kg e 4.150,24 kg, o que equivale a 31,10%, 22,47% e 11,18% do total da biomassa de carbono, respectivamente. As árvores da classe $\bar{x} + 3S$ apresentaram peças com bitolas para lenha, juntamente com peças para escora de construção civil e toras para serraria, com biomassa de carbono igual a 2.113,01 kg, o que equivale a 5,69% do total da biomassa de carbono naquela idade.

No que se refere aos povoamentos com idade de 7 anos, os mesmos apresentaram também ligeiro deslocamento na representatividade de cada classe na biomassa de carbono, em função das bitolas comerciais. As árvores da classe $\bar{x} - 2S$ (dominadas) apresentaram peças com bitolas para lenha com biomassa de carbono igual a 5.162,16 kg, o que equivale a 13,99% do total da biomassa de carbono naquela idade. A outra classe dominada desta idade, $\bar{x} - 1S$ e a classe \bar{x} (médias) apresentaram peças com bitolas para lenha, juntamente com peças para escora de construção civil, com biomassa de carbono igual a 11.665,78 kg e 10.436,81 kg, o que equivale a 31,58% e 28,28% da biomassa total de carbono, respectivamente. Já as

árvores das classes $\bar{x} + 1S$ e $\bar{x} + 2S$ e $\bar{x} + 3S$ apresentaram peças com bitolas para lenha, juntamente com peças de escora para a construção civil e serraria, com biomassa de carbono igual a 5.824,33 kg, 2.500,54 kg e 1.318,86 kg, o que equivale a 15,78%, 6,77% e 3,57% do total da biomassa de carbono, respectivamente.

Quando analisados no contexto da estrutura dos povoamentos, os valores apresentaram-se de tal forma a sugerir que efeitos de alelopatia ou da própria entropia se manifestem no processo de eliminação de indivíduos menos adaptados ao meio (FIGURA 12). Já quando analisados no contexto da sua dinâmica, observou-se que, assim como afirmado por HOSOKAWA (2000c), o crescimento do benefício ambiental, e portanto do seu valor monetário ao longo do tempo, ocorre de forma sigmoideal, comprovando a inequabilidade da adoção, tanto de taxas de juros médio, quanto da fórmula de juros compostos para a capitalização ou desconto de investimentos na análise de benefícios indiretos de longo prazo nos reflorestamentos (HOSOKAWA, 2000a).

FIGURA 12 – TEORES DE CARBONO DE ACORDO COM AS BITOLAS COMERCIAIS



De forma geral, observou-se que ocorrem acréscimos na renda bruta, obtida por meio do traçamento ótimo simulado do fuste, fazendo com que os povoamentos de maiores idades apresentem maiores contribuições devido a presença de peças para escora e serraria, e que, portanto, contribuem com maiores valores na composição da referida variável. Os povoamentos mais jovens apresentaram contribuições mais significativas na composição da biomassa de carbono nas classes dominantes, havendo um deslocamento, conforme crescem em idade, fazendo com que os povoamentos mais velhos apresentem contribuições mais representativas na composição da biomassa de carbono nas árvores das classes médias e dominadas, onde predominaram as peças para lenha, e que apresentam a menor contribuição em termos monetários. Quando analisadas em conjunto, as variáveis renda bruta e biomassa de carbono por classe de diâmetro apresentaram, respectivamente, correlação inversa, indicando que as árvores de menores diâmetros contribuem com menor valor monetário e maior valor de biomassa de carbono. Por outro lado, as árvores de maiores diâmetros contribuem com maior valor monetário e menor valor de biomassa de carbono. Ocorre, portanto, o que se poderia chamar de uma compensação natural, fazendo com que a renda auferida pela exploração do recurso direto (lenha, escora e peças para serraria) possa ser contrabalanceada pelo benefício indireto (biomassa de carbono), de acordo com o objetivo de manejo, podendo-se otimizar a combinação dos produtos obtidos, de tal forma a fornecer ao mercado maior utilidade social. Da mesma forma, a otimização do processo de produção e obtenção de benefícios da floresta poderia estar vinculada aos mecanismos de mercado, equilibrando as variáveis de demanda e oferta dos produtos diretos, de acordo com as aptidões locais dos meios de produção, assim como cumprindo seu papel na mitigação dos efeitos adversos do clima.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pelo estudo, pode-se concluir que:

- ◆ As diferentes classes sociais apresentam diferentes concentrações dos constituintes fundamentais e acidentais da biomassa tanto da madeira quanto da casca da espécie estudada;
- ◆ Os monossacarídeos constituintes da hemicelulose do lenho apresentam diferentes concentrações dos mesmos monossacarídeos constituintes da hemicelulose da casca, predominando em ambos os casos a xilose;
- ◆ A biomassa da espécie apresenta concentração relativa do elemento carbono variando em torno de 40 a 45% da biomassa total;
- ◆ As árvores dominadas apresentam maior eficiência na fixação atômica do elemento carbono, em detrimento das árvores dominantes;
- ◆ O sistema de manejo tradicional, baseado na obtenção de multi-produtos dos povoamentos, proporciona uma compensação natural àqueles produtos de menor remuneração pelo mercado, devido a sua maior carbono-eficiência.
- ◆ A compensação natural, devido a carbono-eficiência, permite otimizar a renda bruta obtida em função do regime de manejo utilizado.
- ◆ As florestas de bracatinga são altamente eficientes no armazenamento de carbono, podendo contribuir efetivamente na mitigação do “efeito estufa”.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOCHICCHIO, R.: Hemiceluloses do xilema do gênero *Podocarpus*. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Bioquímica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.
- BORGES, J.F.: Seccionamento do fuste de *Pinus taeda* L. para obtenção do volume de madeira serrada, através da função de forma polinomial. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Silvicultura e Manejo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1981.
- BOUVAREL, P.: Forest production and carbon cycle. **10^o World Forestry Congress Proceedings 2**. 1991.
- BROWN, K. & ADGER, W.N.: Economic and political feasibility of international carbon offsets. **Forest Economy and Management**. New York, 1994.
- BROWN, S.; SATHAYDE, J.; CANNEL, M. & KAUPPI, P.E.: Management of forests for mitigation of greenhouse emissions. In: R.T. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss (eds.), **Climate change 1995: impacts, adaptations and mitigations of climate change: scientific analyses**. Contribution of Working-Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, 1996.
- BROWNING, B.L.: **Methods of Wood Chemistry**. Vol. I e II. Interscience Publications. New York, 1967.
- BRUENIG, E.F.: Forest and climate new dimensions and perspectives. **10^o World Forestry Congress Proceedings 2**. 1991.
- CANNEL, M.: Forests and the global cycle en the past, present and future. **Research Report of the European Forest Institute**. Londres, 1995.
- CARPANEZZI, O.T.B.: Produtividades florestal e agrícola em sistemas de cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba-Paraná. **Dissertação de Mestrado**. Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1994.
- DIXON, R.K.; WINJUM, J.K. & SROEDER, P.E.: Conservation and sequestration of carbon. The potencial of forest and agroforest management practices. **Global Environmental Change**. New York, 1993.
- ENGLIN, L. & CALLAWAY, L.M.: Environmental impacts of sequestering carbon through forestation. Department of Agricultural Economics, University o Nevada. **Climatic Change**. Reno, USA, 1995.

