

LUIZ JOAQUIM BACELLAR DE SOUZA

**MODELAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL EM  
PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii*  
Maiden**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Florestal do Setor de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Paraná,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr Ronaldo Viana Soares

CURITIBA  
2000




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA FLORESTAL


PARECER DE DEFESA DE TESE n.º 95

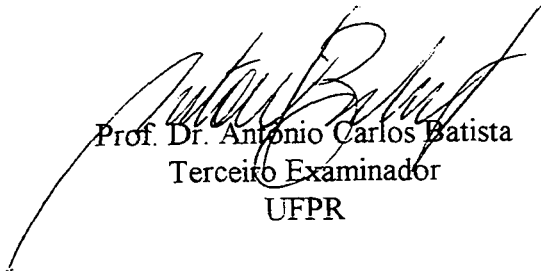
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de **DOUTORADO**, apresentada pelo candidato **LUIZ JOAQUIM BACELLAR DE SOUZA**, sob o título "**MODELAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL EM PLANTAÇÕES DE PINUS TAEDA L. E EUCALYPTUS DUNNII MAIDEN**". para obtenção do grau de **Doutor** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**.

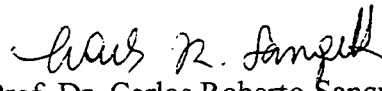
Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

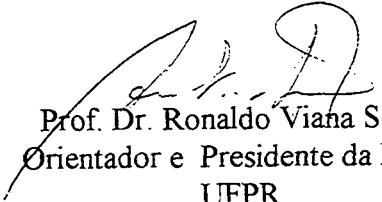
Curitiba, 09 de junho de 2000.

  
Prof. Dr. Guido Assunção Ribeiro  
Primeiro Examinador  
DEPTO ENG. FLORESTAL - UFV

  
Pesq. Dr. Amilton Baggio  
Segundo Examinador  
EMBRAPA/CNPFFloresta

  
Prof. Dr. Antonio Carlos Batista  
Terceiro Examinador  
UFPR

  
Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta  
Quarto Examinador  
UFPR

  
Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares  
Orientador e Presidente da Banca  
UFPR



*Aos meus saudosos pais...*

*aos meus dez irmãos*

*Cuiza, Rosalina, Monica, Agostinha, Estela,  
Nelson, Francisco, Pedro, Rafael e Pojucan*

*e aos meus filhos*

*Stanlei, Sidnei e Cuana*

*dedico*

## BIOGRAFIA

Filho de Pojucan José Rafael de Souza e Hermozina Augusta Bacellar de Souza, LUIZ JOAQUIM BACELAR DE SOUZA nasceu em Manaus – AM no dia 6 de julho de 1953.

Concluiu o curso primário em 1965 no Grupo Escolar Barão do Rio Branco em Manaus e o curso ginásial em 1970 no Ginásio São Francisco de Assis, na mesma cidade. cursou o segundo grau na Escola Técnica Federal do Amazonas, onde em 1973 concluiu o curso de eletrotécnica, cumprindo em seguida (73/74) o respectivo estágio curricular atuando como Auxiliar Técnico em eletrônica na indústria de televisores SANYO – Pereira Lopes IBESA S.A. (PEMASA).

No ano de 1975 iniciou o curso de Engenharia Civil na Fundação Universidade do Amazonas e em 1976 obteve aprovação em novo concurso vestibular desta fundação, que possibilitou-lhe a transferência para o curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, onde graduou-se em 1978.

Em fevereiro de 1979 ingressou como Auxiliar de Ensino do Departamento de Ciências Agrárias da Fundação Universidade do Amazonas (U.A.), sendo imediatamente liberado para realizar curso de Pós- Graduação em Engenharia Florestal na UFPR, na área de Silvicultura, recebendo em junho de 1981 o título de Mestre em Ciências Florestais.

Ao retornar a Manaus, coordenou em 1987 a implantação do curso de Engenharia Florestal na Faculdade de Ciências Agrárias/U.A., desde a elaboração do projeto até a contratação de mais nove professores para o quadro docente, além de atuar como professor de várias disciplinas até 1995.

Visando contribuir para a consolidação do referido curso, afastou-se de suas atividades docentes no início de 1996 para realizar curso de Doutorado na mesma Universidade onde já obtivera os títulos de graduação e M.Sc. em Engenharia Florestal, concluindo no primeiro semestre do ano 2000 os requisitos necessários à titulação de Doutor em Ciências Florestais.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor Ronaldo Viana Soares;

Aos demais membros do meu comitê de orientação: Professores Carlos Roberto Sanquetta e Antônio Carlos Batista;

À Rigesa Celulose Papel e Embalagens Ltda.;

Ao abençoado e incansável “guerreiro” Alex Paulus R. dos Santos;

Ao total apoio oferecido pelos Professores José Hilário (Univ. do Contestado), Jorge Kusdra (Univ. do Acre) e Eduardo Coutinho da Cruz (Univ. do Amazonas);

A Deus, à minha mulher e a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para que eu pudesse cumprir a contento, todas as etapas exigidas para a conclusão do que considero meu mais ousado desafio.

## SUMÁRIO

BIOGRAFIA DO AUTOR.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	2
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 INCÊNDIOS <i>versus</i> QUEIMADAS.....	4
2.2 PERIGO DE INCÊNDIO.....	6
2.2.1 Potencializadores.....	6
2.2.2 Minimizadores.....	10
2.3 COMBUSTÍVEIS FLORESTAIS.....	12
2.3.1 Classificação.....	13
2.3.2 Caracterização.....	16
2.3.3 Avaliação.....	18
2.3.4 Fatores que regem a carga de combustíveis.....	18
a) Taxa de deposição.....	20
b) Taxa de decomposição.....	27
2.3.5 Inventário de combustível florestal.....	32
2.3.6 Modelagem de combustível florestal.....	38
a) Modelos e modelagem.....	38
b) Variáveis e modelos para combustíveis florestais.....	41
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
3.1 ASPECTOS INERENTES À REGIÃO DA PESQUISA.....	50
3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO.....	51

3.2.1 Amostragem.....	51
a) Obtenção das variáveis explicativas.....	53
b) Quantificação do material combustível.....	54
3.2.2 Estabelecimento das classes de combustível.....	56
3.3 ELABORAÇÃO DOS MODELOS.....	57
3.3.1 Análise exploratória dos dados.....	57
3.3.2 Associação entre variáveis.....	58
3.3.3 Análises de regressão.....	58
3.4 PROCEDIMENTO ANALÍTICO.....	60
3.4.1 Avaliação dos modelos.....	60
a) Critérios adicionais para seleção do melhor modelo.....	61
3.5 CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS E CALIBRADOR DE CARGA.....	62
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
4.1 CARGAS DE COMBUSTÍVEL.....	63
4.1.1 Combustíveis superficiais.....	63
a) Massa de folheto e material lenhoso.....	66
b) Fitomassa da vegetação baixa.....	69
c) Combustível total.....	70
4.1.2 Densidade de carga.....	71
4.2 MODELOS AJUSTADOS.....	73
4.2.1 Redução de variáveis.....	73
a) Seleção das variáveis de resposta.....	76
b) Seleção das variáveis explicativas.....	77
4.2.2 Modelos para <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	79
4.2.3 Modelos para <i>Pinus taeda</i> .....	86
4.2.4 Teste de modelos para <i>Pinus taeda</i> .....	91
4.3 APLICAÇÕES DOS MODELOS.....	94
4.4 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES.....	96
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>

<b>ANEXOS</b> .....	116
<b>ANEXO 1</b> Chave de Fahnestock.....	117
<b>ANEXO 2</b> Tabelas de cargas de combustível e variáveis explicativas.....	119
<b>ANEXO 3</b> Diagramas de resíduos.....	123



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Combinação de triângulos relativos a ocorrência e propagação do fogo.....	13
FIGURA 2.	Classificação dos estratos de materiais combustíveis florestais.....	15
FIGURA 3.	Localização da área de estudo.....	50
FIGURA 4.	Gabarito utilizado para amostragem de material combustível.....	52
FIGURA 5.	Calibrador usado para separação das classes de combustíveis.....	55
FIGURA 6.	Gabarito utilizado na coleta de acículas de <i>Pinus taeda</i> .....	55
FIGURA 7.	Cargas de material combustível por tipo e classe de tamanho em cada plantação de <i>Pinus taeda</i> .....	63
FIGURA 8.	Cargas das diferentes classes de material combustível variando em função da idade de <i>Pinus taeda</i> .....	64
FIGURA 9.	Cargas de material combustível por tipo e classe de tamanho em cada plantação de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	64
FIGURA 10.	Cargas das diferentes classes de material combustível variando em função da idade de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	65
FIGURA 11.	Relações da altura dominante com DAP e área basal nas plantações de <i>Pinus taeda</i> e <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	65
FIGURA 12.	Distribuição das classes cumulativas de material combustível nas diferentes idades de <i>Pinus taeda</i> .....	67
FIGURA 13.	Distribuição das classes cumulativas de material combustível nas diferentes idades de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	68
FIGURA 14.	Densidade de carga da vegetação baixa de <i>Eucalyptus dunnii</i> e da cama de acículas de <i>Pinus taeda</i> .....	71
FIGURA 15.	Estimativa do carga de folheto ( $W_f$ ) a partir da idade do povoamento.....	80
FIGURA 16.	Estimativa da carga de combustíveis com até 10 horas de <i>timelag</i> ( $W_{10}$ ) a partir da idade do povoamento de <i>Eucalyptus</i> .....	82

FIGURA 17.	Estimativa da carga de combustível superficial total ( $W_t$ ) a partir da idade das plantações de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	83
FIGURA 18.	Estimativa do combustível superficial vivo ( $W_v$ ) a partir da idade das plantações e da altura da vegetação baixa do sub-bosque de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	86
FIGURA 19.	Estimativa da carga de acículas ( $W_a$ ) a partir da espessura da liteira de <i>Pinus taeda</i> .....	87
FIGURA 20.	Estimativa da carga de combustíveis com até 10 horas de <i>timelag</i> ( $W_{10}$ ) a partir da espessura da liteira de <i>Pinus taeda</i> .....	90
FIGURA 21.	Estimativa da carga de combustível superficial total ( $W_t$ ) a partir da espessura da liteira de <i>Pinus taeda</i> .....	94
FIGURA 22.	Calibrador de carga para liteira de <i>Pinus taeda</i> .....	95
FIGURA 23.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar combustíveis da liteira nas plantações de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	124
FIGURA 24.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar combustíveis de até 25 mm de espessura nas plantações de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	124
FIGURA 25.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar combustível superficial total nas plantações de <i>Eucalyptus dunnii</i> .	125
FIGURA 26.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar combustível vivo da vegetação baixa do sub-bosque das plantações de <i>Eucalyptus dunnii</i> .....	125
FIGURA 27.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar a carga de acículas nas plantações de <i>Pinus taeda</i> .....	126
FIGURA 28.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar combustível de até 25 mm de espessura nas plantações de <i>Pinus taeda</i> .....	126
FIGURA 29.	Distribuição dos resíduos relativa aos modelos para estimar combustível superficial total nas plantações de <i>Pinus taeda</i> .....	127

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Coeficiente de correlação entre as variáveis mensuradas e as classes de material combustível nas plantações de <i>E. dunnii</i> .....	74
TABELA 2.	Coeficiente de correlação entre as variáveis mensuradas e as classes de material combustível nas plantações de <i>P. taeda</i> .....	75
TABELA 3.	Variáveis selecionadas para modelagem.....	79
TABELA 4.	Modelos ajustados para estimar a carga de folheto ( $W_f$ ) da liteira de <i>E. dunnii</i> .....	79
TABELA 5.	Modelos ajustados para estimar a carga de combustíveis com até 10 horas de <i>timelag</i> ( $W_{10}$ ) nas plantações de <i>E. dunnii</i> .....	81
TABELA 6.	Modelos ajustados para estimar a carga de combustível superficial total nas plantações de <i>E. dunnii</i> .....	83
TABELA 7.	Modelos ajustados para estimar a carga de combustível superficial vivo do sub-bosque das plantações de <i>E. dunnii</i> .....	85
TABELA 8.	Modelos ajustados para estimar a carga de acículas da liteira de <i>P. taeda</i> .....	87
TABELA 9.	Modelos ajustados para estimar a carga de combustíveis com até 10 horas de <i>timelag</i> ( $W_{10}$ ) nas plantações de <i>P. taeda</i> .....	89
TABELA 10.	Modelos ajustados para estimar a carga de combustível superficial total nas plantações de <i>P. taeda</i> .....	91
TABELA 11.	Densidade de carga ( $\delta_w$ ) da vegetação baixa das plantações de <i>E. dunnii</i> e da liteira de <i>P. taeda</i> .....	92
TABELA 12.	Comparação entre valores observados e estimados de cargas de combustível utilizando dados inéditos de uma plantação de <i>P. taeda</i> com 15 anos de idade crescendo sobre solo com baixa taxa de decomposição.....	93
TABELA 13.	Dimensões e erros adotados na coleta de material combustível nas plantações de <i>P. taeda</i> e <i>E. dunnii</i> .....	97

TABELA 14. Distribuição dos combustíveis superficiais das plantações de <i>E. dunnii</i> em classes de espessura.....	120
TABELA 15. Distribuição dos combustíveis superficiais das plantações de <i>P. taeda</i> em classes de espessura.....	120
TABELA 16. Distribuição das classes cumulativas de combustíveis nas plantações de <i>E. dunnii</i> .....	120
TABELA 17. Distribuição relativa (%) das classes cumulativas de combustíveis nas plantações de <i>E. dunnii</i> .....	121
TABELA 18. Distribuição das classes cumulativas de combustíveis nas plantações de <i>P. taeda</i> .....	121
TABELA 19. Distribuição relativa (%) das classes cumulativas de combustíveis nas plantações de <i>P. taeda</i> .....	121
TABELA 20. Médias das variáveis explicativas mensuradas em cada idade das plantações de <i>P. taeda</i> e <i>E. dunnii</i> .....	122

## LISTA DE ABREVIATURAS

- $W_{\phi_1}$  Combustíveis lenhosos (mortos) com espessura menor que 7 milímetros;
- $W_{\phi_2}$  Combustíveis lenhosos (mortos) com espessura entre 7,1 e 25 milímetros;
- $W_{\phi_3}$  Combustíveis lenhosos (mortos) com espessura entre 25,1 e 75 milímetros;
- $W_{\phi_4}$  Combustíveis lenhosos (mortos) com espessura maior que 75 milímetros;
- $W_a$  Massa de combustível constituída de acículas e miscelânea (*Pinus*);
- $W_f$  Massa de combustível constituída de folheto mais miscelânea (*Eucalyptus*);
- $W_1$  Estoque de combustível morto com espessura de até 7 milímetros ou uma hora de tempo de resposta ao equilíbrio com a umidade relativa do ar (*timelag* 01);
- $W_{10}$  Estoque de combustível morto com espessura de até 25 milímetros ou dez horas de tempo de resposta ao equilíbrio com a umidade relativa do ar (*timelag* 10);
- $W_{100}$  Estoque de combustível morto com espessura de até 75 milímetros ou cem horas de tempo de resposta ao equilíbrio com a umidade relativa do ar (*timelag* 100);
- $W_k$  Estoque total de combustível morto que inclui todas as espessuras ou apresente tempo de resposta ao equilíbrio com a umidade relativa do ar acima de 100 horas (*timelag* > 100);
- $W_v$  Combustível vivo constituído pela vegetação do sub-bosque com h até 1,80 m;
- $W_t$  Combustível total ou somatório da massa de acículas ou do folheto com o combustível vivo mais a massa de combustíveis lenhosos;
- $\delta_{wa}$  Densidade da cama de acículas ou liteira das plantações de *P. taeda* em  $g/cm^3$ ;
- $\delta_{wh}$  Densidade do estrato de combustível vivo superficial do sub-bosque das plantações de *E. dunnii* em  $g/cm^3$ ;
- G = Área basal ;
- CAP = Circunferência à altura do peito;
- DAP = Diâmetro à altura do peito;
- ddom = DAP médio das árvores dominantes;
- hdom = Altura dominante;
- ht = Altura total;
- S = Espessura da cama de acículas;
- I = Idade das plantações;
- hv = Altura da vegetação com até 1,8 m, sob o dossel de *Eucalyptus dunnii*.