- FENGEL, D. & WEGENER, G.: **Wood Chemistry: ultrastructure reactions**. Walter de Gruyter, Berlin, 1989.
- HARKIN, J.M.: **Lignin and it's uses**. USDA Forest Service, Research Note. FPL – 0206. July, 1969.
- HAWTHORNE, M. & ALABASTER, T.: Citizen 2000: development of a model of environmental citizenship. **Global Environmental Change**. Elsevier. Sunderland, UK, 1999.
- HERINGTON, J.; KIMMINS, D. & LAVENDER, D.: The effect of climate change on forest ecology in canada. **10^o World Forestry Congress Proceedings 2**. 1991.
- HOSOKAWA, R.T.; SOUZA, A. L.: Manejo de produção florestal para fins específicos (Exercício com Pinus). **ABEAS. Curso de Manejo Florestal. Módulo 9**. Brasília, 1987. 43 p.
- HOSOKAWA, R.T. & FIGUEIREDO FILHO, A.: Curso de Manejo Florestal: módulo 4 - Aplicação de relações hipsométricas e equações de volume e manejo. **ABEAS – Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**. Brasília, 1990.
- HOSOKAWA, R.T.; KLOCK, U.; ROCHA, M.P.; KLITZKE, R.J. & ROCHADELLI, R.: Determinação da variações da Massa Específica Básica e dos teores de Lignina ao longo do fuste da *Mimosa scabrella* Benth., Bracatinga. **FOREST'96. Anais**. Belo Horizonte, 1996.
- HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J.B. & CUNHA, U.S.: **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Editora da UFPR. Curitiba, 1998.
- HOSOKAWA, R.T.; ROCHADELLI, R. & LIMA, P.T.P.: Economia ambiental. **FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Série Técnica nº 1/2000**. Curitiba, 2000a.
- HOSOKAWA, R.T.: O paradoxo no desenvolvimento sustentável: uma reflexão para os jovens pesquisadores. **SBPN Scientific Journal**, Vol. 4, Supl. 1, 2000b.
- HOSOKAWA, R.T.: Dinâmica da assimilação de CO₂ pelos reflorestamentos. **ANAIS da Semana de Tecnologia Ambiental**. Biblioteca Comunitária da UFSCar. 2000c.
- HOUGHTON, R.A. & SKOLE, D.L.: Carbon. In: B.L. Turner, W.C. Clark, R.W. Kates, J.F. Richards, J.T. Matthews and W.B. Meyer (eds.): **The Earth as transformed by human action**. Cambridge University Press. New York, 1990.
- HOUGHTON, J.T.; CALLANDER, B.A. & VARNEY, S.K.: **Climate Change 1992. The supplementary report to the IPCC scientific assessment**. Cambridge University Press. Cambridge, 1992.

- IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change): **The potential impact of climate change on agriculture and forestry. Likely impacts of climate change.** Report from Working Group II to IPCC, WMO, UNEP. Cambridge University Press. Cambridge, 1990.
- IPT: **Celulose e papel.** Vol I. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Segunda edição. São Paulo, 1988.
- KLOCK, U.: Química da Madeira. FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. **Série Didática nº 4.** Curitiba, 1995.
- KOLLMANN, F.: **Tecnología de la madera y sus aplicaciones.** Tomo I. Madrid, 1959.
- KOOTEN, G.C. VAN; ARTHUR, L.M.; WILSON, W.R.: Potencial to sequester carbon in Canadian forests: some economic considerations. **Can. Public Policy.** Ontario, 1992.
- KOOTEN, G.C. VAN; BINKLEY, C.S. & DELCOURT, G.: Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. **American Journal of Agricultural Economics**, 77:2. New York, 1995.
- MARLAND, G. & MARLAND, S.: Should we store carbon in trees? **Water, Air and Soil Pollution.** 64. 1992.
- MARLAND, G. & SCHLAMADIGER, B.: Biomass fuels and forest management strategies: how do we calculate the greenhouse-gas emissions benefits? **Energy**, 20, 1131-1140. 1995.
- MCMILLIN, CH.W.: Chemical composition of loblolly pine wood as related to specific gravity, growth rate and distance from pith. **Wood Science and Technology.** Vol II, 1968. P. 233-240.
- MENDONÇA, W.R. & TARQUINIO, T.T.: **Bracatinga – Estudo de Mercado.** Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA. Convênio Brasil/Paraná-França-FAO. Curitiba, 1988.
- NABUURS, G.F. & MOHREN, G.M.J.: Carbon in Dutch forest ecosystems. **Netherlands Journal of Agricultural Science.** 41:4. Amsterdã, 1993.
- NEBEL, B.J. & WRIGHT, R.T.: **Environmental Science: the way the world works.** 5ª Ed. Prentice Hall, New Jersey, 698 pg, 1996.
- NOWAK, D.L.: Atmospheric carbon reduction by urban trees. **Journal of Environmental management.** New York, 1993.
- PANHWAR, F.: Conserving, agroforest is the solution of future global-warming and biodiversity. **Sindh A Case.** 1996.
- RETNOWATI, E.: **Climate change and the role of forest as carbon sink in Indonesia.** Jakarta, 1996.

- ROMANOWSKI, S.M.M.: Estudo de substituintes em xilana de *Mimosa scabrella* (bracatinga) em diferentes estágios de crescimento. **Dissertação de Mestrado**, Departamento de Bioquímica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1986.
- SAEMAN, J.F.; MOORE, W.E.; MITCHEL, R.L. & MILLET, M.A.: Techniques for the determination of pulps constituents by quantitative paper chromatography. **Technical Association of Pulp and Paper Industry**. 37(8): 336-343, 1954.
- SAGAN, C.: **O mundo assombrado pelos demônios: a ciência vista como uma vela no escuro**. Companhia das Letras. São Paulo, 1996.
- SAGAN, C.: **Bilhões e bilhões: reflexões sobre vida e morte na virada do milênio**. Companhia das Letras. São Paulo, 1998.
- SAMPSON, R.N.; WRIGHT, L.L.; WINJUM, J.; KINSMAN, D.; BENNEMAN, J.; KURSTEN, E. & SCURLOCK, J.M.O.: Biomass management and energy. **Water, air and soil pollution**. 70. 1993.
- SWISHER, J.N.: Forestry and biomass energy projects: bottom-up comparisons of CO₂ storage and costs. **Biomass and Bioenergy**. New York, 1994.
- TAPPI: **Testing methods recommended practices specifications of the technical association of the pulp and paper industry**. New York, 1969.
- TIMELL, T.E.: Studies on opposite wood in conifers. Part I: chemical composition. **Wood Science and Technology**. Vol 7, 1973. P. 1-5.
- U.S. Country Studies Programme: **Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessment**. Washington, DC. 1994.
- WILKIE, K.C.B.: Hemicellulose. **Chemtech**. pg 306-319, maio, 1983.
- WOLFROM, M.L.; THOMPSON, A.: Acetylation. **Methods of Carbohydrates Chemistry**. New York, v.2, p. 211-215, 1963a.
- WOLFROM, M.L.; THOMPSON, A.: Reduction with sodium carbohydrate. **Methods of Carbohydrates Chemistry**. New York, v.2, p. 65-68, 1963b.

ANEXO 01

**PARÂMETROS ESTATÍSTICOS E GRÁFICOS
DOS MODELOS DE PRODUÇÃO E DE BITOLAS COMERCIAIS**

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 1.....	71
QUADRO 02 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 2.....	71
QUADRO 03 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 3.....	71
QUADRO 04 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 4.....	71
QUADRO 05 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 1.....	72
QUADRO 06 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 2.....	72
QUADRO 07 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 3.....	72
QUADRO 08 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 4.....	72
QUADRO 09 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 1.....	73
QUADRO 10 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 2.....	73
QUADRO 11 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 3.....	73
QUADRO 12 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 4.....	73
QUADRO 13 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 1.....	74
QUADRO 14 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 2.....	74
QUADRO 15 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 3.....	74
QUADRO 16 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 4.....	74
QUADRO 17 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 1.....	75
QUADRO 18 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 2.....	75
QUADRO 19 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 3.....	75
QUADRO 20 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 4.....	75
QUADRO 21 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 3.....	76

QUADRO 22 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 4.....	76
QUADRO 23 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 5.....	76
QUADRO 24 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 6.....	76
QUADRO 25 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 7.....	77
QUADRO 26 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 3.....	78
QUADRO 27 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 4.....	78
QUADRO 28 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 5.....	78
QUADRO 29 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 6.....	78
QUADRO 30 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 7.....	79

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 1.....	71
FIGURA 02 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 2.....	71
FIGURA 03 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 3.....	71
FIGURA 04 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 3, PARCELA 4.....	71
FIGURA 05 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 1.....	72
FIGURA 06 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 2.....	72
FIGURA 07 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 3.....	72
FIGURA 08 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 4, PARCELA 4.....	72
FIGURA 09 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 1.....	73
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 2.....	73
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 3.....	73
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 5, PARCELA 4.....	73
FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 1.....	74
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 2.....	74
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 3.....	74
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 6, PARCELA 4.....	74
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 1.....	75
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 2.....	75
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 3.....	75
FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO GAMA PARA A IDADE 7, PARCELA 4.....	75
FIGURA 21 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 3.....	76

FIGURA 22 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 4.....	76
FIGURA 23 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 5.....	76
FIGURA 24 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 6.....	76
FIGURA 25 - FUNÇÃO DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 7.....	77
FIGURA 26 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 3.....	78
FIGURA 27 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 4.....	78
FIGURA 28 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 5.....	78
FIGURA 29 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 6.....	78
FIGURA 30 - FUNÇÃO AFILAMÉTRICA, PARA A IDADE 7.....	79

QUADRO 01 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 1.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
0,75	1	4,69
2,25	38	26,00
3,75	25	31,67
5,25	15	21,50
6,75	10	10,88
8,25	12	4,62
9,75	1	2,64

QUADRO 02 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 2.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,14	5	9,14
2,43	46	35,09
3,71	26	36,23
4,99	22	20,48
6,29	11	8,30
7,57	2	2,73
8,86	1	1,02

QUADRO 03 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 3.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,71	10	8,45
3,14	24	21,30
4,57	19	23,15
6,00	12	16,50
7,43	13	9,20
8,86	6	4,38
10,29	2	3,01

QUADRO 04 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 4.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,21	9	6,89
2,64	21	21,82
4,07	21	22,91
5,50	14	14,89
6,93	10	7,46
8,36	3	3,18
9,79	1	1,84

FIGURA 01 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 1.

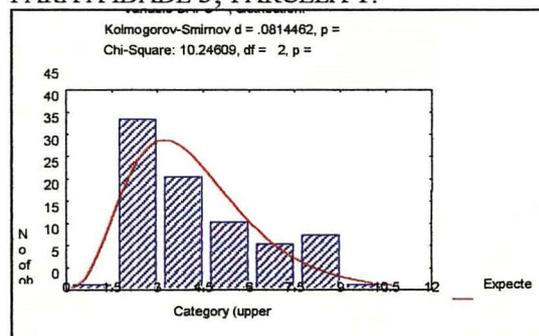


FIGURA 02 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 2.

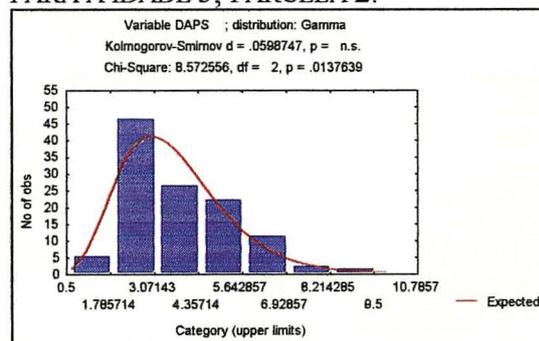


FIGURA 03 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 3.

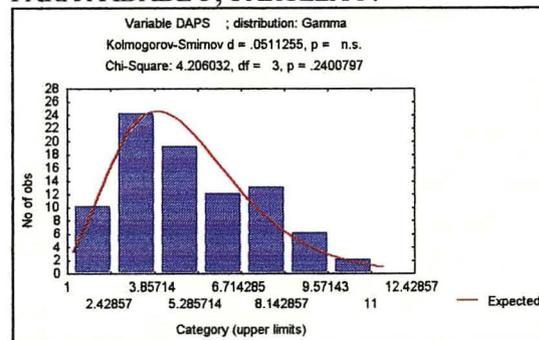
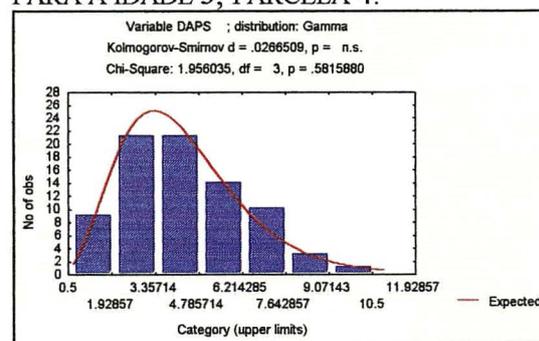


FIGURA 04 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 3, PARCELA 4.



QUADRO 05 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 1.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,00	6	4,28
3,00	12	13,64
5,00	11	13,60
7,00	11	9,10
9,00	6	5,01
11,00	2	2,45
13,00	2	1,91

QUADRO 06 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 2.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
0,86	6	6,28
2,57	30	26,33
4,29	21	26,26
6,00	15	15,34
7,71	9	6,86
9,43	3	2,62
11,14	1	1,31

QUADRO 07 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 3.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,21	7	6,33
2,64	36	29,35
4,07	28	36,67
5,50	25	25,31
6,93	16	12,61
8,36	5	5,12
9,79	1	2,62

QUADRO 08 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 4.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
0,93	3	8,09
2,79	56	40,94
4,64	31	41,78
6,50	20	22,84
8,36	12	9,12
10,21	5	3,02
12,07	0	1,20

FIGURA 05 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 1.

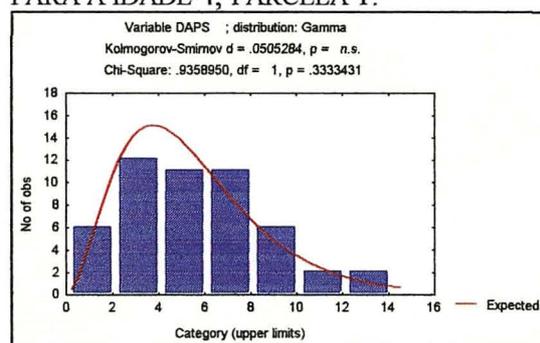


FIGURA 06 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 2.