## RESUMO

Um inventário foi conduzido em Três Barras, Santa Catarina, para quantificar e modelar material combustível superficial vivo e morto de plantações de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*. De forma sistemática foram estabelecidas 20 parcelas em oito idades de plantio para cada espécie, sendo determinados a carga de combustível, o DAP, a altura dominante, o diâmetro dominante e a área basal em todas as plantações, além da altura da vegetação baixa do eucalipto e a espessura da liteira do pinus. DAP, hdom, idade e espessura da camada de acículas foram as variáveis que melhor se relacionaram com a carga de combustível das plantações de *P. taeda* e, idade, área basal e hdom com a carga de *E. dunnii*. Vinte e um modelos foram ajustados através dos métodos *Stepwise* e “Todas as Regressões Possíveis”, sendo nove para *P. taeda* e doze para *E. dunnii*. Além de selecionados pela distribuição dos resíduos,  $R^2$  e erro padrão da estimativa, critérios de ordem prática foram também considerados na escolha dos modelos. O melhor modelo para estimar acículas foi  $Wa = 2,356794.S$  ajustado com base na espessura “S” da liteira de *P. taeda*, enquanto que para liteira de *E. dunnii* foi utilizada a idade “T” na formulação do modelo  $Wf = 1,697347 + 0,001005.I^2$ , ambos com  $R^2$  acima de 0,85. Para carga de combustível morto de *Eucalyptus dunnii*, de até 2,5 cm de espessura, o modelo não linear  $W_{10} = (I^{0,39529} / e^{-0,011708.I})$  foi o que proporcionou o melhor ajuste, utilizando a idade das plantações como variável explicativa e, para *P. taeda* a maior precisão foi obtida com  $W_{10} = 1,889811 + 1,569117.S + 0,145218.S^2$  usando a espessura da liteira, ambos com  $R^2$  acima de 0,85. Para determinação da carga de combustível total das duas espécies, os melhores modelos obtidos foram  $W_t = 17,256106 - 0,28177 .I + 0,003182 .I^2$  para *E. dunnii* e  $W_t = 3,35892.S - 1,87453$  para *P. taeda*, ambos com  $R^2$  abaixo de 0,71, resultado que pode ter sido influenciado pela carga de combustível vivo e resíduos de exploração do povoamento anterior, observadas nas idades mais jovens. Ficou constatado que um ajuste para peso de combustível vivo do sub-bosque de *E. dunnii* não proporciona resultados satisfatórios se, no modelo, além da altura da vegetação baixa, uma outra variável como idade ou área basal não for incluída. Sete gráficos para estimativa indireta de combustíveis e um “Calibrador de Carga” de acículas de *P. taeda* são apresentados.

## ABSTRACT

A surface fuel loading inventory was conducted in Três Barras/Santa Catarina-Brazil to appraise dead woody fuel and understory live fuel within a 1.8 m strata over mineral soil. Twenty 1.0 m<sup>2</sup> plots were systematically allocated in eight different *Eucalyptus dunnii* and *Pinus taeda* stands ages, totaling 320 plots. Total fuel load, dbh, dominant dbh, dominant height and basal area at all plots, as well as litter depth of *Pinus taeda* and understory low vegetation height of *Eucalyptus dunnii* were measured. Analysis showed that for *Pinus taeda* good correlations were obtained between d.b.h, age, litter depth and fuel loading, whereas for *Eucalyptus dunnii* good correlations were obtained between fuel loading and age and fuel loading and basal area. The dominant height showed also high correlation with the fuel accumulated up to timelag 10 for the two species. Nine fuel models were fitted to evaluate needles weight and others downed fuels weight of *Pinus taeda* and twelve to estimate dead fuel loading and live fuels weight for *Eucalyptus dunnii* understory by the Stepwise and All Possibles Regressions methods. The equations were selected by coefficient of determination ( $R^2$ ), standard error of estimate ( $S_{yx}$ ), and also by other practical criteria like facility of measurement and propensity to error in the variables obtainment. The best model to predict pine needles loading was  $W_a = 2.356794.S$  where "S" is the depth litter, while for *Eucalyptus dunnii* litter fuel loading was  $W_f = 1.697347 + 0.001005.I^2$ , all with  $R^2$  above 0.85. For dead fuel with timelag 10, the non-linear model  $W_{10} = [I^{1.39529} / \exp(-0.011708.I)]$  was the best for *Eucalyptus dunnii*, that has the age as independent variable, while for *Pinus taeda* was used the litter depth (S) as independent variable to obtain the following model:  $W_{10} = 1.889811 + 1.569117.S + 0.145218.S^2$ . For both species the  $R^2$  was higher than 0.85. No good fit was obtained for total fuel loading, probably because the live fuel and slash remaining for past clearcutting had contributed strongly in the young ages. In both cases the best coefficients of determination were between 0.67 to 0.70. It was observed that if age or basal area associated with understory high, were not included, no good accuracy could be obtained to predict *Eucalyptus dunnii* live fuel loading.

## 1 INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais constituem-se na maior ameaça de destruição das florestas de todo o mundo, exceto aquelas localizadas nos trópicos úmidos, devido aos altos índices de precipitação durante quase todo o ano. Por isto existe uma preocupação constante no sentido de proteger a floresta contra o fogo através da implantação de sistemas de controle de incêndios cada vez mais eficientes.

A tendência atual é a implantação de sistemas integrados de proteção contra incêndios florestais que fazem automaticamente, com o auxílio da informática, a detecção e localização do fogo, estimam a sua intensidade e indicam as rotas de acesso e os meios necessários para o combate. A eficiência de tais sistemas está intimamente ligada à consistência das informações relativas à intensidade do fogo, fundamentais para o planejamento do combate, que depende de três variáveis: i) o poder calorífico (mais ou menos constante para todos os materiais lenhosos); ii) a velocidade de propagação do fogo (estimada através da topografia e da velocidade do vento); e iii) a quantidade de material combustível. Portanto, para a implantação desses sistemas, é necessário conhecer a quantidade de material combustível existente em toda área a ser protegida. Essa informação é também indispensável para se fazer a prescrição de queimas controladas em áreas florestais, seja para a redução do risco de ocorrência de incêndios ou para se atingir outros objetivos previstos no plano de manejo florestal.

A medição direta através de um inventário é, sem dúvida, a forma mais precisa de determinação da quantidade de material combustível em uma floresta. Entretanto, o tempo gasto para se fazer um inventário é muito longo, o que inviabiliza a utilização do mesmo quando se precisa saber a quantidade de combustível existente para se estimar a intensidade de um incêndio já iniciado. Por este motivo surgiram os modelos de combustível, que estimam a quantidade de material existente de maneira indireta, através de variáveis de fácil obtenção. Desta maneira é possível se estimar a quantidade de combustível existente numa floresta a qualquer momento.



Os modelos de combustível são, portanto, ferramentas indispensáveis dentro das novas tendências de controle de incêndios florestais. No Brasil, modelos como esses ainda não foram desenvolvidos. Houve somente uma tentativa de desenvolvimento de equações de predição da quantidade de combustível para *Pinus caribaea* e *P. oocarpa* no sudoeste de Minas Gerais, em povoamentos jovens, com até sete anos e meio de idade (SOARES, 1979), quando o ideal seria poder dispor de modelos que cubram todo o período de rotação da floresta.

A escolha de *Pinus taeda* para se iniciar o trabalho de modelagem do combustível deve-se ao fato dela ser atualmente a espécie mais plantada no sul do Brasil, apresentando grande importância para a economia florestal da região, além da facilidade de se encontrar todas as idades do período de rotação em um mesmo distrito florestal.

Embora não seja plantado na mesma proporção de *Pinus taeda*, o *Eucalyptus dunnii* vem despertando o interesse de diversas empresas florestais do sul do país, pelo seu potencial de produção de fibra curta, de madeira para energia e para processamento mecânico em substituição à madeira tropical, além de ser resistente à geada. Por isto, vem sendo plantado em escala crescente nos últimos anos, permitindo que povoamentos de todas as idades do período de rotação também possam ser encontrados na região.

## 1.1 OBJETIVOS

Esta pesquisa teve como objetivo principal o desenvolvimento de modelos matemáticos para se estimar a quantidade de material combustível em plantações de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* de diferentes idades e não submetidas a regime de desbastes, através de variáveis de fácil obtenção, tais como idade, DAP, espessura da liteira e área basal.

As etapas pré-estabelecidas para se atingir o objetivo principal foram as seguintes:

a) Realização de um inventário completo do material combustível superficial existente em plantações de diferentes idades das duas espécies;

- b) Determinação das variáveis independentes, das plantações que serviriam de base para os modelos;
- c) Determinação do grau de associação entre as variáveis explicativas e as variáveis de resposta (classes de material combustível);
- d) Ajuste de diversos modelos matemáticos e seleção dos melhores;
- e) Elaboração de gráficos usando os modelos escolhidos para facilitar os usuários na determinação da quantidade de combustível.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 INCÊNDIOS *versus* QUEIMADAS

No Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa, AULETE (1958) definiu incêndio como fogo que lavra extensamente (em matas, searas, prédios, navios, etc.). SÉGUIER (1966), por sua vez, considera incêndio todo fogo que se declara em edifício, navio, seara, mata, etc., e os consome total ou parcialmente, enquanto FERREIRA (1986) em seu dicionário Aurélio, define incêndio como fogo que lavra com intensidade, destruindo e às vezes causando prejuízos. Todas essas definições conduzem à perfeita compreensão do processo denominado como “fogo”.

Na primeira definição, o termo “incêndio” pode estar vinculado tanto à extensão da área afetada pelo fogo como à sua duração, enquanto na segunda, é definido em função do elemento alvo (fogo), mais precisamente. No entanto, no dicionário Aurélio, sua definição envolve sua mais conhecida característica – a intensidade, aliada ao que é mais importante – seus efeitos.

Por outro lado, a idéia de incêndio apresentada no Dicionário Cultural da Língua Portuguesa (EL KHATIB, 1973) é muito superficial e pode conduzir a uma falsa sinonímia da palavra “fogo”, uma vez que define incêndio como “fogo que se alastra com velocidade”.

Com base nos três primeiros dicionários, uma ocorrência de fogo nas áreas com vegetação só recebe a denominação de incêndio quando ao apresentar relativa extensão e intensidade seus efeitos destrutivos forem considerados indesejáveis. Numa queimada, o efeito destruidor do fogo, aos olhos do pequeno agricultor, é interpretado de forma totalmente contrária, desde que o processo de combustão se mantenha nos limites previamente estabelecidos. Assim sendo, queimada pode ser entendida como o uso inteligente do fogo através do controle de sua intensidade, de suas emissões e de seus limites de propagação. Por essa razão, é mais conhecida como “queima controlada” (SOARES, 1977 e 1985) no âmbito da Engenharia Florestal.

De um modo geral, o termo *queimada* tem sido usado de maneira genérica por alguns pesquisadores, dentre os quais destacam-se FEARNSIDE (1997) e KIRCHHOFF (1992).

FEARNSIDE (1995 e 1997) é o pesquisador com maior número de trabalhos sobre as queimadas no Brasil, particularmente na Amazônia, cuja grande maioria trata do efeito estufa associado à questão ocupacional da região. Em uma única publicação deste autor é possível constatar 29 auto-citações de trabalhos abordando temas do gênero, sendo que em nenhum deles o termo *incêndio* pode ser encontrado no título. Seu artifício é fruto de seu grande tirocínio, chegando a confundir os mais leigos, particularmente aqueles que não atuam diretamente na área, uma vez que procura usar sempre o termo *burning* (queima ou combustão), o que o isenta de maiores comprometimentos, pois tanto em uma queimada como em um incêndio o material combustível pode sofrer este processo, durante e após a passagem do fogo.

A exemplo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), KIRCHHOFF (1992) também se refere às queimadas como sendo todo e qualquer tipo de ocorrência de fogo em áreas de vegetação, independentemente de tratar-se de um incêndio ou queima para preparação da terra.

FERREIRA (1986) define *queimada* de uma forma quase que padronizada na maioria dos dicionários - “queima de mato, de vegetação seca ou verde, geralmente com o fim de preparar o terreno para semear ou plantar”, ou “parte da floresta ou de campo que se incendia casualmente ou de propósito”. Interpretar *queimada* sob o prisma desta segunda definição, conduz a uma total anuência às posturas de alguns cientistas como KIRCHHOFF (1992) e FEARNSIDE (1995 e 1997), mais preocupados com o efeito estufa, assunto que pela sua magnitude propicia projeção internacional.

Reunindo o ponto de vista dos pequenos produtores, dicionários e de um bom número de pesquisadores, *queimada* pode ser entendida como a eliminação de restos vegetais com objetivos previamente estabelecidos, seja no sentido de preparar a terra ou renovar a brotação de graminóides. Na concepção dos caboclos da Amazônia, mesmo após ultrapassar os limites preestabelecidos, o termo não muda para *incêndio*,

ou seja, é usado tanto com este significado como em substituição ao termo técnico “queima controlada”.

Os incidentes que envolvem a queima de material vegetal nos limites das florestas são em sua maioria oriundos de queimadas (KIRCHHOFF, 1992), a partir das quais alguns assumem as características de um grande incêndio. Isso, no entanto, não deve conduzir a interpretação de que todos os incêndios têm sua origem nas queimadas (ou queimas para limpeza). Em grande parte, este raciocínio pode ser estendido às demais regiões do país.

A grande diferença entre uma queimada (FEARNSIDE, 1997; KIRCHHOFF, 1992) e uma queima controlada (SOARES, 1985; BATISTA, 1995; RIBEIRO, 1997) reside no fato de que a segunda pode ser entendida como uma ramificação ou uma subdivisão da primeira, dado ao caráter popular que aquela acabou assumindo com a contribuição dos meios de comunicação. Mesmo no sul, a palavra “queimada” é passiva de idêntica interpretação, salvo engano, quando a prática do uso racional do fogo se dá em áreas de floresta plantada, particularmente de *Pinus* spp.

## 2.2 PERIGO DE INCÊNDIO

Sob propícias condições para queimar e disponibilidade de material combustível, mesmo na ausência do homem, haverá sempre um risco de ocorrência e propagação de fogo quando se trata de regiões sujeitas aos raios de tempestades secas ou até mesmo ao controvertido fenômeno de ignição espontânea mencionado por CHEN e SLEEMAN (1993). Além disso, o material combustível, juntamente com outros fatores pode sofrer forte antropismo, resultando em modificação do potencial de ocorrência de incêndios, alteração essa, que pode implicar tanto no aumento como na redução do grau de perigo.

### 2.2.1 Potencializadores

Mesmo que uma área contenha uma vasta quantidade de grandes combustíveis, o fogo não irá consumi-los totalmente, a menos que suficiente

quantidade de combustíveis secos de menores dimensões esteja disponível para desenvolver o fogo (FULLER, 1991) – princípio muito conhecido por aqueles que costumam ficar preocupados quando não encontram gravetos para suas fogueiras nas atividades campestres. A possibilidade de ocorrência e propagação de um incêndio além de estar ligada à fatores ambientais como o fenômeno El Niño, estação do ano, raios, topografia, entre outros, pode ser potencializada pelo uso desordenado do fogo, grandes concentrações de combustíveis em áreas de manejo florestal e por vários outros fatores associados à presença humana.

Com base no relatório apresentado por BARBOSA (1998) é possível obter uma idéia aproximada do risco crescente de incêndios na Amazônia, oriundos da combinação dos fenômenos climáticos com as queimadas. Essas informações, embora se refiram exclusivamente ao incêndio ocorrido em Roraima no ano de 1998, retratam com grande nitidez a realidade amazônica no contexto das “queimadas”, ampla e intensamente questionadas por FEARNSIDE (1995).