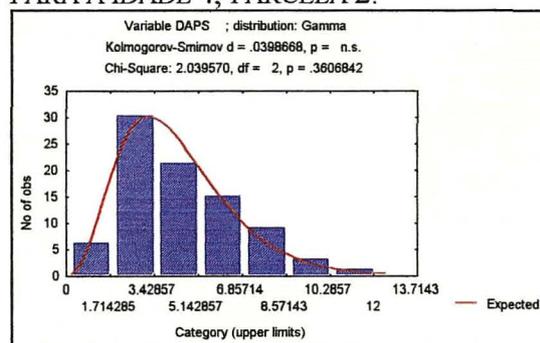


FIGURA 07 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 3.

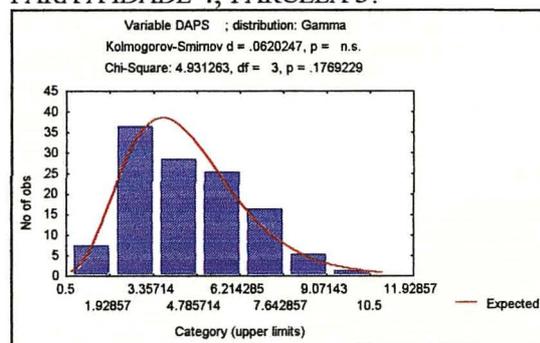
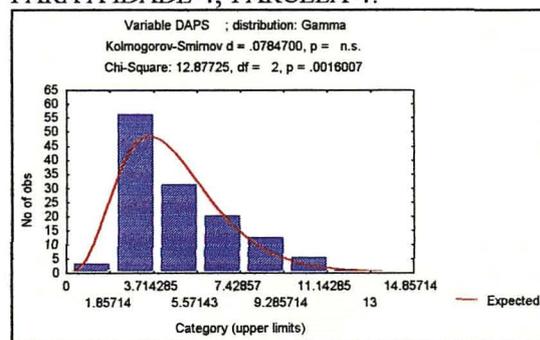


FIGURA 08 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 4, PARCELA 4.



QUADRO 09 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 1.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
0,93	0	1,60
2,79	20	12,88
4,64	19	21,09
6,50	8	18,33
8,36	13	11,55
10,21	14	5,99
12,07	2	4,56

QUADRO 10 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 2.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,71	7	7,93
5,14	35	33,72
8,57	21	18,95
12,00	2	4,58
15,43	0	0,72
18,86	0	0,09
22,29	1	0,01

QUADRO 11 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 3.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,86	2	2,97
3,57	12	11,42
5,29	12	13,40
7,00	12	8,80
8,71	1	4,13
10,43	2	1,57
12,14	2	0,71

QUADRO 12 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 4.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
1,86	2	4,13
3,57	25	17,24
5,29	14	21,12
7,00	12	14,15
8,71	11	6,69
10,43	3	2,53
12,14	0	1,14

FIGURA 09 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 1.

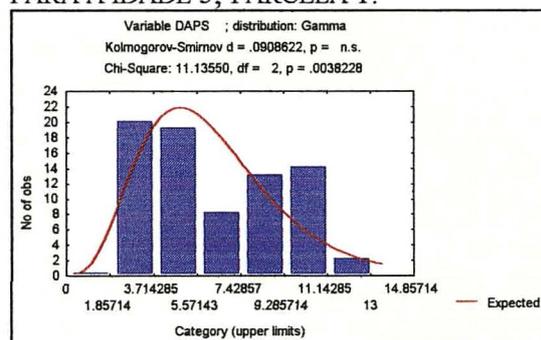


FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 2.

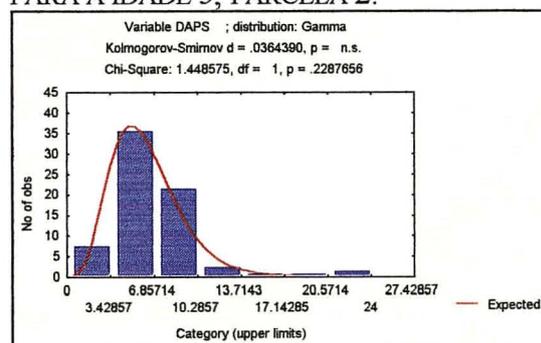


FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 3.

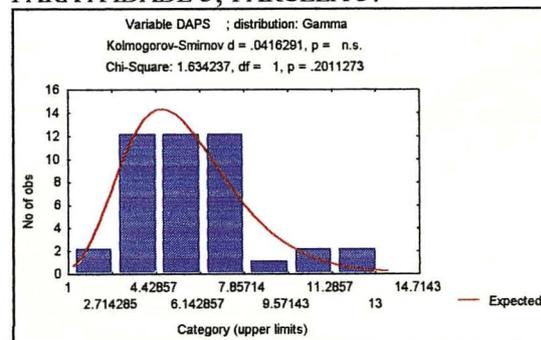
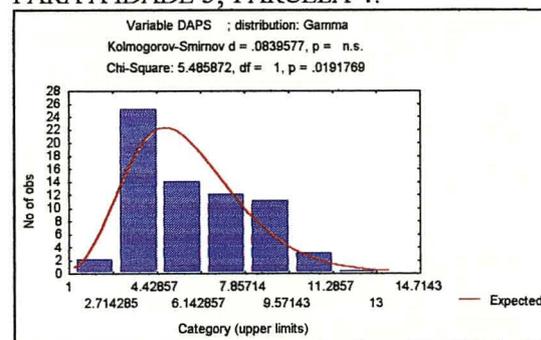


FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 5, PARCELA 4.



QUADRO 13 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 1.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
2,07	16	16,22
4,21	67	51,20
6,36	33	54,29
8,50	34	34,85
10,64	24	16,91
12,79	10	6,87
14,93	0	3,64

QUADRO 14 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 2.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
2,29	8	6,02
4,86	27	26,36
7,43	23	33,38
9,99	29	24,03
12,57	19	12,65
15,14	4	5,47
17,71	1	3,09

QUADRO 15 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 3.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
2,14	15	14,12
4,43	62	54,47
6,71	49	62,49
9,00	38	40,89
11,28	31	19,57
13,57	5	7,68
15,86	3	3,77

QUADRO 16 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 4.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
3,14	5	5,14
5,43	32	31,31
7,71	49	48,98
10,00	32	36,38
12,29	22	17,11
14,57	6	5,93
16,86	1	2,15

FIGURA 13 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 1.

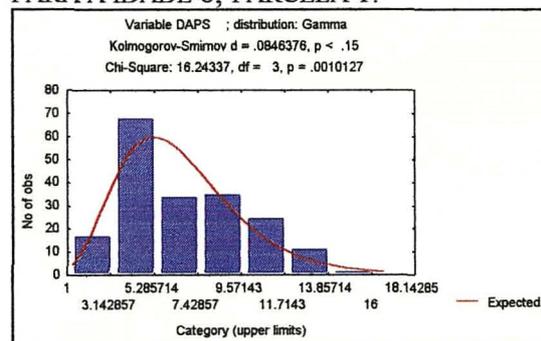


FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 2.

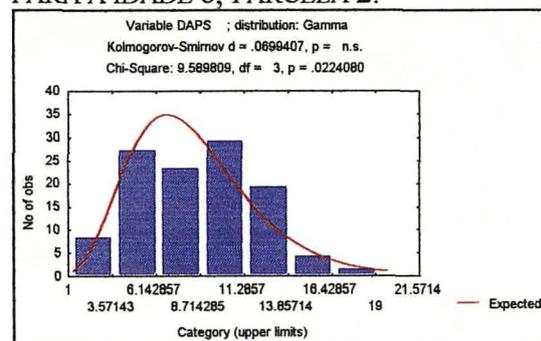


FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 3.