Além dos efeitos sociais terem sido criteriosamente avaliados, o relatório em referência procurou ater-se também a uma minuciosa análise das causas, que em suma, são praticamente as mesmas em grande extensão da região. Tratam-se de condições especiais, raras ou comuns, que ampliam as possibilidades de ocorrência de incêndios de grandes proporções, quais sejam:

- Efeitos de seca prolongada como os causados pelo El Niño em 1998 na região;
- Crescimento desordenado de assentamentos humanos dirigidos ou espontâneos; causa de desflorestamento há muito comentada nos questionamentos de PANDOLFO (1990) sobre a ocupação da Amazônia;
- Derrubadas para agricultura em áreas de floresta. BARBOSA (1998) estimou que mais de 100 frentes de desflorestamento contribuíram com o incêndio de Roraima em 98. Iniciativas como essas são muito comuns numa região onde a agricultura migratória é praticada em alta escala, uma vez que o agricultor costuma mudar seu roçado para uma nova área desmatada, sempre que o rendimento de sua safra começa a declinar (KIRCHHOFF, 1992). No entanto, em zonas situadas no imenso emaranhado hidrográfico da bacia

amazônica o grau de perigo parece ser bem menor, conforme demonstra um levantamento preliminar efetuado em uma pequena região (Iranduba) próxima a Manaus (SOUZA, 1998). Nesta pesquisa foram obtidos indicadores mais realistas, distintos dos observados no incêndio de Roraima. Na realidade, os agricultores mais antigos fixados nas referidas zonas costumam fazer rotações em áreas de pousio; apenas os novos ocupantes se empenham em derrubar e queimar trechos de floresta primária, contudo, casos como estes são raros nos limites de Iranduba. Mesmo assim, todos, com exceção dos habitantes das várzeas, utilizam fogo na preparação da terra;

- Queima de restos vegetais ou limpeza do terreno. Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais apresentados por FEARNSIDE (1990) revelam que dos 204.608 km<sup>2</sup> de queimadas na Amazônia, detectados por satélite, apenas 80.000 km<sup>2</sup> ou 39% foram considerados como sendo devastação de florestas densas, visto que as pastagens, capoeiras e cerrados, quando queimados, não contabilizam como desflorestamento. Por essa razão, o autor sugere, que, quando dados confiáveis relativos a desmatamento forem necessários, não se deve tentar obtê-los a partir do número de focos de fogo e nem das estimativas das áreas queimadas captadas num curto período de tempo pelos sensores dos satélites. O referido autor, no entanto, não faz qualquer alusão a melhor forma de obtenção de dados desta natureza.

Pesquisas desenvolvidas por HOLDSWORTH e UHL (1998) demonstram que florestas submetidas à exploração seletiva constituem-se em focos potenciais para grandes incêndios. Cabe ressaltar, conforme citam os autores, que os madeireiros costumam extrair dessas florestas apenas um máximo de quatro a oito espécies por hectare, formando um verdadeiro mosaico de clareiras que facilitam o processo de ignição e propagação do fogo. Principalmente no período das estiagens, a vegetação invasora (de raízes superficiais) sofre rigorosamente com o déficit hídrico, agravado pelas aberturas de clareiras, sendo submetidas a um acelerado processo de desidratação que as torna facilmente inflamáveis. Basta em seguida, apenas uma simples fagulha para que seja dado início ao que corretamente dever-se-ia denominar de incêndio.

Nas demais regiões do Brasil, além das queimas de capim praticadas no cerrado, KIRCHHOFF (1992) acrescenta também as queimas nos canaviais, queimadas de beira de estrada e as queimadas em áreas de desflorestamento. Nesta categoria, inclui certamente as queimas para limpeza mencionadas por SOARES (1979, 1992, 1994 e 1996). MIRANDA *et al.* (1996), por sua vez, salienta que as “queimadas” (incêndios) no cerrado são muito freqüentes e parecem ser responsáveis pela existência deste ecossistema, uma vez que dispõem de argumentos que sustentam a ocorrência de fogo por milhares de anos nesta comunidade vegetal, causado inclusive pela ação humana.

Adotando uma linguagem mais técnica, RODRIGUES (1996) considera os incêndios do cerrado um grande problema para a região do Parque das Emas, pois a adoção de um plano que contempla apenas a construção de aceiros não tem sido eficiente quando existe um grande acúmulo de materiais combustíveis.

A proliferação de trabalhos como os de FERREIRA e COUTO (1981); McTAGUE e BAILEY (1987); AHRENS (1987); SHIMIZU e AMARAL (1987); SANTOS FILHO *et al.* (1992/93); AUBERT e OLIVEIRA FILHO (1994); LOURENÇO (1996) e de ZANON *et al.* (1996) é um reflexo do crescimento do número de áreas reflorestadas com espécies exóticas nas regiões centro oeste, sudeste e sul, principalmente com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Estas espécies apresentam grande capacidade de acumular em pouco tempo razoável quantidade de material combustível, enquanto aquelas, maior flamabilidade. Isto, somado à grande densidade demográfica, ampla rede viária e a alta incidência de fumantes, tornam estas regiões mais susceptíveis a grandes incêndios florestais. Por essa razão, as causas de incêndios citadas por SOARES (1985, 1992, 1994, 1996), representam um alerta a respeito do potencial latente de perigo de fogo em praticamente todas as regiões do país, variando de certa forma em função das peculiaridades de cada uma.

Até mesmo na região norte, já em 1958, uma estrada de ferro no município de Bragança-PA era destacada por LIMA (1958) como um referencial para estudos sobre queimadas, esquecendo o autor de reservar àquela ferrovia uma maior atenção no que



dizia respeito as suas potencialidades de risco de incêndio. Talvez porque sua intenção fosse estudar apenas os efeitos do fogo e não propriamente as causas.

### 2.2.2 Minimizadores

Visto que, na maior parte dos casos, os potencializadores acabam tomando-se agentes causais, e que, muitas vezes, algumas áreas florestais têm que conviver com situações iminentes de risco, devido ao preço do “progresso”, planos de proteção conforme preconiza SOARES (1985, 1996), tornam-se indispensáveis para garantir ao patrimônio florestal uma máxima redução do perigo de incêndio.

Como grande parte dos fatores que ampliam as probabilidades de ocorrência e rápido alastramento do fogo são não-erradicáveis, a preservação das florestas ou de áreas com grandes formações vegetais não pode prescindir de um sistema de proteção contra incêndios. SOARES (1985) descreve algumas formas de redução do potencial de risco de incêndio abordando a prevenção contra fogo sob duas vertentes: uma atuando diretamente sobre o comportamento do homem e outra sobre o ambiente da floresta. No segundo caso, providências do tipo construção de aceiros, açudes e cortinas com espécies de baixa flamabilidade, podem ser reforçadas por queimas para redução de material combustível, empregadas em significativa escala em países como Chile, Estados Unidos, Canadá e Austrália. No Brasil esta prática foi experimentada também por BATISTA (1995) e RIBEIRO (1997), tornando-se um referencial para novos ensaios em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus*, respectivamente. Em Portugal, embora o fogo controlado já tenha sido praticado em 1836 para reduzir os riscos de incêndio, encontra nos dias atuais uma ampla variedade de aplicações, dentre as quais BOTELHO (1994) destaca: gestão dos combustíveis para a alteração da composição da vegetação, melhoria do habitat para a vida silvestre, manipulação da qualidade da forragem e aplicações na silvicultura.

BURESTI e SULLI (1983) definem fogo controlado ou prescrito, como o uso legal do fogo em uma área delimitada, sob condições meteorológicas e de combustível conhecidas, visando a obtenção de resultados úteis.

O uso do fogo controlado pode ter inúmeras finalidades, dentre as quais, cabe relacionar:

- Eliminação de restos de exploração. CAMPAÑA (1990) relata que no Chile cerca de 71.500 ha são preparados por ano, para atividades de florestamento e reflorestamento com o auxílio desta técnica;
- Favorecimento da regeneração natural e eliminação de espécies concorrentes (FLORES GARNICA e BENAVIDES SOLORIO, 1995 ; BURROWS, 1985);
- Incremento da biodiversidade pela pirodiversidade ou modificação dos mosaicos de agrupamentos vegetais (MOLINA TERREN, 1993);
- Eliminação de arbúsculos que surgem após desbaste em plantios de *Pinus* (BURROWS *et al.*, 1989);
- Redução de material combustível conforme destacam DE RONDE *et al.* (1990); BUCKLEY (1992); COLLETT *et al.* (1993); BATISTA (1995); GRANT *et al.* (1997a); RIBEIRO (1997) e GRANT *et al.* (1997b).

Queimas controladas nas florestas mistas de coníferas em Sierra Nevada nos Estados Unidos são freqüentemente efetuadas para satisfazer os seguintes propósitos: redução do risco de incêndios, melhoria do habitat para a fauna silvestre, manipulação do banco de sementes e emulação de processos naturais de queima, conforme KAUFFMAN e MARTIN (1989).

DE RONDE *et al.* (1990) descrevem oito aplicações da queima controlada, dentre as quais controle de doenças e melhoria do acesso nas plantações industriais de *Pinus*. A redução de material combustível através de queimas controladas, é portanto, a atividade que reserva maior evidência ou destaque num plano de proteção contra fogo nos dias atuais.

“Prescrição e supressão do fogo não são atividades opostas nem contrastantes, podendo inclusive serem empregadas de forma conjunta para satisfazer necessidades ligadas à garantia da qualidade do ambiente florestal” (BURESTI e SULLI, 1983).

Maiores detalhes sobre a prática da queima controlada são apresentados por SOARES (1985), o qual fornece pormenores a respeito do emprego do fogo na redução de grandes acumulações de material combustível.

### 2.3 COMBUSTÍVEIS FLORESTAIS

FULLER (1991) e GAYLLOR (1974) descrevem material combustível como sendo qualquer material orgânico, tanto vivo como morto, no solo, sobre o solo ou no ar, passivo de ignição e queima. Na realidade, todo material constituído por carbono tetravalente está sujeito a entrar em combustão, desde que, seja submetido à adequada temperatura e tenha atingido baixos teores de umidade e respectivo ponto de ignição.

Além da consideração biológica do caráter vivo ou morto, os combustíveis florestais podem ser classificados em lenhosos ou herbáceos, anuais ou perenes (PYNE, 1984).

Fitomassa ou combustível total de um sítio é a quantidade de matéria vegetal, viva ou morta, que se encontra sobre o solo mineral (CHANDLER *et al.*, 1983). O mesmo autor apresenta também uma definição compacta do referido termo : é qualquer substância ou composto susceptível a ignição e combustão.

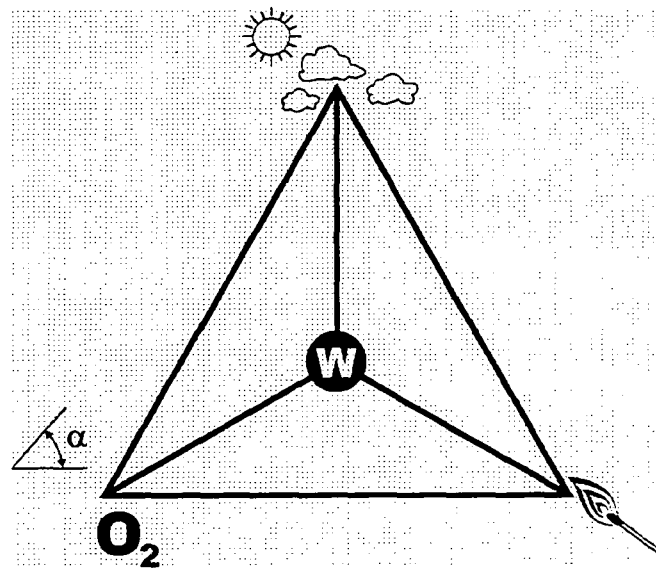
RIBEIRO (1997) procurou ser mais objetivo; ao comentar sobre o assunto definiu material combustível como todo e qualquer tipo de matéria orgânica, viva ou morta, encontrada no ambiente.

De acordo com CHANDLER *et al.* (1983), quantidade de combustível potencial é a quantidade de material capaz de ser consumida pelo incêndio de mais alta intensidade que poderia ocorrer em um determinado sítio, embora virtualmente (na realidade) todos os incêndios florestais nunca chegam a consumir tal quantidade, por isso a definição de “combustível disponível”: quantidade de material em condições de ser consumida por uma queima ou um incêndio que venha a ocorrer sob específicas condições do tempo. Segundo SOARES (1977) trata-se de uma das mais importantes variáveis relacionadas ao comportamento do fogo.

A importância do material combustível é tão enfatizada no âmbito da prevenção e controle dos incêndios florestais que seria possível construir uma pirâmide (Figura 1) para destacá-la, bastando apenas a junção de três triângulos, contendo todos eles material combustível em um de seus vértices, ou seja, 1- triângulo do fogo (calor, oxigênio e combustível), 2- triângulo do comportamento do fogo

(condições do tempo, topografia e material combustível) e 3- triângulo do regime de fogo, (agente de ignição, material combustível e condições para queimar). Um ou mais dos referidos triângulos podem ser encontrados em abordagens feitas nas publicações de GAYLOR (1974), BROWN e DAVIS (1973), BURGAN e ROTHERMEL (1984), SOARES (1985), GOLDAMMER (1990) e principalmente MARTIN (1994).

FIGURA 1. COMBINAÇÃO DE TRIÂNGULOS RELATIVOS A OCORRÊNCIA E PROPAGAÇÃO DO FOGO



A velocidade de propagação, um dos mais importantes parâmetros do comportamento do fogo, pode apresentar grandes variações, dependendo de vários fatores, dentre os quais destacam-se as características do combustível que está sendo consumido. Nela influem as propriedades físicas do material (quantidade, continuidade, distribuição vertical, densidade e tamanho das partículas), a qualidade dos mesmos (constituintes químicos e poder calorífico) e sua condição em relação ao conteúdo de umidade (JULIO, 1996). COUNTRYMAN (1964), destaca as três primeiras propriedades físicas como principais atributos da carga de combustível mais importante de uma floresta.

### 2.3.1 Classificação

O combustível total de uma floresta é geralmente identificado como um conjunto ou complexo combustível, cuja flamabilidade é determinada pelas características físicas e químicas dos diferentes componentes e interação de seus respectivos efeitos (GAYLOR, 1974).

Este conjunto (estoque ou complexo) combustível é definido por CHANDLER *et al.* (1983) como uma associação de materiais vegetais vivos ou mortos de várias bitolas e formatos que se estende do solo mineral ao topo do dossel, sendo seu mais elevado limite fisiológico calculado pela equação [1], onde "A" é a idade do povoamento em anos e "W" o peso total de fitomassa em Mg/ha.

$$W = 26 \cdot \sqrt{A} \quad [1]$$

De um modo geral trabalhos na área de incêndios florestais relacionados a materiais combustíveis recorrem sempre a uma ou mais formas de classificação, quais sejam:

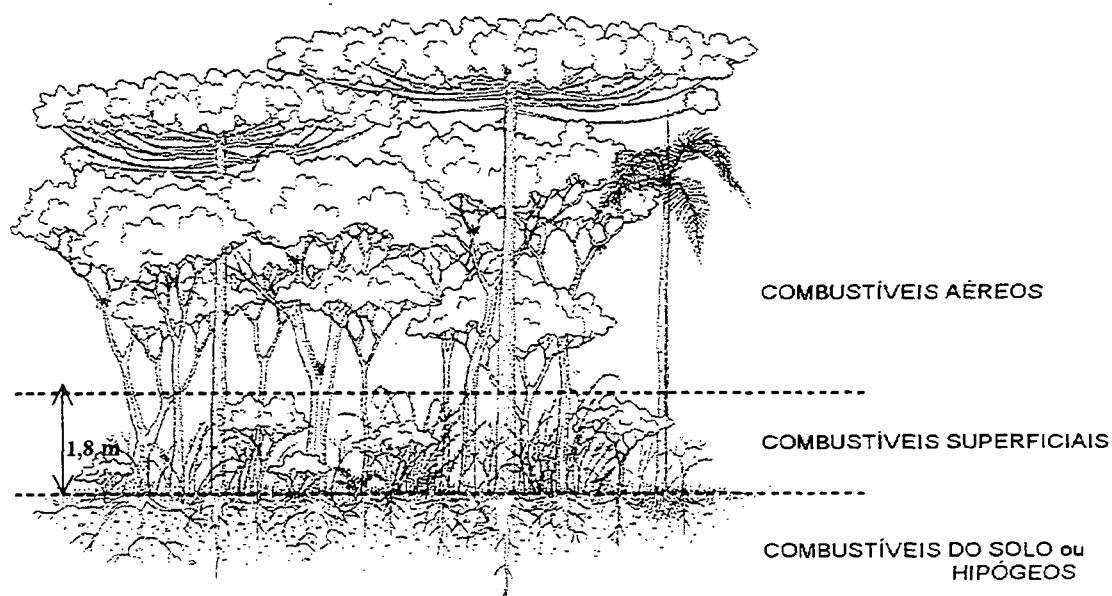
i. Estado do material - Autores na grande maioria, procuram no mínimo separar os diferentes combustíveis em vivos e mortos. Por isso BRADSHAW *et al.* (1984) classificam os componentes de um estrato combustível da seguinte forma: mortos - aqueles nos quais o conteúdo de umidade é controlado exclusivamente pelas condições do ambiente; vivos - quando o conteúdo de umidade é controlado pelos processos fisiológicos das plantas. GAYLOR (1974) e DE RONDE *et al.* (1990) usam estes termos, porém, SOARES (1985) optou por descrever combustível vivo como combustível verde e combustível morto como seco;

ii. Posição do estrato - Embora GAYLOR (1974) represente os combustíveis florestais em dois níveis: do solo e do ar, traduzidos e adotados por SOARES (1985) como superficiais e aéreos, muitos autores separam os combustíveis florestais (Figura 2) em 3 níveis: de solo, superficial e aéreo, como é o caso de BROWN e DAVIS (1973), PYNE (1984) e FULLER (1991). Tais níveis são identificados por PYNE (1984) como "estratos" integrantes do estoque de combustível e não como "cama" (*fuelbed*), termo adotado pela maioria dos pesquisadores estrangeiros que se dedicam ao estudo dos incêndios florestais;

iii. Tipo – Conforme já mencionado, na classificação apresentada por SOARES (1985) os combustíveis florestais podem também ser separados em perigosos, semi perigosos e verdes. Esta classificação difere daquela que separa os combustíveis em vivos e mortos ao propor uma subdivisão destes últimos com base em algumas substanciais diferenças existentes entre os mesmos. Muito embora perigoso ou semi perigoso possa ser estendida também a alguns tipos de combustível vivo como a folhagem de certas coníferas e de monocotiledôneas como a palmeira de bacaba (*Enocarpus bataua*) que ocorre na Amazônia;

iv. Dimensões – Forma de classificar os combustíveis principalmente lenhosos levando em consideração geralmente a espessura. Dada a importância desta característica, um grande número de modelos de comportamento do fogo prescindem deste tipo de classificação, indispensável também na realização da maioria dos inventários de materiais combustíveis.

FIGURA 2. CLASSIFICAÇÃO DOS ESTRATOS DE MATERIAIS COMBUSTÍVEIS FLORESTAIS



O estrato dos combustíveis superficiais reveste-se de especial importância em relação aos demais, visto que é através dele que os incêndios geralmente se originam e se propagam (PYNE, 1984). A biomassa da vegetação baixa do sub-bosque é

freqüentemente o maior componente dos incêndios superficiais, podendo inclusive atuar como escada de fogo e dar início a um incêndio de copa (STERGAS e ADAMS, 1989).

A avaliação de combustíveis florestais propriamente dita, envolve processos de caracterização, classificação e inventário (PYNE, 1984).

### 2.3.2 Caracterização

Características como tipo, arranjo e quantidade, relativas aos materiais combustíveis, são descritas por BROWN e DAVIS (1973), CHANDLER *et al.* (1983) e SOARES (1985). O tipo diz respeito à classificação em vivo ou morto, melhor entendida quando SOARES (1985) separa os combustíveis florestais em três tipos: perigosos, semiperigosos e verdes.

BRADSHAW *et al.* (1984) destacam compactação, continuidade, uniformidade, arranjo e distribuição das partículas de combustíveis e quantidade ou carga de combustível como propriedades que afetam a combustão e o comportamento do fogo.

O arranjo pode ser entendido como o produto da distribuição vertical e horizontal e da compactação dos combustíveis (BROWN e DAVIS, 1973; SOARES, 1979 e PYNE, 1984).

Comumente, os estratos de material combustível de uma floresta são heterogêneos e descontínuos (CHANDLER *et al.*, 1983). Mesmo assim, a continuidade ou distribuição espacial dos combustíveis é considerada um fator primário de influência no comportamento do fogo. Exemplo disso são as “escadas de fogo”, muito comuns em plantios de *Pinus*. Segundo PYNE (1984), a continuidade recebe esta denominação quando existe integração entre estratos combustíveis e o meio de integração é constituído de combustível perigoso. SOARES (1985) refere-se a essas “escadas” como fator importante na transformação de incêndios superficiais em incêndios de copa. Por isso a poda de árvores coníferas também é considerada uma prática de caráter preventivo.

Aceiros e cortinas quebra-fogo são recursos que podem ser usados como forma de quebrar a continuidade horizontal dos combustíveis, dificultando o avanço do fogo (BROWN e DAVIS, 1973).

Segundo GAYLOR (1974), compactação diz respeito ao número de partículas individuais de combustíveis por unidade de volume, ou seja, ao grau de aproximação entre as mesmas, limitando a circulação de ar e comprometendo o processo de combustão. As propriedades físicas discutidas por BRADSHAW *et al.* (1984) exercem papel fundamental no processo de compactação, pois o tamanho e a forma da partícula de combustível afetam o potencial de ignição e a velocidade de troca de umidade com o ambiente. Segundo estes pesquisadores, a característica química destas partículas é tão importante quanto a superfície específica (área da partícula / volume), determinando a variação da densidade de carga no estrato. Se por um lado, partículas com alta relação área / volume facilitam a combustão (BRADSHAW *et al.*, 1984), favorecem também a compactação, o que conduz a uma situação tipicamente paradoxal, pois a compactação limita a circulação de ar nos combustíveis, dificultando o processo de queima. Por isso, ao contrário da continuidade, a compactação desfavorece a propagação do fogo (GAYLOR, 1974).

Características das partículas como tamanho e forma influenciam as contínuas trocas de umidade com o ambiente. Esta troca, além de depender do arranjo das partículas, é estritamente dependente das dimensões do combustível, que, como já foi dito, interferem nessa característica. Segundo PYNE (1984), esse fluxo de umidade afeta todos os aspectos do comportamento do fogo que estão relacionados à sua propagação e intensidade.

Produto das ocorrências meteorológicas passadas e presentes, a umidade do combustível representa portanto, o primeiro fator a ser considerado na avaliação da capacidade dele entrar em combustão (GAYLOR, 1974). Tal característica nunca fica estável, pois seus níveis estão sempre mudando em decorrência das variações de temperatura, umidade do ar e radiação solar. O tempo requerido para que o combustível atinja o equilíbrio com a umidade atmosférica é definido dentro de períodos de tempo de resposta (*timelag*), durante os quais, o combustível ganha ou perde 2/3 de seu percentual de umidade (FULLER, 1991).

O sistema Behave para prognose do comportamento do fogo é programado para receber entrada direta de dados sobre combustíveis mortos classificados pelo



*timelag* (BURGAN e ROTHERMEL, 1984). Essas classes, segundo BRADSHAW *et al.* (1984), resultam da estratificação em 1, 10, 100 e 1000 horas de *timelag*, feita para os combustíveis mortos. Os vivos são estratificados pelos tipos vegetais (arbustos, ervas ou gramíneas).

Os tipos e as quantidades de combustível influem de modo distinto no potencial de propagação dos incêndios. TRABAUD (1974) reconhece que a avaliação precisa do comportamento provável de um eventual incêndio florestal depende, em parte, da aptidão do combatente de reconhecer e descrever qualitativa e quantitativamente, certas características físicas e químicas do material.

### 2.3.3 Avaliação

CHANDLER *et al.* (1983) descreve nada menos que cinco formas de avaliação do estoque ou carga de material combustível florestal :

- Por estimativa direta – feita por especialistas com muita experiência com incêndios em condições similares. Nos Estados Unidos, um sistema nesses moldes permaneceu em uso ao longo de aproximadamente 40 anos;
- Com base na vegetação – trata-se de um método que não requer um especialista para colocá-lo em prática, desde que sejam usados padrões de comparação compatíveis com os ambientes florestais com os quais se esteja familiarizado.
- Através de modelos – neste caso é utilizada uma representação matemática de um estrato, envolvendo todas as variáveis necessárias para computar as características de comportamento do fogo selecionadas;
- Utilizando séries fotográficas – método que tem sido utilizado pelo Serviço Florestal Americano e outras instituições para avaliar combustíveis florestais naquele país (MAXWEL e WARD, 1981);
- Por meio de chaves - CHANDLER *et al.* (1983) apresenta uma chave dicotômica como a do ANEXO I para determinar o potencial de incêndio de copa, publicada na versão original por FAHNESTOCK (1970).

### 2.3.4 Fatores que regem a carga de combustíveis

A quantidade ou carga de combustíveis florestais é uma das propriedades mais pesquisadas em relação a esses materiais, uma vez que constitui um processo dinâmico resultante de fenômenos (deposição e decomposição) que geralmente ocorrem de forma simultânea, em níveis raramente iguais. Pesquisas, no entanto, acusam que em um dado momento esses níveis podem se equivaler. Nos sítios do Piedmont, Estados Unidos, por exemplo, o peso de equilíbrio do material contido no piso florestal é atingido em aproximadamente 35 anos, ocasião em que a carga estabiliza-se em torno de 21 Mg/ha (SOARES, 1977).

BRADSHAW *et al.* (1984) interpretam carga como sendo a massa de combustível por unidade de área de um determinado estrato que, dividida pelo seu volume, resulta na densidade de carga “ $\delta_w$ ”.

A quantidade e distribuição dos combustíveis pode variar consideravelmente entre e dentro dos povoamentos (BROWN, 1974). Esta variação pode atingir níveis que vão de 2 a 10 Mg/ha para algumas gramíneas, até 200 a 1200 Mg/ha em áreas com restos de exploração (FULLER, 1991).

Segundo McARTHUR e CHENEY (1966), a quantidade de material combustível afeta todos os aspectos do comportamento do fogo, tais como velocidade de propagação, intensidade, altura das chamas, altura de crestamento, formação de incêndio de copa, lançamento de fagulhas e também o conjunto de danos resultantes da ação do fogo.

“A carga de combustível sob uma plantação de *Pinus* se constitui basicamente de combustíveis verdes, incluindo gramíneas, ervas e plantas rastejantes além do material morto do piso florestal, principalmente serapilheira e camadas de fermentação; a massa relativa à vegetação baixa, representada pelos combustíveis verdes é estritamente relacionada a área basal e idade do povoamento” (SOARES, 1977).

Para os técnicos florestais, a queda de resíduos das árvores sobre o piso florestal apresenta aspectos desejáveis e indesejáveis. Desejável porque representa uma fonte de nutrientes a serem reciclados no ecossistema mas, por outro lado, quando acumulam-se em grandes quantidades promovem indesejáveis riscos de incêndio e

obstruções ao trânsito de pessoas, além de reduzir a velocidade de ciclagem de nutrientes (BROWN e SEE, 1981). Ainda segundo estes autores, os conceitos de acumulação e sucessão de combustíveis são importantes para o estabelecimento de estratégias de manejo destes materiais.

Segundo PYNE (1984), os mecanismos responsáveis pela acumulação e decomposição dos combustíveis florestais são de caráter predominantemente biológico. No entanto, na maioria dos sistemas, os padrões de combustível são produtos da atividade antrópica, incluindo as práticas que envolvem fogo,- acrescenta o autor. Entretanto, KAUFFMAN e MARTIN (1989) destacam que a exclusão do fogo em alguns ecossistemas dos Estados Unidos tem provocado alterações atípicas nas funções e estruturas desses ambientes, resultando inclusive em incrementos da carga de material combustível. Tais incrementos podem produzir mudanças indesejáveis, ou seja, incêndios superficiais de baixa intensidade podem ser substituídos por eventos de características catastróficas.

Enfim, a carga de material combustível de uma floresta é resultado da interação entre deposição e decomposição, processos que governam as variações dos mesmos ao longo do tempo, por sinal, amplamente discutidos em âmbito mundial em trabalhos de solos, ecologia e fisiologia vegetal, principalmente.

#### a) Taxa de deposição

Dois tipos de materiais acumulam-se gradativamente no ambiente das florestas: fitomassa e correspondente necrofitomassa, tanto no dossel como no piso da floresta. Os materiais mortos do estrato superior tendem a cair em resposta aos processos ecofisiológicos, da mesma forma que os do estrato inferior tendem a morrer com o adensamento do dossel. Disso tudo resulta uma produção contínua de materiais que, dependendo da velocidade de decomposição, podem atingir níveis tão altos que não somente tendem a dificultar os trabalhos de manejo como também oferecem altíssimos riscos a esses ecossistemas, no que diz respeito a ocorrência e propagação de incêndios florestais. Por isso, altas quantidades de material vivo geram duas preocupações fundamentais: maiores acúmulos de material morto, e maior potencial de

perdas, pois, dependendo do caso, a carga de materiais mortos pode produzir um fogo tão intenso capaz de comprometer totalmente a fitomassa do ambiente.

Fatores relacionados às espécies e ao ambiente controlam a produção florestal, e por conseguinte a produção de materiais passivos de combustão. A deposição e a decomposição destes materiais também recebem influência de grande parte destes fatores. Dentre alguns fatores que influenciam a deposição CARPANEZZI (1980) relacionou as características ambientais, características do ecossistema, fator tempo e características da espécie (conífera ou folhosa). COLE e RAPP (1980), observaram em suas pesquisas que as florestas de coníferas produzem menos serapilheira do que florestas latifoliadas.

Fatores representados pelas condições climáticas características do solo e tratos culturais podem interferir na quantidade de serapilheira depositada (POGGIANI *et al.*, 1987).

A queda da serapilheira pode ser o resultado da formação de uma camada de abscisão, de fatores mecânicos ou ambos fatores ou ainda da morte do órgão, fato que pode estar ligado ao grau de desenvolvimento da árvore que, por sua vez, depende da idade (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979).

Segundo BRAY e GOHRAM (1964), a deposição de serapilheira tende a aumentar até a idade em que as árvores atingem a maturidade ou ocorre o fechamento do dossel, após o que, ocorre uma estabilização ou até mesmo um ligeiro decréscimo.

A acumulação de combustível sobre o piso florestal não depende somente de fatores óbvios como espécie, idade e densidade, mas também é influenciada em altíssimo grau por fatores climáticos como temperatura e umidade, os quais determinam também a taxa de decomposição do material após atingirem a superfície do solo (CHANDLER *et al.*, 1983). Grande parte destes materiais mortos nada mais são do que resíduos oriundos de operações florestais de rotina (poda ou desbaste) ou simplesmente do processo natural de desrama ou raleio por competição entre as árvores (HAZARD e PICKFORD, 1978). O carregamento da liteira em plantações florestais é inversamente proporcional à intensidade dos desbastes e a sua composição pode ser feita por até 80% de folhas e 15% de galhos (BRAY e GORHAM, 1964).

O crescimento rápido de certas árvores pode provocar significativas mudanças no ambiente florestal e por conseguinte ser influenciado por estas mudanças - exemplo típico é o da desrrama natural, decorrente da redução dos níveis de luminosidade no interior dos conjuntos arbóreos ou povoamentos florestais (KOEHLER, 1989). Em muitos tipos de florestas, esse processo pode ser considerado como o principal responsável por grandes acúmulos de material combustível.

Acumulação implica no incremento da carga de combustíveis associado ao perigo de incêndio ao longo do tempo enquanto sucessão refere-se as mudanças de características em geral, tais como carga, distribuição de tamanho e proporção entre material vivo e morto, incorporando os conceitos de acumulação e decomposição (BROWN e SEE, 1981). De acordo com os referidos autores tanto os combustíveis vivos como os mortos, de pequenas ou grandes dimensões podem seguir diferentes padrões sucessionais.

Baseados em trabalhos de vários autores, SCHIMMEL e GRANSTRÖM (1997) assumiram que a sucessão de combustíveis provocada pela presença do fogo, pode produzir em um ano após seu uso, quantidades de combustíveis mortos e vivos capazes de favorecer fogos de alta intensidade.

Com um fogo de baixa intensidade a vegetação do sub-bosque pode perecer sem necessariamente ser consumida. A partir de então o que era combustível vivo torna-se combustível morto, liberando a folhagem sobre o piso da floresta. Na concepção de AGEE (1983) o fogo pode proporcionar cargas de combustível bem mais elevadas do que poderiam ser encontradas no mesmo período em povoamentos não atingidos pelo fogo, ou seja, o fogo pode favorecer o acúmulo de material combustível sob um povoamento florestal.

Em uma operação de queima, KAUFFMAN e MARTIN (1989) conseguiram reduzir o material combustível em 92%, demonstrando que é possível obter grande variação da carga de combustível entre queimas controladas.