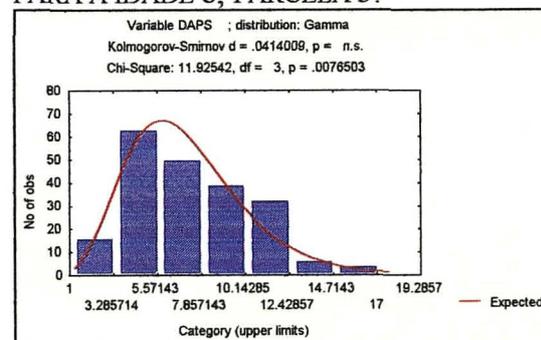
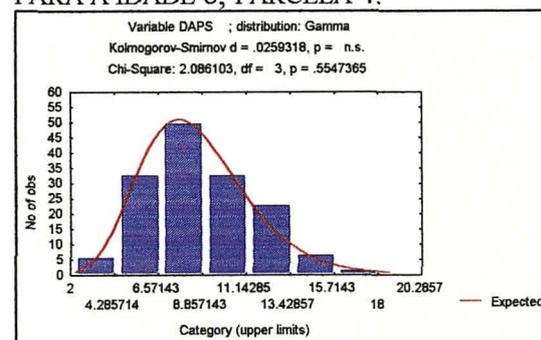


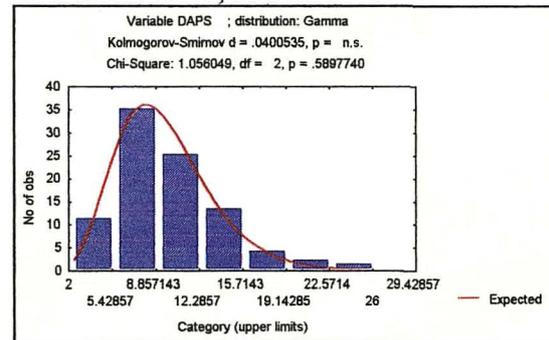
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 6, PARCELA 4.



QUADRO 17 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 1.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
3,71	11	9,99
7,14	35	32,37
10,57	25	28,94
14,00	13	13,71
17,43	4	4,51
20,86	2	1,17
24,29	1	0,32

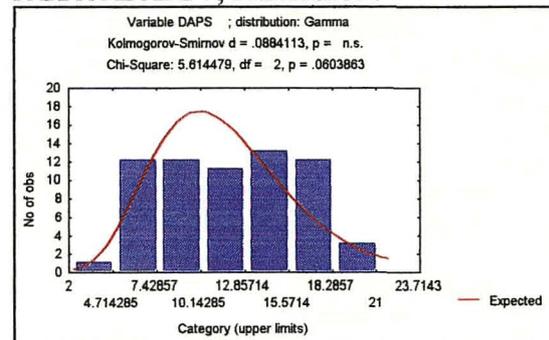
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 1.



QUADRO 18 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 2.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
3,36	1	1,28
6,07	12	8,27
8,79	12	15,87
11,50	11	16,24
14,21	13	11,41
16,93	12	6,25
19,64	3	4,68

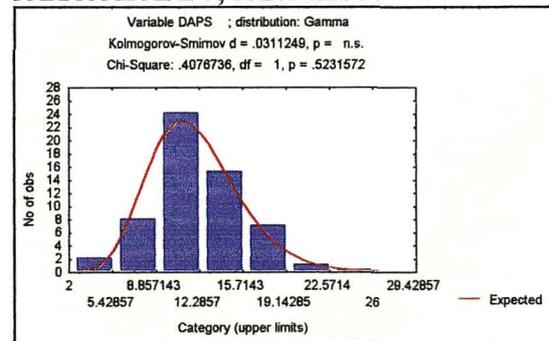
FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 2.



QUADRO 19 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 3.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
3,71	2	0,62
7,14	8	9,93
10,57	24	21,68
14,00	15	16,30
17,43	7	6,43
20,86	1	1,66
24,29	0	0,37

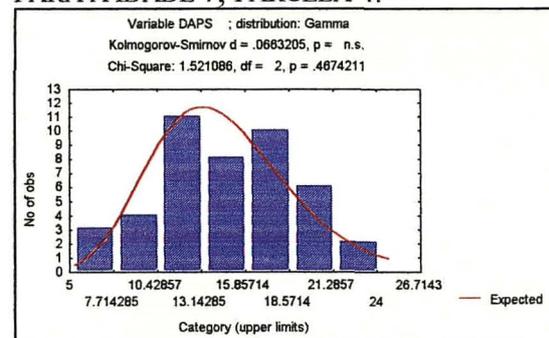
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 3.



QUADRO 20 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 4.

Centro de Classe	Frequência Observada	Frequência Esperada
6,36	3	1,40
9,07	4	5,88
11,79	11	10,63
14,50	8	11,01
17,21	10	7,85
19,93	6	4,27
22,64	2	2,97

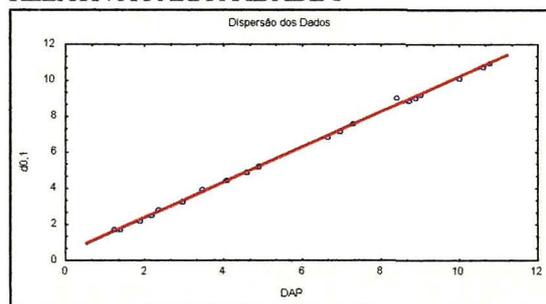
FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO GAMMA PARA A IDADE 7, PARCELA 4.



QUADRO 21 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 3

F=14724	R2=0,99	Syx=0,11558
	coef.	t(20)
b0	0,2707661	5,1060981
b1	0,9759256	121,34103
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=1	196,68855	196,68855
Res. gl=20	0,2671737	0,0133587
Total	196,95572	

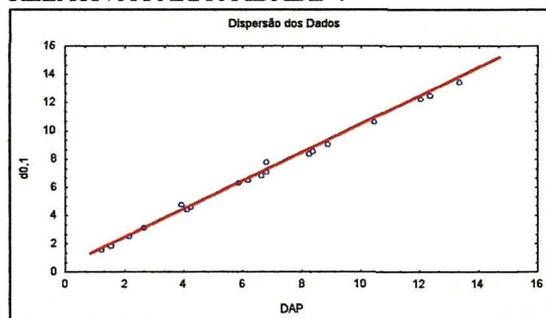
FIGURA 21 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 3



QUADRO 22 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 4

F=6364,6	R2=0,99	Syx=0,19702
	coef.	t(19)
b0	0,3433366	3,6110146
b1	0,9724377	79,778581
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=1	247,0605	247,0605
Res. gl=19	0,7375378	0,0388178
Total	247,79803	

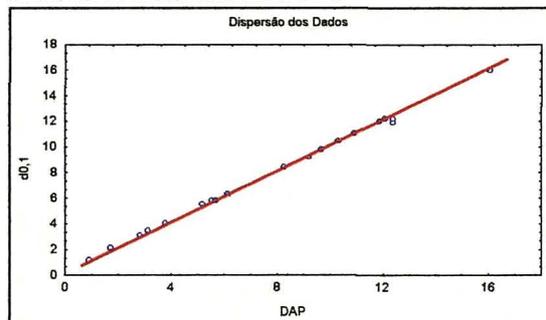
FIGURA 22 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 4