Segundo McCRAW *et al.* (1996), a deposição de combustíveis de reduzidas dimensões sobre o piso florestal pode ser explicada empiricamente pelo modelo [2],

$$X_T = X_{SS} (1 - e^{-kz}) \quad [2]$$

onde  $X_T$  é o peso do combustível acumulado no período  $z$ ,  $X_{SS}$  é o peso do combustível acumulado sob condições estacionárias e  $k$  é a constante relativa à taxa de decomposição. Os mesmos autores apresentam também um modelo [3] para estimar o acúmulo de combustíveis “Y” através da espessura “X” da liteira de *Eucalyptus diversicolor*, cujo  $R^2$  foi de apenas 0,69. Isto 10 anos após a realização de uma queima controlada.

$$Y = 3,64 + 0,34.X \quad [3]$$

Segundo MILLER (1984), existe de um modo geral, correlação entre a massa (ou carga) da liteira e a taxa de crescimento de florestas manejadas, independentemente da espécie.

Estudando a produção de acículas em plantações de *Pinus palustris* na Carolina do Sul, E.U.A., WIEGERT e MONK (1972) chegaram a observar um acúmulo de 0,6 Mg/ha/ano aos 7 anos, 3,4 aos 11 anos e 5,2 aos 13 anos.

GALLARDO *et al.* (1998) observaram em florestas decíduas das montanhas de Sierra de Gata que o suprimento de material da liteira depende fortemente dos fatores fenológicos, sendo a extensão do período de atividade biológica afetada principalmente pelas baixas temperaturas do inverno e pela seca do verão. A contribuição da vegetação do piso florestal não foi levada em consideração, dada a sua relativa insignificância.

CAÑELLAS *et al.* (1996) quantificaram a deposição de serapilheira em um período de 2 anos em povoamentos de carvalho submetidos a desbaste leve, moderado e pesado, confrontados com o povoamento controle e concluíram não haver diferença entre os dois primeiros tratamentos e este, pois a maioria das árvores removidas encontrava-se no estrato dominado. Quanto ao desbaste pesado, verificaram grande diferença na deposição de serapilheira em relação ao controle e demais tratamentos (4,53 Mg/ha/ano contra 2,18). Eles também constataram uma influência das condições meteorológicas sobre esse processo, particularmente do ritmo de queda.

Ao estudar duas espécies de *Pinus* tropicais (*Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa*) POGGIANI (1985) não obteve boa correlação entre o acúmulo de resíduos no piso florestal e qualquer variável climática.

A quantificação de combustíveis superficiais é indispensável para a predição do comportamento do fogo através de modelos de propagação e intensidade do fogo. Nesse sentido, BROWN e BEVINS (1986) determinaram a quantidade de combustíveis contidos na liteira, combustíveis mortos entre 0 e 7,5 cm e combustível vivo de sub-bosque por tipo de cobertura e grupo de flamabilidade.

CAREY *et al.* (1982), trabalhando em povoamentos de *P. radiata*, a maioria entre 18 e 21 anos de idade, desenvolveram um modelo para predição de matéria orgânica do piso florestal contendo variáveis relativas a fatores climáticos e fisiográficos, macronutrientes da folhagem e densidade do povoamento, demonstrando suas influências. Os autores mencionam a possibilidade do crescimento das árvores e a decomposição da liteira serem afetados pelos mesmos fatores, porém, a diferentes níveis.

FINÉR (1996), pesquisou deposição de serapilheira em *P. silvestris*, usando coletores de 25 x 25 cm distribuídos sistematicamente em povoamentos adubados e não adubados. O autor observou uma média anual de deposição de acículas em torno de  $1,477 \pm 0,175$  Mg/ha, correspondente a 74 % de todo material que cai no piso da floresta, constatando que grandes diferenças ocorrem entre anos. Ele observou ainda forte correlação entre a quantidade anual de deposição de acículas e a soma da temperatura das estações de crescimento. Com relação a deposição de materiais diferentes da folhagem, o autor não observou qualquer influência da adubação em nenhum dos nove anos de estudo.

CARPANEZZI (1980) obteve em seu trabalho com eucalipto, valor de 0,231 Mg/m<sup>2</sup> para a relação entre a deposição anual de folheto e a área basal, valores bem próximos aos observados pelo autor em plantações de *E. saligna* em Piracicaba, SP.

CUTINI (1994) observou que a produção de serapilheira em um povoamento de *Quercus cerris*, de 40 anos, em conversão para alto fuste e outro não submetido a nenhuma intervenção foi de 4,0 Mg/ha/ano e 5,8 Mg/ha/ano, respectivamente, sendo que no segundo caso 62% eram constituído pelo folheto. Segundo o mesmo autor a proporção alta de folheto no total de serapilheira é indicativo da imaturidade do povoamento.

LOPES e GARRIDO (1986), estimaram em um talhão de *Pinus elliottii* com 14 anos, 36,8 Mg/ha de acúmulo de serapilheira, enquanto que no Cerrado contíguo a serapilheira acumulada totalizava apenas 21,7 Mg/ha. A área pesquisada localizava-se no Estado de São Paulo.

Pesquisando plantações de *P. banksiana*, KRAUSE (1998) observou rápida acumulação de matéria orgânica durante o período de crescimento das árvores, que estacionou porém em torno de 45 Mg/ha aos 12 anos. Em contraste, este processo se manteve contínuo em plantações de *Picea mariana* com a mesma idade e sob idênticas condições, atingindo inclusive uma carga de 60 Mg/ha. O autor atribui esta diferença a alta carga de vegetação de cobertura do piso florestal e matéria orgânica resistente à decomposição, remanescente da plantação anterior; além disso, características químicas, importantes condicionantes da decomposição, foram menos favoráveis a este processo para a citada espécie.

Antes de uma operação de queima, KAUFFMAN e MARTIN (1989), registraram uma carga de combustível florestal variando de 130,9 a 154,5 Mg/ha em um dos sítios estudados e 124,3 a 163,9 Mg/ha em um outro sítio. O combustível do piso florestal variou entre 62 e 84% da carga total; tratava-se de uma cobertura florestal em segunda rotação com 70 anos de idade.

Em florestas de eucalipto BAKER (1983) observou uma deposição de serapilheira de 2,58 a 3,86 Mg/ha/ano para *Pinus radiata* e 3,88 a 6,86 Mg/ha/ano. As acículas mortas representaram o principal componente da serapilheira com 74 a 81%, enquanto o material lenhoso constituiu um total inferior a 8%. No entanto para eucalipto este componente contribuiu com 29 a 44% do total depositado no piso florestal. O folheto também foi o maior componente da deposição em eucalipto, contribuindo com 36 a 63% do total. A vegetação baixa era muito rara nas parcelas de pinus e portanto sua contribuição na deposição foi desprezível, enquanto sob o eucalipto, de modo contrastante, um considerável desenvolvimento deste estrato chegou a contribuir com 18% da deposição de serapilheira sobre o piso florestal. Segundo o mesmo pesquisador, a deposição em floresta de eucalipto tende a aumentar no período do verão, enquanto nas plantações de pinus apresenta dois períodos de



máxima deposição, um no início da primavera e outro entre o final do verão e início do outono, ou seja, existe uma influência estacional. Ele acrescenta que a literatura sobre serapilheira de eucalipto é muito vasta e registra valores de deposição que vão desde 1,5 Mg/ha/ano em florestas secas de baixa produtividade até 10,0 Mg/ha/ano nas de maior produtividade.

TREVISAN (1992) estudou a influência da qualidade do sítio sobre acúmulo de material orgânico no piso de povoamentos de *P. taeda* e sobre a espessura do horizonte orgânico e observou que esta espessura depende da deposição de material proveniente das plantas, da atividade dos organismos decompositores e do desenvolvimento de raízes nesse material.

O sítio é um fator que tem recebido muita atenção de vários pesquisadores interessados em determinar o seu grau de influência na produção florestal. Assim como outras variáveis, a deposição de serapilheira pode estar relacionada a esta produção e por conseguinte ao sítio. Neste sentido, KOEHLER (1989) desenvolveu um trabalho de pesquisa chegando a conclusão que o sítio não influenciou na produção de serapilheira de *Pinus taeda* no primeiro ano de observação. No entanto, entre os sítios bom e ruim, identificou diferença em relação ao total produzido no segundo ano.

De acordo com TREVISAN *et al.* (1987), o acúmulo de material orgânico e a velocidade de decomposição dependem da qualidade do sítio, a qual influencia também na produção de biomassa. Espessuras de 8, 13 e 12 cm para sítios bom, médio e ruim de *Pinus taeda*, respectivamente, foram observadas por esta equipe que atribuiu a diferença entre o bom e os demais às condições mais favoráveis de decomposição no primeiro e a grande invasão de raízes finas no sub-horizonte F dos demais sítios. Os autores mencionam também a possibilidade do crescimento das árvores e a decomposição da liteira serem afetados pelos mesmos fatores, porém, a diferentes níveis.

FLORENCE e LAMB (1974) concluíram que o tipo de solo pode exercer um efeito mais acentuado sobre a acumulação de serapilheira em *P. radiata* do que propriamente na produtividade do sítio. Eles concluíram que as variações de carga estão mais associadas às taxas de decomposição do que às taxas de deposição de

serapilheira, porém não conseguiram determinar qual das propriedades do solo (química ou física) atuava de forma mais incisiva sobre o referido processo .

Um estudo realizado por PILLERS e STUART (1993) revelou taxas de deposição de serapilheira variando entre 3,12 a 4,69 Mg/ha/ano em povoamentos de sequoia, ao mesmo tempo em que as taxas de decomposição eram da ordem de 0,273 a 0,405 Mg/ha/ano.

Acumulação implica no incremento da carga de combustíveis associadas ao perigo de incêndio ao longo do tempo e sucessão refere-se às mudanças de características em geral, tais como carga, distribuição de tamanho e proporção entre material vivo e morto, incorporando os conceitos de acumulação e decomposição. Por isso tanto os combustíveis vivos como os mortos de pequenas ou de grandes dimensões podem seguir diferentes padrões sucessionais (BROWN e SEE, 1981).

O incremento na deposição de serapilheira acompanha o desenvolvimento do talhão até o ponto em que as árvores se tornam maduras, após o que ocorre uma estabilização (BRAY e GORHAM, 1964).

#### b) Taxa de decomposição

A decomposição dos detritos no piso florestal, além de depender da atividade microorgânica do solo também depende do tipo de floresta, no que tange a sua composição arbórea, além de variar com a idade do povoamento, estação do ano e alguns fatores climáticos. Este processo exerce grande influência nas quantidades ou cargas de resíduos vegetais que se formam no ambiente das florestas, visto que, para uma mesma espécie, pode apresentar maior ou menor influência dependendo da variação das condições ambientais, ditadas muitas vezes pela estrutura, idade ou grau de intervenção que esses ecossistemas geralmente sofrem. Pesquisadores das mais diversas partes do mundo têm dedicado longos períodos de trabalho em estudos relativos à dinâmica de acumulação e decomposição dos resíduos de ecossistemas vegetais.

O piso florestal consiste das camadas L, que é formada pelo material recentemente depositado, F formada por materiais que começam a perder a cor e se

fragmentar devido aos fatores climáticos e a atividade microbiana e H<sub>2</sub> considerada como camada de umificação, onde a decomposição se encontra mais avançada (OLSON, 1963).

SACKETT e HAASE (1992) referem-se a taxa de decomposição como sendo a proporção entre o material em condições estacionárias e a deposição anual. Ao citarem JENNY *et al.* (1949)<sup>1</sup>, eles acrescentam que no trópico úmido as taxas de decomposição podem atingir valor igual a 1,0, significando que a decomposição ocorre no mesmo ano da deposição.

PILLERS e STUART (1993) verificaram que a decomposição tende a aumentar quando ocorrem acréscimos de umidade e temperatura e que a seca anual de verão da Califórnia nos EUA contribui de forma aparentemente mais expressiva sobre as taxas de decomposição do que propriamente a temperatura.

Segundo YIN *et al.* (1989) o efeito da abertura do dossel da floresta de carvalho sobre a decomposição da liteira não é constante e pode ser função de um ou mais fatores climáticos regionais. Assim sendo, o desflorestamento (exploração) promove um incremento da temperatura superficial do solo, podendo promover a decomposição onde a temperatura do piso sob condições não perturbadas se mantém abaixo do ótimo (altas latitudes) ou pode prejudicar a decomposição, onde a temperatura normal se mantém acima do ótimo (baixas latitudes). O teor de umidade do solo e do piso florestal promovido pela abertura também influenciam o processo de decomposição da liteira de floresta de carvalho.

Correlação entre fatores microclimáticos e a taxa anual de decomposição da liteira de uma floresta natural da China foram observados por ZHANG e LIANG (1995), tendo a umidade do solo se destacado como a melhor variável para a realização da prognose dessa taxa. No entanto, ao estudarem a liteira de quatro diferentes sítios de florestas de clima frio temperado da Tasmânia TURNBULL e MADDEN (1986) concluíram que o conteúdo de umidade existente nas unidades experimentais não limitou o processo de decomposição.

---

JENNY, H.; GESSEL, S. P.; BINGHAM, F. T. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science*, n. 68, p. 419-432, 1949

A serapilheira de folhosas de regiões frias dos Estados Unidos apresenta decomposição mais rápida do que a existente sobre o piso de coníferas, sendo as taxas de decomposição negativamente correlacionadas com a relação C/N e positivamente com a temperatura mínima do ar (EDMONDS, 1980).

EDMONDS (1984) destacou não somente a importância da relação C/N mas também a dos teores de lignina como fatores de influência no processo de decomposição de acículas de “Pacific silver fir” (*Abies amabilis*).

Ao estudarem os efeitos da adubação sobre a decomposição de acículas da liteira de *Picea abies* e *P. sylvestris* SMOLANDERV *et al.* (1996), concluíram que houve um desfavorecimento da qualidade do substrato pelo ligeiro decréscimo da degradabilidade das acículas.

JOHANSSON (1994) estudou a decomposição de acículas da liteira de *P. sylvestris* em 14 sítios ao longo de um transecto climático através da Suíça e observou que as taxas de decomposição das acículas, que variavam bastante entre sítios, foram reguladas pelo clima no estágio inicial e pela relação entre sólidos carboidratos e lignina nos estágios mais avançados.

Ao desenvolverem uma pesquisa sobre decomposição da liteira de quatro espécies do mediterrâneo, ao longo de 90 dias, sob condições controladas, CORTEZ *et al.* (1996), concluíram ser a lignina o mais importante fator controlador das taxas de decomposição da liteira.

De acordo com PRESCOTT (1996), a relação entre taxas de decomposição e concentração de Nitrogênio pode ser devido a influência da atividade da fauna do solo sobre ambos os fatores, mais propriamente do que uma direta influência do Nitrogênio disponível sobre as taxas de decomposição da liteira.

Comparando a decomposição da liteira de povoamentos de eucalipto com a que ocorre em florestas semi-caducifólias, LOUZADA *et al.* (1997), concluíram que a serapilheira de eucalipto na floresta apresenta uma taxa de decomposição igual a da serapilheira local, atribuindo este resultado à abundante fauna do piso da floresta nativa, aliada a adequadas condições microclimáticas ou prevalectimento da serapilheira de alta qualidade. Já no piso de eucalipto a serapilheira oriunda da

floresta, pode ser usada como um recurso de subsistência de alta qualidade pela fauna local, resultando em taxas bem acima das apresentadas pela serapilheira local. Tal constatação sugere a ausência de organismos especialistas na fauna da serapilheira de eucalipto, o que torna a sua decomposição mais difícil.

BROWN *et al.* (1996) pesquisaram influências climáticas da qualidade e tamanho do substrato na decomposição de fragmentos lenhosos e concluíram haver uma correlação inversa entre decomposição e tamanho do fragmento, causada pela combinação do regime de umedecimento e secagem, diferenças na concentração de nutrientes e relação superfície/volume dos mesmos. Eles observaram também significativa influência da espécie na taxa de decomposição destes materiais.

Trabalhando em uma área de platô de uma floresta de terra firme na Amazônia Central, LUIZÃO (1982) obteve uma carga de serapilheira de 7,42 Mg/ha/ano, enquanto na capoeira, este total caiu para 6,07 Mg/ha/ano, sendo a contribuição do folheto bem mais elevada em área de capoeira, cerca de 85,2% do total depositado no piso. O autor observou ainda que a maior produção de serapilheira em áreas de floresta nativa ocorre no período seco do ano, principalmente de junho a outubro. Na estação chuvosa a taxa de desaparecimento do material em decomposição é muito alta e o tempo para o material inicial ser reduzido à metade é muito curto, apenas 37 dias. O citado autor adotou uma definição ampla de decomposição, considerando-a como a lavagem, desintegração, remoção (pela fauna do solo) e mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos. Para ele, os principais agentes que influem no processo de decomposição das florestas de terra firme são a penetração de raízes e a ação dos macro-artrópodos, especialmente os cupins.

As taxas de decomposição das acículas da liteira de *Pseudotsuga menziesii* foram mais baixas aos onze anos e declinaram após atingirem um máximo aos 24 anos, havendo uma relação positiva entre a produtividade anual líquida do povoamento e as taxas de decomposição da liteira (EDMONDS, 1979).

BAKER e ATTIWILL (1985) pesquisaram perda de massa por decomposição de folheto de *E. obliqua* e acículas de *P. radiata* e verificaram taxas mais altas para o eucalipto (74% de perda após 2 anos) do que para pinus (50%). Constataram que tais

perdas estavam fortemente correlacionadas com a quantidade de água que atinge o piso da floresta, por isso as taxas de decomposição do pinus foram inferiores, visto que esta conífera intercepta em seu dossel 40 a 50% da água das chuvas, enquanto que o eucalipto somente 26 a 28%.

Estudando as variações de carga de materiais combustíveis em florestas de *Pinus banksiana*, YIN *et al.* (1989) concluíram que a deposição e decomposição de materiais combustíveis podem ser usadas para descrever a dinâmica da interação entre fogo e esta espécie de pinus.

Embora a relativa importância do fogo, comparada com outros agentes de decomposição possa variar com o tipo de floresta, intensidade e frequência do fogo, queimas regulares podem influenciar substancialmente a reciclagem a longo prazo dos materiais depositados sobre o piso de florestas australianas de eucalipto. Nesse sentido, BIRK e SIMPSON (1980) aplicaram nas florestas de eucalipto periodicamente queimadas o modelo de OLSON (1963), de acumulação e decomposição de serapilheira. Esse modelo assume que a deposição de serapilheira ocorre de forma contínua ao longo dos 12 meses e que é constante de um ano para outro. Se a taxa natural de decomposição ocorre de forma relativamente lenta, freqüentes incêndios podem remover uma considerável porção da liteira total que vai se formando após uma ocorrência e outra.

Nas florestas boreais onde a produção de fitomassa é muito baixa e o processo de decomposição é lento os combustíveis também acumulam-se lentamente mas por períodos muito longos. Nesses ecossistemas, segundo SCHIMMEL e GRANSTRÖM (1997), a sucessão de combustíveis provocada pela presença do fogo pode produzir, em um ano após seu uso, quantidades de combustíveis mortos e vivos capazes de favorecer fogos de alta intensidade. Os autores salientaram ainda que existem diferenças mais expressivas quanto a composição do que em relação às quantidades absolutas no que se refere as classes de combustível que acumulam-se após uma queima. Eles destacaram também que mudanças na quantidade e qualidade do material combustível durante a primeira fase sucessional podem influenciar o comportamento do fogo.

### 2.3.5 Inventário de combustível florestal

Um dos problemas mais comuns para muitos trabalhos de pesquisas que buscam determinar a biomassa florestal é a escolha de um método que seja adequado para estimar peso de materiais contidos em parcelas florestais. A importância desta dificuldade pode ser ampliada quando se trata de estimativas de componentes como ramos ou cones, visto que os mesmos tendem a apresentar uma relação baixa com o diâmetro do fuste (MADGWICK, 1983).

Até 1977 não existiam dados sobre medições de combustível florestal em plantações de pinus no Estado do Paraná. Por isso, SOARES (1977) sugeriu a estimativa destes materiais a partir de dados e relações desenvolvidas em outras áreas que apresentassem condições similares.

O inventário do material lenhoso, seja ele oriundo de deposição natural ou de restos de exploração, é uma informação valiosa para o manejo da área, para identificar áreas de perigo de incêndio, planejar queimas controladas, realizar estimativas da utilização potencial dos resíduos como fonte de energia, determinar força de trabalho ou necessidade de mecanização para fins silviculturais, prever comportamento do fogo e controlar o risco potencial de incêndios florestais (BROWN, 1974 ; DESLILE e WOODARD, 1988 e FULLER, 1991).

Predições tais como intensidade do fogo e produção e dispersão de fumaça em queimas controladas, requerem informações relativas aos combustíveis contidos no piso da floresta associados ao estrato de combustível que BRENDER *et al.*, (1976) identificaram como vegetação baixa do sub bosque, as quais podem ser obtidas através de métodos diretos (inventários) e indiretos (modelos, gráficos e tabelas).

Existem várias técnicas para se inventariar o material combustível em uma floresta. O método mais preciso é a coleta, secagem e pesagem do material retirado de parcelas aleatória ou sistematicamente localizadas no terreno. Apesar de preciso, este método não é muito usado na prática por ser oneroso e relativamente lento. Por isso ele é mais usado como base para o desenvolvimento dos métodos indiretos.

BROWN (1971) oferece uma relação de procedimentos a serem tomados num inventário de material combustível para previsão do comportamento do fogo e

interpretações ecológicas. Neste caso, a interpretação dos dados pode ser feita com base em julgamento especializado, comparações com povoamento ou combustível e vegetação referencial e por modelos matemáticos de predição da taxa de propagação e intensidade do fogo. Dentre os procedimentos ele recomenda o levantamento de dados como: peso por unidade de área e por classe de tamanho de partícula, incluindo desde turfa até combustíveis vivos como ervas e arbustos; espessura e densidade de carga dos estratos de combustíveis do piso florestal; continuidade vertical dos combustíveis sob as árvores; descrições do sítio; composição do dossel e do sub-bosque; idade das árvores e altura do povoamento, entre outros. Com relação à intensidade amostral, recomenda o estabelecimento de 10 a 20 unidades de amostra para cada situação estudada, localizando-as de forma sistemática, de preferência em transecto diagonal, de maneira que os pontos de amostragem possam representar as variações topográficas e outras possíveis gradações existentes na estrutura da vegetação. O autor dedica especial ênfase ao método da interseção planar.

Em regra, os inventários de combustível envolvem o material morto e caído no piso porque representam a classe primária da quantidade de combustíveis disponível na grande maioria das queimas controladas e em muitos incêndios (AGEE, 1983).

A quantidade ou carga de combustível florestal além de extremamente importante é também altamente variável e muito difícil de classificar (BROWN e DAVIS, 1973). É através da quantidade que se pode ter uma idéia de quanto intenso um fogo pode se propagar (FULLER, 1991).

MEEUWIG e BUDY (1981) descreveram numa espécie de guia prático, os procedimentos necessários para a realização de inventários de material combustível, partindo de amostragem por pontos ou linhas de interseção, recomendados para avaliação de folhagem e combustíveis de estreitas dimensões. O primeiro método, segundo estes autores, é mais apropriado para plantações de *Pinus monophylla*, enquanto que o segundo é recomendado tanto para esta espécie como para *Juniperus osteosperma*, em face às características de cada espécie.

Mais especificamente BROWN *et al.* (1992) apresentam um guia prático para a realização de inventário de materiais combustíveis superficiais e da fitomassa



florestal, detalhando procedimentos que vão desde a coleta de amostras e profundidade da camada de turfa até a mensuração de arbúsculos de até três metros de altura. Nesta publicação alusões são feitas tanto ao método destrutivo quanto ao não destrutivo. O uso do mínimo de 15 a 20 pontos amostrais recebe ênfase do autor, bem como a limitação máxima do erro amostral em 20 % da média estimada. Eles destacam também o uso do método não destrutivo de “interseção planar” por ser mais rápido, barato e não necessitar de coleta de grande quantidade de material. Este método consiste na contagem das interseções de um plano vertical virtual com o material lenhoso depositado sobre o solo, seguido pelo cálculo do peso de cada classe de material através de fórmulas específicas. A desvantagem deste método é não estimar o peso das acículas, muito importante no caso das plantações de *Pinus*.

Em relação aos inventários que usam este tipo de amostragem, HAZARD e PICKFORD (1984) concluíram que, reduzindo o número de pontos amostrais mas mantendo o comprimento da linha de amostragem, é possível diminuir substancialmente o custo do inventário. Em outras palavras, consideram que é mais barato usar poucas linhas de amostragem longas do que muitas linhas curtas pois o tamanho da amostra decresce proporcionalmente com a ampliação do comprimento da linha do transecto considerando-se uma determinada faixa de erro. Em outro artigo, os mesmos autores (PICKFORD e HAZARD, 1978) comentam que o método de interseção pode ser mais eficiente do que a amostragem por área, embora mesmo sob condições ideais requeira considerável empenho para satisfazer altos níveis de precisão.

MIRANDA *et al.* (1996) realizaram inventário de combustível fino do estrato herbáceo do Cerrado utilizando cinco transectos de 15 m cada um, nos quais, a intervalos de 3 m, coletavam todo o material contido em um quadrado de 25 x 25 cm, separando-o em classes distintas de material vivo e morto e em seguida submetendo-o à secagem até peso constante em uma estufa com temperatura de 80 °C.

Em seus trabalhos de inventário para determinar o combustível superficial total, BATISTA (1995) e RIBEIRO (1997) trabalharam com amostragem destrutiva, utilizando um gabarito de 1,0 x 1,0 m, ao qual denominaram de quadrado vazado, para inventariar folheto, combustível lenhoso e combustível vivo do sub-bosque em 20

amostras realizadas em plantações de *P. taeda* e de *E. viminalis*, respectivamente, antes e após a aplicação de fogo controlado. Na ocasião, coletaram dados relativos à espessura da camada de serapilheira e material verde. O material vivo e morto contido nas sub-amostras coletadas, após pesagem, foi submetido à secagem por um período de 48 horas, a uma temperatura de 75 °C. CARLTON e PICKFORD (1982) também realizaram amostragem de material combustível através de 20 pontos, porém, aleatoriamente distribuídos.

HINGSTON e GALBRAIT (1989) usaram um número um pouco maior no levantamento de material da liteira e combustível vivo do sub-bosque, feito em 30 pontos amostrais formados por quadrados de 20 x 20 cm e de 1,0 x 3,0 m, respectivamente, espaçados por uma malha de 100 x 100 m em cada bloco. A coleta de combustível vivo foi feita pelo corte, remoção e pesagem do material que se encontrava dentro dos quadrados. Ainda assim, consideraram como pequeno o número de amostras realizadas, por acharem que deve haver uma proporcionalidade entre este número e aspectos dimensionais do material que se pretende coletar.

Alguns pesquisadores no entanto adotam menor número de unidades de amostra para a realização de suas pesquisas. BRENDER *et al.* (1976) por exemplo, coletaram apenas 10 amostras ao quantificarem combustíveis vivos e camadas L e F da liteira, em plantações de diferentes idades.

Além do número de amostras e proporção de peso das sub-amostras, existe a preocupação com a distribuição das amostras ao longo das plantações, principalmente quando se trata de amostragem sistemática, comumente adotada em trabalhos desta natureza. Por essa razão, STERGAS e ADAMS (1989) distribuíram as unidades de levantamento em pontos com uniforme elevação, inclinação, exposição e tipo de solo, visando reduzir a variabilidade amostral causada por diferenças fisiográficas. Eles adotaram amostras retangulares de 0,5 m<sup>2</sup> para estimativas de combustíveis superficiais vivos, localizando-as em 12 parcelas em cada povoamento estudado – essas parcelas compreendiam uma área de 625 m<sup>2</sup> (25 x 25 m), de onde eram obtidas a área basal, o DAP, a altura dominante e a densidade do povoamento.

As áreas de amostragem usadas para inventariar material combustível, costumam variar de pouco menos que meio hectare a algumas centenas de hectares (FULLER, 1991).

Embora os combustíveis das plantações de *Pinus* sejam relativamente homogêneos, eles podem variar consideravelmente tanto dentro como entre as plantações, podendo também, sofrer constantes mudanças ao longo dos anos, ou de um ano para o outro. Por isso, num inventário, existe a necessidade de conhecimento das especificidades do sítio e da complexidade e distribuição espacial dos combustíveis para a obtenção de sucesso na determinação do ataque inicial a um incêndio e determinação do perigo de fogo (DE RONDE, 1990).

Quando restos de exploração são amontoados em pilhas ou leiras, o inventário pode ser realizado com base nas técnicas descritas por McNAB (1980), para avaliação do potencial energético das mesmas, podendo o resultado ser expresso tanto em volume como em peso que pode ser calculado nos moldes do método de interseção planar, através da gravidade específica, objeto de abordagem nos trabalhos de SACKETT (1980) e NALDER *et al.* (1997).

Na realização de inventários de resíduos de exploração, as estimativas pela média do povoamento podem resultar em maior precisão do que estimativas por árvores individuais (BROWN *et al.*, 1977).

Além dos métodos de amostragem, alguns recursos como os comentados por FAHNESTOCK (1970) - chaves de perigo, FISCHER (1981) - séries fotográficas e na pesquisa de SCHNEIDER e BELL (1985) - equipamento, podem ser utilizados em trabalhos de avaliação de materiais combustíveis florestais. FISCHER (1981), apresenta um guia de fotos para aplicação em povoamentos florestais cuja precisão é desconhecida, mas existe a expectativa de que venha a situar-se numa faixa intermediária se comparado com outras técnicas de estimativa de combustível florestal. É provável que melhor precisão seja obtida em estimativas do potencial de fogo, ao invés da carga de combustível. Comparado com outros métodos o custo pode ser considerado entre baixo e intermediário.

Para contribuir com os trabalhos de inventário, FAHNESTOCK (1970) propõe duas chaves baseadas em critérios de tamanho, quantidade e arranjo, que podem ser seguidos em observações bastantes simples. A terminologia usada, define esses parâmetros em termos quantitativos, sob dimensões naturalmente possíveis, baseadas na teoria do comportamento do fogo e nos regimes de seca usados na época pelo Sistema Nacional de Detecção de Perigo de Incêndio dos E.U.A. Resultados obtidos em testes de campo, sugerem o uso destas chaves para a realização de inventários de material combustível, com satisfatória acuracidade.

No tocante ao uso de equipamentos, SCHNEIDER e BELL (1985) descrevem um método para estimar material combustível em comunidades vegetais arbustivas do oeste da Austrália, usando um disco deslizante com precisão aceitável e um consumo operacional de 15 minutos para estimar combustível total em cada sítio. Neste método são realizadas 15 amostras de 1 m<sup>2</sup> para combustível da liteira.

Processamento imediato de dados coletados em trabalhos de inventário de material combustível podem ser realizados com o auxílio do WOODY II, um programa de cálculo interativo para ser usado na calculadora Texas Instruments T. I. 59, que facilita a aplicação dos resultados na execução de planos de queima ou várias outras necessidades ligadas ao manejo de combustível florestal (GLASSY, 1983).

Experiências obtidas por BATISTA (1995) e RIBEIRO (1997) em suas respectivas teses sobre queima controlada em plantações de *P. taeda* e *E. viminalis*, os conduziram à constatação da necessidade de desenvolvimento de um procedimento prático, no caso modelagem, por exemplo, capaz de substituir o método destrutivo de amostragem por área, na elaboração de estimativas de massa de material combustível de povoamentos destas espécies, com presença de vegetação baixa de sub-bosque.

Os dados de um inventário são úteis na construção de modelos que podem ser utilizados para classificar os ecossistemas pelas dimensões, tipo e quantidade de sua vegetação, independentemente das espécies que o constituem (FULLER, 1991).

### 2.3.6 Modelagem de combustível florestal

A elaboração de modelos para quantificar materiais combustíveis de florestas ou de povoamentos florestais no Brasil poderá, a exemplo de países como os Estados Unidos e Austrália, tornar-se uma tarefa de rotina. Mesmo porque, o número de interessados no assunto tende a crescer com a publicação de novos trabalhos, estimulados tanto pelo setor privado como pelas agências estatais de financiamento de pesquisas relacionadas ao meio ambiente.

Trabalhos que envolvem modelagem realizados por pesquisadores como SOARES (1979) e BATISTA (1995) vêm contribuindo para que essa nova e importante linha de pesquisa da engenharia florestal apresente um significativo avanço.