QUADRO 23 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 5

F=26601	R2=0,99	Syx=0,15017
	coef.	t(20)
b0	0,2706395	4,500647
b1	0,9652156	136,00754
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=1	359,9368	359,9368
Res. gl=20	0,3891618	0,0194581
Total	360,32596	

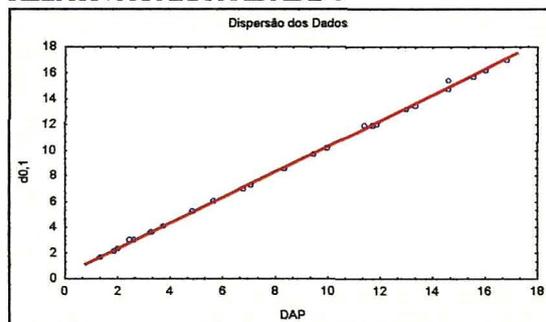
FIGURA 23 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 5



QUADRO 24 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 6

F=26601	R2=0,99	Syx=0,15017
	coef.	t(23)
b0	0,1659884	2,707975
b1	0,9926952	163,0977
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=1	599,91089	599,91089
Res. gl=23	0,5187032	0,0225523
Total	600,42957	

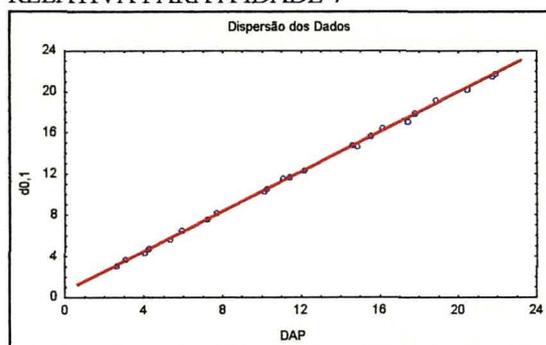
FIGURA 24 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 6



QUADRO 25 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 7

F=29652	R2=0,99	Syx=0,17077
	coef.	t(22)
b0	0,3051777	4,1241012
b1	0,9674544	172,19884
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=1	864,69098	864,69098
Res. gl=22	0,6415392	0,0291609
Total	865,33252	

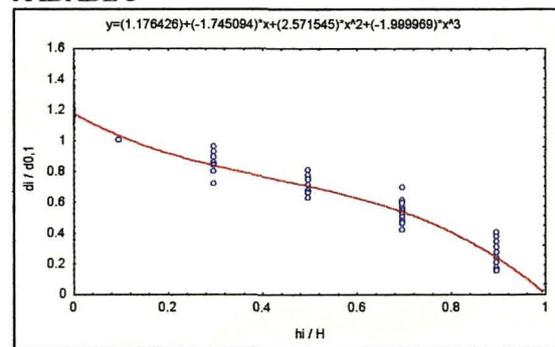
FIGURA 25 - FUNÇ. DIAMÉTRICA RELATIVA PARA A IDADE 7



QUADRO 26 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 3

F=2186,9	R2=0,98	Syx=0.07465
	coef.	t(150)
b0	1,1764265	102,09362
b1	-1,745094	-13,97213
b2	2,5715446	8,210144
b3	-1,999969	-9,704408
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=3	23,35416	7,7847199
Res. gl=150	0,5339517	0,0035597
Total	23,888111	

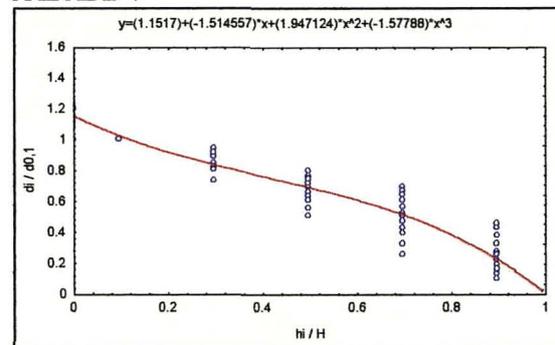
FIGURA 26 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 3



QUADRO 27 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 4

F=1376,6	R2=0,97	Syx=0,07280
	coef.	t(143)
b0	1,1517002	80,031492
b1	-1,514557	-9,709949
b2	1,9471241	4,9778066
b3	-1,57788	-6,130661
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=3	21,886358	7,2954526
Res. gl=143	0,7578235	0,0052995
Total	22,644182	

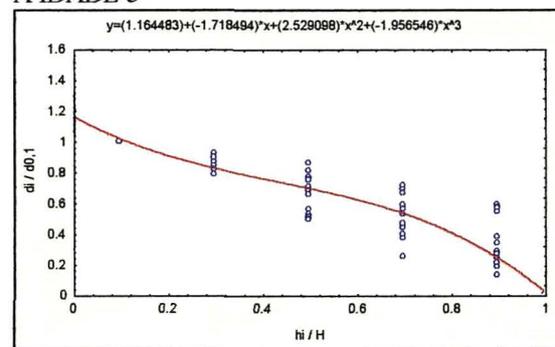
FIGURA 27 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 4



QUADRO 28 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 5

F=1075,0	R2=0,98	Syx=0,08306
	coef.	t(150)
b0	1,1644833	72,590076
b1	-1,718494	-9,883299
b2	2,5290985	5,8000621
b3	-1,956546	-6,819397
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=3	22,248524	7,4161744
Res. gl=150	1,03486	0,0068991
Total	23,283382	

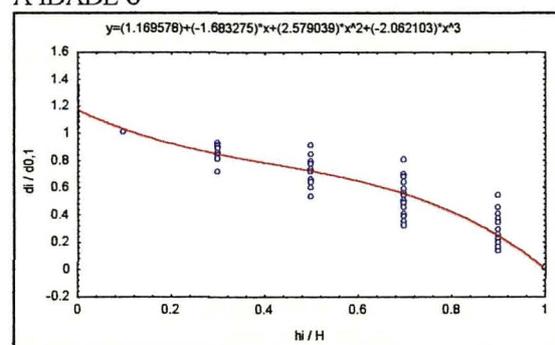
FIGURA 28 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 5



QUADRO 29 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 6

F=1549,5	R2=0,96	Syx=0,07507
	coef.	t(171)
b0	1,1695782	85,994198
b1	-1,683275	-11,41839
b2	2,5790394	6,9762294
b3	-2,062103	-8,477389
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=3	26,195541	8,7318468
Res. gl=171	0,9636339	0,0056353
Total	27,159174	

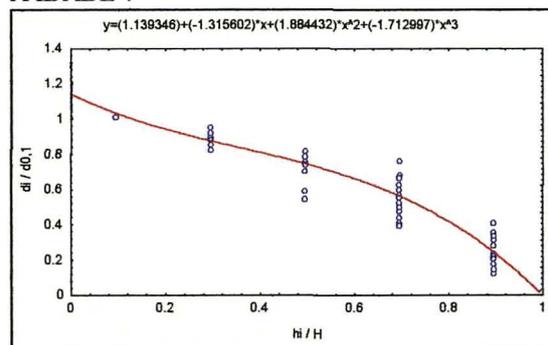
FIGURA 29 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 6



QUADRO 30 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 7

F=2170,8	R2=0,97	Syx=0,06312
	coef.	t(164)
b0	1,1393459	99,178994
b1	-1,315602	-10,56571
b2	1,8844318	6,0348634
b3	-1,712997	-8,337439
ANOVA	SQ	QM
Reg. gl=3	25,135372	8,3784571
Res. gl=164	0,6329691	0,0038596
Total	25,768341	