#### a) Modelos e modelagem

Um modelo é uma expressão formal das relações entre as entidades, definidas em bases matemáticas ou físicas (JEFFERS, 1991). Na verdade, os modelos consistem de simples ou múltiplas expressões matemáticas, capazes de representar os processos de um sistema físico, tratando-se portanto, de abstrações da realidade (MORTON, 1990).

PAVÉ (1994)<sup>2</sup> citado por LOFFEIER e FAVRICHON (1996), define modelo como uma representação simbólica de aspectos de um objeto ou fenômeno do mundo real, salientando que na realidade, trata-se de uma expressão ou fórmula, escrita de acordo com as regras do sistema simbólico que lhe deu origem.

Modelo também pode ser entendido como uma representação idealizada do sistema físico real que auxilia na análise do problema, estabelecendo sempre, uma correlação entre esta e a realidade correspondente (BAZZO e PEREIRA, 1990).

Na interpretação de SANQUETTA (1996), modelo é uma representação física ou abstrata da forma ou função de entidades ou objetos reais, como por exemplo, equações matemáticas de processos fisiológicos, estátuas ou figuras. Em amplo sentido,

---

<sup>2</sup> PAVE, A. *Modélisation en biologie et ecologie*. Paris: Aléas, 1994.

os modelos podem ser classificados em formal e conceitual. O tipo formal ou externamente representado pode ser expresso por palavras, figuras, fluxogramas, gráficos e por formas físicas e matemáticas, enquanto que modelo conceitual ou internamente representado sugere experimentos que precisam ser feitos para aceite ou rejeição de hipóteses no desenvolvimento do modelo.

Dentre os diferentes modelos matemáticos existentes, os mais encontrados na literatura são: dinâmicos; matriciais; estocásticos; multivariados; de otimização; da teoria de jogos e da teoria de catástrofes (JEFFERS, 1991).

Destacando os modelos de distribuição, da análise de variância, de regressão e de Markov, JEFFERS (1991) define como estocásticos os modelos que incorporam o conceito de probabilidade, sendo especialmente úteis para simular a variabilidade e complexidade dos sistemas ecológicos.

As principais aplicações dos modelos no campo da engenharia florestal são: predição (projeção ou prognose) da produção florestal; simulação de intervenções na floresta e, indicação do regime ótimo de manejo, podendo apresentar um caráter empírico, mecanístico e estocástico, usados entre outros na classificação apresentada por SANQUETTA (1996). Para o mesmo autor, um modelo empírico busca a explicação do que ocorreu, está ocorrendo ou pode ocorrer no futuro, daí a grande importância da qualidade de ajuste de dados e das predições. Por sua vez, o modelo mecanístico tenta explicar como um sistema funciona e porque certos processos ocorrem.

A modelagem no âmbito florestal, teve seu início por volta de 1880 na Europa Central, época em que os engenheiros florestais utilizavam métodos gráficos para modelar o crescimento e a produção florestal, recurso que continuaram a usar até os primeiros cálculos mecânicos, em combinação com as então novas idéias de análise estatística. Contudo, a extensão da modelagem para outros aspectos florestais dependeu sobremaneira da disponibilização dos computadores digitais. Somente dessa forma a modelagem passou a ganhar mais impulso no âmbito de outras áreas ligadas às ciências florestais (JEFFERS, 1991).

A formulação de modelos compreende as seguintes etapas: definição concernente aos objetivos; análise do problema biológico, do sistema e das variáveis que o caracterizam; tradução da dinâmica do sistema num formalismo matemático ou computacional; verificação do modelo deduzido e, enfim, a sua validação e posterior aplicação (LOFFEIER e FAVRICHON, 1996).

Qualquer construção de um modelo físico ou simbólico poderia ser denominada como simulação. Segundo OLIVARES (1977), o primeiro trabalho de modelagem remonta 1940, ano em que a técnica de Monte Carlo foi aplicada por Neumann e Ulam para a solucionar um problema matemático não probabilístico.

Mesmo de posse dos dados disponíveis, a formulação de modelos não é uma tarefa fácil, visto que um bom modelo deve ser devidamente pensado e planejado segundo sua utilidade, dados disponíveis, entradas e saídas, recursos disponíveis, verificação e uso (VANCLAY, 1994). O referido autor destaca dois princípios gerais a serem observados por ocasião dos ajustes: parcimônia - não incluir no modelo variáveis e parâmetros desnecessários; e simplicidade - por considerar que complexidade não melhora o modelo podendo inclusive gerar problemas.

A avaliação de cargas de materiais combustíveis de uma floresta deve considerar aspectos da produção florestal, cuja análise prescinde de um estudo para elaboração de modelos que tenham alguma relação com o crescimento do povoamento florestal, o qual, segundo HOSOKAWA *et al.* (1997) pode ser modelado por um conjunto de funções.

Os modelos para estimar a capacidade produtiva dos terrenos florestais são ferramentas de reserva que podem ser utilizadas no delineamento de regimes silviculturais biologicamente passíveis, bem como, na predição do incremento e rendimento da produção florestal, indispensáveis para a instrumentação dos sistemas de manejo (SALVADOR MADRIGAL e RAMIREZ, 1996).

Modelos de predição do comportamento do fogo podem ser classificados em 3 tipos: puramente empíricos, físicos e semi físicos; os modelos físicos fundamentam-se em parâmetros físicos como teor de umidade, tamanho de partícula, etc.

(CATCHPOLE e MESTRE, 1986), informações estas que também podem ser obtidas através de modelos de material combustível.

O sistema americano de proteção contra incêndios florestais, NFDRS, considera em seus modelos elaborados para prever o comportamento do fogo, varias características relativas aos combustíveis florestais: calor específico; densidade da partícula; conteúdo mineral total; conteúdo mineral efetivo; carga total de combustível; espessura do estrato; proporção entre superfície e volume de combustível e umidade de extinção (DEEMING *et al.*, 1972).

Estudos de simulação de técnicas de amostragem somente têm valor se a população simulada tiver idênticas ou similares características às das populações na qual pretende-se aplicar a técnica (HAZARD e PICKFORD, 1984).

#### b) Variáveis e modelos para combustíveis florestais

Estudos para a construção de modelos que possam contribuir tanto na previsão do comportamento do fogo como na determinação de perigo de incêndio são considerados de grande importância para a proteção florestal (FULLER, 1991).

Embora alguns pesquisadores como BROWN e MARSDEN (1976) e PHILLIPS e SAUSIER (1979) tenham ajustado modelos que incorporam altura como variável explicativa para estimar material combustível, uma série de trabalhos desta natureza apontam as variáveis DAP, área basal e idade como parâmetros que melhor se associam à carga de material combustível depositada no piso florestal ou aos combustíveis superficiais.

Considerando que técnicas de amostragem envolvendo coleta, secagem e pesagem de materiais consomem muito tempo, além de serem monótonas, ALEXANDER (1978) optou por formular equações para estimar cargas de combustível de duas espécies arbustivas, utilizando suas alturas e percentagem de cobertura pela copa como variáveis explicativas. O referido autor baseou-se na metodologia apresentada por BROWN e MARSDEN (1976). As duas equações ajustadas derivaram dos modelos genéricos [ 4 ] e [ 5 ]. Para amostragem dos dados no



campo, o autor distribuiu sistematicamente e a intervalos fixos parcelas em forma de quadrado.

$$W = \beta X_1 + \delta X_1^2 \quad [4] \quad ; \quad W = \alpha + \beta X_1 X_2. \quad [5]$$

Avaliando o peso de combustíveis produzidos por várias espécies de coníferas que crescem no sub-bosque de florestas do “Crater Lake National Park” in Oregon, EUA, AGEE (1983) determinou a relação entre a massa viva e morta destas espécies e variáveis de fácil obtenção como diâmetro na linha do solo, área basal e altura total. O autor ajustou vários modelos logarítmicos e chegou a conclusão que o diâmetro na linha do solo foi a variável que proporcionou os melhores ajustes.

A precisão de modelos que tenham relação com o desenvolvimento das árvores pode ser afetada por variáveis associadas às plantações, dentre as quais BRUSKIN (1995) destaca: uso indiscriminado de fontes variadas de sementes, uso anterior do terreno e influências do plantio e tratamentos de preparo do solo sobre o crescimento juvenil.

No que diz respeito às variáveis, CHEN *et al.* (1998) ressaltam a importância dos modelos que independem de características do povoamento, por considerarem que estimativas feitas para índice de sítio, baseadas em variáveis ambientais, podem ser feitas em qualquer época, para um dado terreno, sem que necessariamente o povoamento florestal exista. Em relação ao material combustível, nada de consistente partindo do mesmo raciocínio foi ainda proposto. Da mesma forma, SALVADOR MADRIGAL e RAMIREZ (1996) buscaram indicadores da qualidade do sítio, que não dependessem da massa arbórea, priorizando as propriedades físicas e químicas do solo, pois observaram que a variabilidade das condições geográficas, topográficas e climáticas existentes no Estado de Michoacan, México, tem dado origem a diferentes ecótipos florestais, influenciando conseqüentemente nas características mensuráveis dos povoamentos.

A grande maioria das pesquisas, entretanto, tem sido realizadas com base em variáveis do povoamento ou idade, algumas inclusive, buscando inferir a partir destas, níveis de qualidade ambiental.

Como a carga de combustíveis é específica para cada sítio, ela pode ser estimada através de modelos naqueles sítios onde esteja associada a área basal, altura ou diâmetro das árvores, ou até mesmo com a espessura da liteira (SACKETT e HAASE, 1992). A idade do povoamento, segundo os mesmos autores, também influencia na taxa de acumulação de combustíveis.

McNAB *et al.* (1978) desenvolveram equações para estimar material combustível baseadas em características físicas de povoamentos de *Pinus* spp. e de algumas espécies da vegetação baixa do sub-bosque. Nos modelos para estimar combustível vivo superficial eles usaram como variáveis explicativas a idade e a altura da vegetação do sub-bosque. Os mesmos autores também ajustaram alguns modelos para estimar combustível morto, combustível total do sub-bosque, folhagem e material lenhoso com dimensões entre 0,65 e 2,5cm. Nestes modelos, foram utilizados como variáveis explicativas DAP médio, área basal “G”, altura total média “ht”, dimensões da copa, índice de sítio e idade. No entanto, o material depositado no piso como ramos mortos e cones tendem a apresentar baixa correlação com o diâmetro do fuste (MADGWICK, 1983).

PHILLIPS e SALCIER (1979) chegaram a alguns modelos para estimar o peso de material úmido de várias espécies de árvores dominantes e dominadas de uma floresta latifoliada, partindo de variáveis como DAP médio e altura total. Modelos ajustados para algumas dessas espécies derivaram da equação genérica [ 6 ] e proporcionaram coeficientes de determinação entre 0,95 e 0,99, dependendo da espécie.

$$\log W = -a + b \cdot \log(D^2 \cdot Ht) \quad [ 6 ]$$

Em um povoamento de pinheiros na França, TRABAUD (1977) encontrou uma alta correlação ( $R= 0,965$ ) entre o peso da folhagem “W” e o DAP médio, levando-o a ajustar o modelo [ 7 ]. Para determinar o peso do combustível arbóreo to-

$$W = 2,24 + 0,41DAP \quad [ 7 ]$$

tal “W” em função do comprimento do tronco “X” o autor elaborou um modelo [ 8 ] não linear. O coeficiente de correlação entre estas duas variáveis foi de 0,970.

$$W = 2,55X^{1,65} \quad [ 8 ]$$

BRENDER *et al.* (1976) desenvolveram métodos indiretos de estimativa do material combustível para povoamentos de *Pinus taeda* com até 23 anos de idade no sul dos Estados Unidos. Os autores concluíram que duas equações, uma baseada na área basal e outra na idade da plantação, poderiam ser usadas indistintamente na estimativa da quantidade de material combustível existente nos povoamentos, com praticamente a mesma precisão.

SOARES (1979) desenvolveu equações para estimar o peso de material combustível em plantações de *Pinus caribaea* e *Pinus oocarpa* de até sete anos e meio no sul de Minas Gerais. A equação que usava duas variáveis independentes (idade e área basal) apresentou maior precisão do que a baseada apenas na idade do povoamento. Como a tendência das curvas muda bastante com o avanço da idade, no sentido de se nivelar com o passar dos anos, essas equações desenvolvidas para povoamentos jovens não podem ser usadas para plantações mais velhas. Procedendo da mesma forma que CRUZ (1985) em seus estudos de fitomassa, o referido autor obteve melhores ajustes ao recorrer ao processo de agrupamento, trabalhando com pesos médios, estratificados em classes de idade.

Considerando a não existência de qualquer modelo ajustado para estimar o volume de material lenhoso de espécies da floresta úmida de terra firme, CRUZ (1985), com base no modelo genérico [ 9 ]

$$Y = \alpha + \beta.X_1 + \delta.X_2 + \dots + \gamma.X_n \quad [ 9 ]$$

em variáveis transformadas e em combinações de até 2 variáveis explicativas, transformadas ou não, formulou 5 modelos para dados agrupados e não agrupados, baseados no DAP médio e altura média do fuste, através do processo *Stepwise*. O referido autor elegeu como melhores os modelos construídos em cima de dados agrupados por classes de diâmetro, dentre os quais obteve maior precisão com a relação [ 10 ].

$$\frac{1}{V} = \alpha + \frac{\beta}{DAP^3} \quad [ 10 ]$$

Alguns pesquisadores estudam o desenvolvimento de modelos de material combustível a partir da profundidade ou espessura da liteira. Dentre eles KAUFFMAN e MARTIN (1989) realizaram predições baseados nesta variável e na camada de turfa

e observaram que o combustível acumulado nestas camadas chegava a representar 84% da carga total de combustível.

Em seu trabalho de tese, desenvolvido em plantações de *Pinus taeda*, BATISTA (1995) observou forte associação entre a massa de combustível e a espessura da serapilheira, antes e depois das queimas controladas que realizou.

Dez anos após a realização de uma queima controlada, os autores McCRAW *et al.* (1996) apresentaram um modelo [ 11 ] para estimar a quantidade de combustíveis

$$W = 3,64 + 0,34.X \quad [ 11 ]$$

através da espessura “X” da liteira de *Eucalyptus diversicolor*, obtendo um R<sup>2</sup> de 0,69.

Partindo do pressuposto de uma estreita ligação entre a espessura da liteira e características da copa, autores como MEEUWIG *et al.* (1979) ajustaram modelos envolvendo essa variável e o diâmetro máximo da copa.

Existem pesquisas em que essa variável explicativa recebe tratamento especial, dado ao seu grau de importância. Nos estudos de CHEN e SLEEMAN (1993) por exemplo, a predição de ignição espontânea pode variar em função das características físicas e químicas do combustível acumulado, dentre as quais a espessura da liteira pode tornar-se crítica ao atingir 60 cm. Por isto os autores estudaram um modelo para ser usado em simulação de ignição espontânea de combustíveis do piso florestal que, determina o potencial de ocorrências desta natureza a partir dessa variável.

Nem sempre a espessura da liteira é utilizada na determinação de sua correspondente carga, visto que ao efetuar predições deste tipo em povoamentos em primeira rotação de *P. pinaster* DE RONDE (1984) utilizou idade do povoamento, índice de sítio e longitude como variáveis explicativas na elaboração de um modelo, admitindo para cada região estudada a entrada de duas ou todas estas variáveis para o cálculo dos respectivos coeficientes. O autor concluiu que a carga acumulada sobre sítios de alta qualidade pode sofrer um incremento acima de 4,0 Mg/ha/ano e que este acúmulo também vai continuar na segunda rotação.

JOHNSON *et al.* (1989) desenvolveram equações para predição de material combustível da copa, folhagem e de diversas classes de material lenhoso de *Pinus contorta* e *Picea glauca* a partir dos modelos genéricos [ 12 ] e [ 13 ], obtendo para fo-

$$W = aX_1^b \quad [ 12 ] \quad ; \quad W = aX_1^b X_2^c \quad [ 13 ]$$

lhagem coeficientes de determinação iguais a 0,59 e 0,78 para pinus e 0,62 e 0,66 para picea, respectivamente. O autor considerou  $X_1$  como sendo a altura das árvores e  $X_2$  a largura da copa. Ele acrescenta ainda que, embora não seja uma variável recomendada, a largura da copa pode ser medida com satisfatória precisão através da fotogrametria quando as copas de árvores individuais estão bem visíveis. MEEUWIG *et al.* (1979) desenvolveram modelos para povoamentos de pinus e juniperus, partindo também de dimensões da copa, além do diâmetro do caule tomado a 15 cm do solo, para calcular massa de folhagem e de combustíveis de pequenas dimensões.