FIGURA 30 - FUNÇ.AFILAMÉTRICA PARA A IDADE 7



ANEXO 02

TEORES DOS COMPONENTES FUNDAMENTAIS E ACIDENTAIS DA MADEIRA E
DA CASCA (DADOS OBSERVADOS)

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 3 ANOS (%).....	82
TABELA 02 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 4 ANOS (%).....	83
TABELA 03 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 5 ANOS (%).....	84
TABELA 04 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 6 ANOS (%).....	85
TABELA 05 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 7 ANOS (%).....	86

TABELA 01 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 3 ANOS (%)

Idade (anos)	Classe (diâm)	Extrat a/q (%)	Extrat a/f (%)	Extrat a/b (%)	Cinza (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
3	3	4,69 – 6,80	1,97 – 5,19	2,61 – 6,02	0,66 – 2,87	17,70 – 34,89	72,40 – 44,34
3	4	3,59 – 8,20	3,33 – 6,54	1,48 – 4,80	0,63 – 3,97	17,90 – 35,25	73,09 – 41,25
3	5	1,43 – 9,64	1,57 – 7,49	1,23 – 3,71	0,68 – 3,52	19,30 – 35,46	75,80 – 40,18
3	6	3,09 – 9,78	1,86 – 8,08	1,57 – 2,89	0,51 – 3,44	19,30 – 35,27	73,71 – 40,54
3	7	2,36 – 9,74	2,28 – 8,31	1,50 – 3,10	0,51 – 3,52	18,70 – 36,73	74,70 – 38,60
3	3	3,29 – 8,18	2,32 – 7,96	1,92 – 4,88	0,68 – 3,61	15,90 – 31,75	75,87 – 43,62
3	4	4,22 – 10,64	2,56 – 8,97	2,27 – 3,61	0,54 – 5,98	19,20 – 32,18	71,24 – 38,61
3	5	2,00 – 6,77	1,50 – 5,54	1,24 – 3,59	0,51 – 5,58	16,90 – 35,20	77,88 – 43,31
3	6	3,70 – 7,50	2,45 – 5,01	1,38 – 3,82	0,63 – 3,43	19,80 – 36,36	72,05 – 43,87
3	7	2,20 – 15,29	2,09 – 12,21	1,61 – 4,71	0,40 – 2,81	15,20 – 33,22	78,53 – 31,75
3	3	4,02 – 9,54	2,51 – 6,15	1,15 – 3,17	0,80 – 2,73	18,70 – 33,81	72,84 – 44,58
3	4	3,70 – 8,56	2,58 – 5,67	1,80 – 4,01	0,53 – 2,81	17,90 – 33,95	73,50 – 44,99
3	5	1,53 – 9,81	1,61 – 6,57	1,39 – 2,99	0,49 – 3,00	19,50 – 33,48	75,53 – 44,10
3	7	2,16 – 11,00	2,37 – 8,58	1,69 – 3,14	0,60 – 4,88	16,80 – 30,91	76,37 – 41,48
3	3	3,64 – 10,40	2,41 – 7,32	1,71 – 4,25	0,39 – 2,85	18,00 – 41,17	73,83 – 34,00
3	5	2,11 – 16,27	1,60 – 11,94	1,54 – 2,56	0,34 – 2,32	19,50 – 36,35	74,87 – 30,57
3	6	2,72 – 11,17	2,19 – 9,82	0,93 – 2,66	0,46 – 2,29	18,50 – 41,59	75,25 – 32,46
3	7	2,69 – 12,35	2,20 – 8,87	1,89 – 2,41	0,35 – 2,51	16,10 – 38,82	76,82 – 35,03

TABELA 02 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 4 ANOS (%)

Idade (anos)	Classe (diâm)	Extrat a/q (%)	Extrat a/f (%)	Extrat a/b (%)	Cinza (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
4	3	3,72 – 18,89	1,90 – 13,73	1,13 - 7,30	0,66 – 2,59	17,90 – 37,94	74,74 – 19,56
4	4	3,35 – 12,99	2,07 – 9,99	0,63 - 4,17	0,41 – 3,27	15,90 – 37,94	77,68 – 31,65
4	5	1,60 – 10,97	1,59 – 8,09	0,61 - 2,91	0,57 – 3,63	16,90 – 36,75	78,78 – 37,64
4	6	2,31 – 11,84	1,58 – 9,41	1,41 - 3,24	0,51 – 2,70	19,90 – 39,97	74,29 – 32,84
4	7	3,88 – 12,39	2,16 – 9,70	1,90 - 3,91	0,40 – 2,36	16,20 – 44,54	75,51 – 27,09
4	3	3,46 – 12,01	1,90 – 8,98	1,56 - 8,76	0,77 – 1,76	19,10 – 36,58	73,24 – 31,90
4	5	1,24 – 16,58	2,27 – 13,52	0,54 - 6,41	0,56 – 3,38	19,00 – 37,14	76,37 – 22,96
4	6	2,23 – 14,61	1,55 – 9,61	1,16 - 2,63	0,52 – 2,16	18,30 – 39,96	76,26 – 31,02
4	7	3,47 – 9,80	2,09 – 6,77	1,63 - 2,71	0,50 – 2,35	17,10 – 41,83	75,22 – 36,53
4	3	3,27 – 15,61	2,18 – 9,81	1,22 - 4,41	0,42 – 2,95	17,60 – 35,74	75,31 – 31,48
4	4	3,55 – 13,14	2,79 – 8,57	1,94 - 3,65	0,48 – 2,16	17,50 – 30,26	73,70 – 41,35
4	5	1,89 – 20,92	1,44 – 13,47	1,28 - 5,02	0,83 – 1,71	16,80 – 35,51	78,24 – 23,36
4	6	3,34 – 16,34	2,19 – 11,00	1,22 - 3,81	0,47 – 2,32	16,60 – 30,93	76,16 – 35,60
4	7	2,71 – 11,94	2,03 – 9,14	1,42 - 3,76	0,50 – 3,10	17,60 – 33,05	75,72 – 39,02
4	4	3,48 – 12,82	2,65 – 6,98	2,21 - 5,20	0,52 – 3,18	17,60 – 33,14	73,60 – 38,67
4	5	1,69 – 12,83	2,02 – 8,60	1,40 - 5,56	0,59 – 3,82	20,50 – 34,72	73,79 – 34,97
4	6	3,30 – 12,30	2,23 – 8,12	1,57 - 3,58	0,44 – 2,66	17,90 – 32,70	74,57 – 40,62
4	7	2,77 – 23,73	2,14 – 14,28	1,92 - 6,02	0,44 – 3,31	16,90 – 41,86	75,8710,75

TABELA 03 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 5 ANOS (%)

Idade (anos)	Classe (diâm)	Extrat a/q (%)	Extrat a/f (%)	Extrat a/b (%)	Cinza (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
5	3	3,22 – 12,33	1,54 – 6,38	1,67 – 6,50	0,58 – 2,83	16,90 – 36,10	76,08 – 35,86
5	4	2,74 – 9,97	1,85 – 6,16	1,21 – 4,29	0,81 – 2,93	20,30 – 36,06	73,07 – 40,58
5	5	1,24 – 15,51	1,75 – 7,87	1,04 – 3,64	0,64 – 2,83	17,30 – 41,93	78,01 – 28,21
5	6	2,39 – 13,35	2,43 – 7,73	1,26 – 4,06	0,69 – 3,03	18,10 – 37,23	76,15 – 34,60
5	3	3,24 – 9,45	2,31 – 6,01	1,42 – 5,69	0,82 – 2,70	17,90 – 32,64	74,35 – 43,50
5	4	3,05 – 16,66	1,57 – 8,55	2,59 – 5,52	0,57 – 2,05	19,20 – 34,44	73,04 – 32,76
5	5	1,69 – 13,83	1,77 – 11,45	1,23 – 6,07	0,45 – 2,29	19,90 – 33,01	74,93 – 33,34
5	6	2,12 – 12,83	1,40 – 9,77	1,02 – 3,83	0,50 – 2,68	17,00 – 35,80	77,97 – 35,08
5	3	2,59 – 9,00	1,79 – 6,23	1,30 – 5,15	0,57 – 3,47	16,80 – 33,85	76,97 – 42,28
5	4	3,14 – 13,27	2,15 – 6,39	1,17 – 3,78	0,61 – 2,69	17,10 – 34,24	75,78 – 36,62
5	4	3,62 – 11,34	1,88 – 7,79	1,33 – 4,61	0,69 – 3,23	17,80 – 35,74	74,63 – 37,28
5	5	1,61 – 11,75	2,30 – 7,65	1,77 – 4,18	0,66 – 4,23	19,10 – 31,22	74,53 – 40,95
5	6	3,65 – 14,06	1,46 – 10,38	1,83 – 4,92	0,51 – 2,31	18,70 – 35,72	73,86 – 32,59

TABELA 04 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 6 ANOS (%)

Idade (anos)	Classe (diâm)	Extrat a/q (%)	Extrat a/f (%)	Extrat a/b (%)	Cinza (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
6	3	2,81 – 11,99	1,36 – 9,89	1,22 – 4,12	0,47 – 3,48	20,10 – 33,60	74,08 – 36,92
6	4	3,12 – 17,77	1,80 – 12,53	2,01 – 6,02	0,61 – 2,58	19,60 – 37,99	72,90 – 23,10
6	5	2,50 – 16,29	1,10 – 10,78	1,16 – 4,03	0,54 – 2,46	22,30 – 35,99	72,40 – 30,53
6	6	1,32 – 18,37	1,47 – 14,08	1,66 – 5,26	0,41 – 2,02	19,70 – 37,41	75,40 – 22,85
6	7	1,88 – 14,92	1,20 – 9,49	1,91 – 3,22	0,48 – 2,29	19,70 – 41,36	74,88 – 28,72
6	3	2,31 – 11,42	1,66 – 7,39	1,39 – 5,11	0,48 – 3,39	17,80 – 38,08	76,41 – 34,60
6	4	4,63 – 12,10	2,36 – 9,31	2,26 – 4,95	0,81 – 2,82	19,40 – 37,38	70,50 – 33,43
6	5	1,68 – 12,77	1,27 – 8,09	0,93 – 4,58	0,56 – 3,12	18,20 – 41,33	77,37 – 30,15
6	6	1,49 – 14,73	1,53 – 10,47	1,39 – 4,97	0,55 – 2,80	19,70 – 32,26	75,38 – 34,77
6	7	2,21 – 20,26	1,37 – 14,83	0,86 – 3,99	0,51 – 3,88	19,00 – 33,90	76,07 – 23,14
6	3	3,51 – 14,07	1,71 – 9,95	1,60 – 6,87	0,61 – 3,95	18,10 – 35,99	74,52 – 29,16
6	4	4,28 – 13,53	2,72 – 9,72	1,75 – 4,24	0,10 – 4,49	18,20 – 37,07	72,07 – 30,95
6	5	1,83 – 10,97	1,52 – 7,67	1,23 – 5,78	0,37 – 3,30	20,90 – 36,05	74,14 – 36,24
6	6	2,14 – 16,12	1,55 – 10,96	1,12 – 4,44	0,68 – 3,21	19,00 – 38,44	75,50 – 26,81
6	7	2,74 – 14,15	1,45 – 9,96	2,13 – 3,29	0,42 – 3,31	19,40 – 35,11	73,90 – 34,18
6	3	2,45 – 12,14	1,69 – 9,76	1,37 – 4,56	0,49 – 2,70	20,90 – 35,96	73,10 – 34,88
6	4	3,82 – 12,29	2,43 – 7,57	1,50 – 3,64	0,90 – 3,14	22,20 – 42,53	69,19 – 30,82
6	5	1,22 – 15,00	1,58 – 10,42	1,03 – 4,08	0,74 – 2,62	18,20 – 38,81	77,21 – 29,01
6	6	1,74 – 13,20	1,52 – 9,30	1,60 – 3,37	0,60 – 3,01	20,30 – 44,43	74,25 – 26,70

TABELA 05 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA E DA CASCA PARA A IDADE DE 7 ANOS (%)

Idade (anos)	Classe (diâm)	Extrat a/q (%)	Extrat a/f (%)	Extrat a/b (%)	Cinza (%)	Lignina (%)	Holocelulose (%)
7	3	3,70 – 8,44	2,80 – 8,53	1,30 – 5,82	0,42 – 2,42	21,60 – 40,20	70,18 – 34,60
7	4	2,02 – 8,82	1,44 – 5,05	1,91 – 4,04	0,74 – 2,44	20,40 – 34,97	73,50 – 49,47
7	5	1,63 – 9,58	1,61 – 6,53	0,91 – 4,57	0,37 – 2,83	20,00 – 34,29	75,45 – 42,20
7	6	2,60 – 13,08	1,19 – 7,60	1,21 – 4,77	0,69 – 3,25	18,90 – 34,30	75,46 – 37,00
7	3	2,42 – 12,59	1,71 – 9,42	0,98 – 5,86	0,54 – 2,88	24,40 – 37,95	69,91 – 31,29
7	4	3,36 – 15,42	1,07 – 11,30	1,38 – 4,22	0,67 – 3,12	20,20 – 23,00	73,34 – 42,92
7	5	2,06 – 16,34	1,73 – 12,35	0,83 – 3,24	0,39 – 3,02	21,80 – 34,69	73,17 – 30,36
7	6	2,35 – 16,85	1,42 – 12,23	1,10 – 3,57	0,61 – 3,03	21,90 – 32,63	72,67 – 31,67
7	4	3,35 – 14,48	2,23 – 10,49	1,30 – 4,42	0,68 – 3,96	19,70 – 33,12	72,76 – 33,53
7	5	1,58 – 21,13	1,62 – 14,10	1,09 – 5,95	0,41 – 2,05	22,50 – 33,97	72,76 – 22,79
7	6	1,69 – 14,25	1,37 – 10,05	1,10 – 5,61	0,50 – 2,30	20,20 – 33,61	75,14 – 34,17
7	3	1,90 – 10,82	1,80 – 6,10	1,10 – 3,33	0,51 – 3,80	21,20 – 37,26	73,54 – 38,68
7	4	3,06 – 11,46	1,33 – 8,39	1,44 – 2,34	0,77 – 4,76	19,20 – 38,77	74,19 – 34,27
7	5	1,41 – 13,21	1,55 – 9,27	1,13 – 4,00	0,41 – 3,76	20,70 – 37,55	74,78 – 32,20
7	6	1,99 – 15,29	1,12 – 11,70	1,36 – 3,78	0,53 – 5,45	18,19 – 36,39	76,12 – 27,33