GRIER e MILNE (1981) também estimaram massa de folhagem da copa “W”, partindo do diâmetro do fuste aos 15 cm ( $D_{15}$ ) como variável explicativa no ajuste de um modelo para *Abies amabilis*, baseados no modelo genérico [ 14 ]. Ao formularem o

$$W = \exp(\alpha + \beta \ln X) \quad [ 14 ]$$

modelo [ 15 ] eles obtiveram um coeficiente de determinação de 0,89.

$$W = \exp(2,425 + 2,569 \ln D_{15}) \quad [ 15 ]$$

WADE (1969) ajustou o modelo [ 16 ] para estimar peso de copa de *P. taeda*

$$\log W = \beta \log DAP - \alpha \quad [ 16 ]$$

em árvores da Carolina do Sul e comparar os resultados com estimativas feitas usando uma outra equação ajustada a partir de dados de árvores da região de Piedmont, Georgia, EUA. Em vista de não detectar diferenças estatísticas significativas entre os coeficientes das duas equações, o autor propôs um modelo resultante da combinação das mesmas. Nestes estudos, foram considerados acículas e material lenhoso menor do que 1,5 cm de diâmetro como os materiais combustíveis mais importantes no que se refere à propagação do fogo.

BROWN *et al.* (1977) desenvolveram tabelas de predição do peso de acículas, ramos, troncos não comercializáveis e outros tipos de materiais que permanecem sobre o piso após a exploração florestal; as tabelas foram construídas para dez espécies e têm

como entrada o DAP. A precisão destas tabelas depende consideravelmente da espécie, das condições do povoamento e da precisão do inventário de madeira comercializável. Modelos matemáticos foram usados para elaboração destas tabelas.

PINHEIRO *et al.* (1986) estimaram peso total de madeira seca em plantios de pinus usando DAP e altura total para testar uma série de modelos genéricos como o de Spurr, Naslund, Meyer-modificado, Schumacher-Hall, entre outros. Esses modelos, como o ajustado para *Pinus elliottii*, foram elaborados para serem usados em faixas anuais de idade (16 a 17, 18 a 19 e 20 a 21), destacando-se a equação na forma [ 17 ]

$$\log P_i = \alpha + \beta DAP + \delta \log h \quad [ 17 ]$$

Trabalhos como este e o de ROSOT (1980) costumam apresentar semelhanças básicas com as pesquisas relacionadas à quantificação de materiais combustíveis.

CARLTON e PICKFORD (1982) descreveram matematicamente as variações na carga “W” de resíduos de desbaste que ocorrem de 0 a 17 anos em povoamentos desbastados de *P. ponderosa*, utilizando área basal “G” das árvores removidas e idade dos desbastes para formular a seguinte equação:

$$\ln W = \alpha + \beta \ln(G \cdot \text{removida}) + \delta(\text{idade} \cdot \text{dos desbastes}) \quad [ 18 ]$$

Eles determinaram os coeficientes para o modelo [ 19 ] com o propósito de estimar a

$$W = \frac{\alpha(G \cdot \text{removida}) + \beta}{\exp[\delta(\text{idade dos desbastes})^2]} \quad [ 19 ]$$

carga “W” de acículas originalmente presas às árvores desbastadas de *P. ponderosa*, usando a área basal “G” removida e a idade dos desbastes como variáveis explicativas. Usando as mesmas variáveis efetuaram um ajuste a partir da relação genérica [ 20 ], a ser usado na estimativa de material lenhoso de pequenas dimensões.

$$W = \frac{\alpha(G \cdot \text{removida})^\beta}{\exp(\delta \cdot \text{idade} \cdot \text{desbaste})} \quad [ 20 ]$$

Baseando-se nos modelos [ 21 ] e [ 22 ] e assumindo que as variáveis de res-

$$\text{Massa de folhagem} = \alpha(DAP)^\beta \cdot \exp[-\delta(DAP)] \quad [ 21 ]$$

$$\text{Massa de folheto} = \phi \cdot \exp(-\gamma z) \quad [ 22 ]$$

posta têm o mesmo valor, FERRARI e SUGITA (1996) deduziram o modelo [ 23 ] abaixo para estimar a deposição total de folhas sobre uma determinada área do piso florestal, onde  $W$  = deposição de folhas;  $DAP$  = diâmetro a altura do peito;  $Z_{ij}$  = dis-

$$W = \sum_j \frac{\alpha \gamma^2}{2\pi} \cdot (DAP_{ij})^\beta \exp[-\gamma Z_{ij} - \delta(DAP_{ij})] \quad [ 23 ]$$

tância entre a árvore  $j$  e o ponto de amostragem  $i$ , e  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ , e  $\gamma$  são os coeficientes.

Em pesquisas realizadas numa plantação de *P. silvestres* de 69 anos JANSSENS *et al.* (1999), partiram do modelo genérico [ 24 ] para determinar o peso de acículas em função do  $DAP$  ( $X$ ).

$$Y = \alpha + \beta \cdot X - \delta \cdot X^2 \quad [ 24 ]$$

O peso de material combustível por classe de tamanho foi estimado por AGEE (1983) através de equações obtidas em análise de regressão para 5 espécies de coníferas, dentre as quais *P. contorta* e *P. ponderosa*. Árvores de 1 a 3 m de altura foram selecionadas e suas porções vivas e mortas foram separadas em 5 classes de diâmetro. As equações [ 25 ] e [ 26 ], que foram usadas para modelar massa de folhagem e combustível total, tinham altura, diâmetro ao nível do solo, área basal e diâmetro ao quadrado vezes altura como variáveis explicativas.

$$\ln W = \alpha + \beta \cdot \ln X \quad [ 25 ] \quad ; \quad \ln W = \alpha + \beta \cdot \ln X_1 + \delta \ln X_2 \quad [ 26 ]$$

Um grande número de pesquisadores tem obtido relativo sucesso quando realizam seus ajustes a partir de processos não lineares, baseados principalmente nos aspectos relacionados à dinâmica de acúmulo e decomposição de resíduos florestais, entre outros.

BATISTA (1995) obteve boa precisão ao ajustar modelos exponenciais partindo da forma genérica [ 27 ] para estimar a carga de acículas, tanto antes como

$$W = \exp(\alpha + \beta \cdot X) \quad [ 27 ]$$

depois das queimas que realizou em dois anos consecutivos em plantações de *P. taeda*, situados a uma latitude sul de 24° e 10' entre as cotas 830 e 860 acima do nível do mar. Em suas considerações finais o autor apontou a necessidade do desenvolvimento de modelos matemáticos para estimar material combustível florestal através de parâmetros dendrométricos de obtenção simples.

EDWARDS (1976) demonstrou que o diâmetro ao nível do solo é um bom parâmetro para estimar o peso total da fitomassa de 12 espécies da vegetação baixa do sub-bosque através do modelo não linear [ 28 ], embora tenha obtido bons ajustes

$$W = \alpha.X^{\beta} \quad [ 28 ]$$

ao utilizar altura total e largura da copa para modelar a fitomassa de algumas dessas espécies. Para cada uma delas foram calculados os coeficientes do citado modelo e comparados através do coeficiente de determinação.

Estudos de modelagem indicaram que o peso de combustível da copa pode ser representado por uma simples potencialização do DAP descrita no modelo [ 29 ], através da qual, STOCKS (1980) obteve boa precisão para praticamente todas as variáveis de resposta estimadas.

$$W = \alpha + \beta.(DAP)^{\delta} \quad [ 29 ]$$

Assim como os modelos matemáticos, outros recursos também são usados na avaliação dos combustíveis florestais, entre os quais, a distribuição espacial de cargas, descrita na análise quadrática realizada por KALABOKIDS e OMI (1992), feita através de gráficos em 3 dimensões, mostrando a variabilidade das concentrações de combustível em função da profundidade das respectivas camadas.

EDWARDS e MCNAB (1976) publicaram uma tabela de dupla entrada (idade e altura dos arbustos do sub-bosque) para estimar a carga total de combustível diretamente nas plantações de *P. elliotii* e *Pinus palustris*. A referida carga é constituída pelo combustível vivo da vegetação baixa e pelo combustível depositado no piso da floresta.

Assim como as tabelas, gráficos também podem ser elaborados com base em deduções feitas de levantamentos realizados através de amostragem pelo método de interseção planar, nos moldes do que foi elaborado por ANDERSON (1978) para estimativas de material lenhoso morto, através de informações obtidas pelo emprego do citado método.



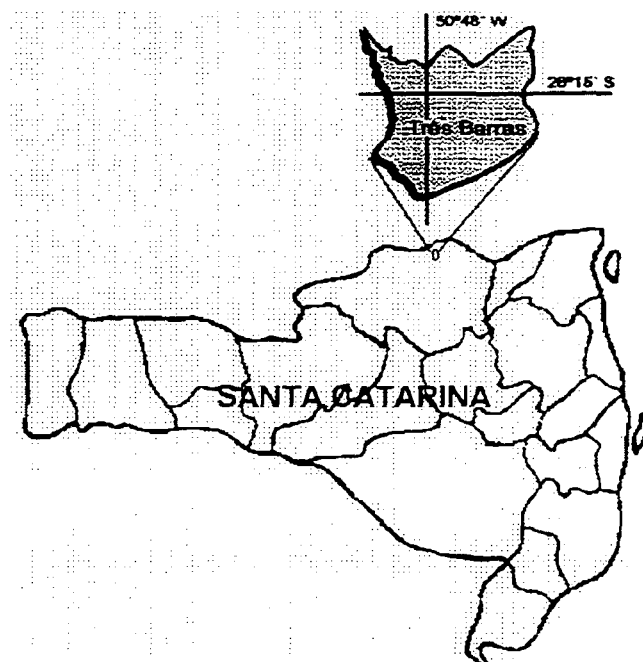
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ASPECTOS INERENTES À REGIÃO DA PESQUISA

Os levantamentos relacionados a esta pesquisa foram desenvolvidos em um distrito florestal de propriedade da empresa Rigesa, Celulose, Papel e Embalagens Ltda., situado no norte do estado de Santa Catarina, em povoamentos de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunnii* Maiden, plantados em espaçamento inicial de 2,5 x 2,5 m e 2,5 x 3,0 m, respectivamente. O sistema de manejo adotado por essa empresa para as referidas espécies não inclui desbastes e prevê o corte final aos 17 para pinus e aos 08 anos de idade para eucalipto.

A região abrangida pela pesquisa situa-se em média a 26° 15' S de latitude 50° 48' W de longitude e a 775 m de altitude (Figura 3). Os talhões estudados apresentavam geralmente topografia ligeiramente plana a levemente ondulada e localizavam-se nas seguintes regiões administrativas da RIGESA: Bugre, Paul, Caraguatá, Paredão, São João da Barra, Experimental, Duas Barras e Divisa.

FIGURA 3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Plantações de *Pinus taeda* com diferentes idades cobriam a maior parte da superfície adjacente aos povoamentos submetidos à amostragem, seguidas em menor proporção por plantações de *Eucalyptus dunnii* e ínfimas parcelas de vegetação nativa.

Algumas plantações de *P. taeda* localizavam-se sobre solos hidromórficos, regionalmente conhecidos como solos de “banhado”, detalhe não observado nas plantações de *E. dunnii*, uma vez que o plantio desta espécie vem sendo efetuado somente em sítios com características edáficas mais ou menos padrão.

### 3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

A seqüência de procedimentos adotados por ocasião do inventário foi a seguinte: (1) identificação do talhão a ser estudado, respeitando extensão da área, idade e, por uma questão de cunho prático, distância máxima da fábrica de papel (25 km); (2) planejamento da distribuição e marcação das parcelas no mapa; (3) fixação do gabarito de madeira (Figura 4) no ponto de amostragem, para coleta do combustível vivo e morto a ser medido e pesado; (4) medição da espessura da liteira (cama de acículas - *Pinus taeda*; e folheto - *Eucalyptus dunnii*) incluindo as camadas L e F; (5) medição da altura da vegetação superficial; (6) coleta de sub-amostras das classes de material combustível delimitadas pelo gabarito; (7) medição da área equivalente ao espaço ocupado teoricamente por 36 (trinta e seis) árvores, onde o gabarito representava o centro geométrico; (8) medição das CAPs (circunferências à altura do peito) de todas as árvores ainda vivas contidas nessa área; (9) medição da altura das 2 (duas) ou 3 (três) árvores bem formadas, de maior diâmetro na parcela, conforme o tamanho da área.

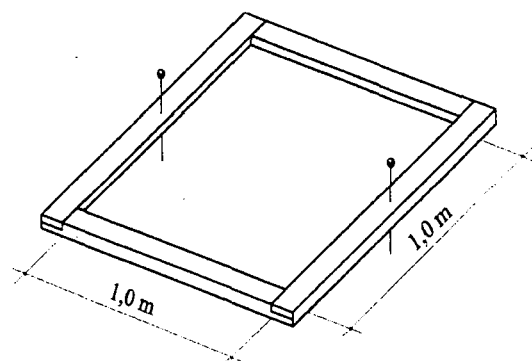
#### 3.2.1 Amostragem

O inventário básico foi feito através da medição e pesagem do material combustível vivo e morto localizado entre a camada H do horizonte orgânico e 1,8 m de altura (Figura 2), em parcelas de 1,0 m<sup>2</sup>, distribuídas uniformemente sobre todos os

talhões estudados, nos plantios de *Pinus taeda* de idades ímpares (3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 e 17 anos) e *Eucalyptus dunnii* com 22, 34, 55, 78, 92, 103, 113 e 124 meses, usadas também nas pesquisas de McNAB *et al.* (1978); SOARES (1979); BATISTA (1984, 1995); SCHNEIDER e BELL (1985) e de RIBEIRO (1997). Em média, a área destes talhões era de 25 hectares.

A amostragem foi realizada no período mais frio do ano, entre os meses de Julho e Outubro de 1997.

FIGURA 4. GABARITO UTILIZADO PARA AMOSTRAGEM DE MATERIAL COMBUSTÍVEL



Inicialmente, partindo das experiências de SOARES (1979); BROWN (1971); CARLTON e PICKFORD (1982); foram coletadas 20 amostras para cada idade nas plantações das duas espécies, perfazendo um total de 320. O número final de amostras foi determinado com base na variância das mesmas, através do método sequencial de Stein (STEEL e TORRIE, 1980), utilizado em inúmeros trabalhos, dentre os quais, os desenvolvidos por BRAGA Jr (1986); SOARES (1979); MARCOLIN (1990) e BATISTA (1995). A população foi considerada como infinita e o limite de erro tolerado para a determinação do número de amostras foi preestabelecido em 10%. O nível de probabilidade adotado foi de 90%, valor compatível com trabalhos da área biológica.

a) Obtenção das variáveis explicativas

Em torno de cada ponto de amostragem, onde era instalado o gabarito para coleta de material combustível, foram medidas as CAPs das árvores que cobriam uma área correspondente ao espaço inicialmente ocupado pelo plantio inicial de 36 mudas (6 x 6 plantas), que também foi determinado. De posse desses dados, foi possível determinar o DAP médio das árvores e a área basal "G" do talhão, que foram posteriormente utilizadas como variáveis explicativas dos modelos testados. Além destes parâmetros, em cada ponto de amostragem, nas plantações de *P. taeda* foi medida a profundidade média "S" da manta de acículas, enquanto que no *E. dunnii* foi registrada a altura do combustível superficial vivo "hv", constituído por gramíneas, vegetação herbácea e arbustiva de até 1,8 m de altura, variáveis explicativas que também foram utilizadas para compor os modelos.

Como a altura média (hdom) das árvores com diâmetros dominantes, citada nos trabalhos de BRUM (1979) e MARCOLIN (1990) é usada como índice de sítio no referido distrito florestal, esta variável também foi mensurada em todos os talhões amostrados, obedecendo as devidas proporções equivalente a 1 (uma) árvore para cada 100 (cem) m<sup>2</sup> da parcela. A intenção era utilizar esta informação, senão nos modelos, pelo menos como subsídio para enriquecer o processo de interpretação do inventário de combustível.

As medições de altura das árvores dominantes foram feitas com um hipsômetro de Haga, sempre por um mesmo operador, que também mediu primeiramente todos as CAPs das árvores das 320 (trezentos e vinte) unidades de amostra. Da mesma forma, um único operador, com uma régua graduada, com precisão de 0,1 cm, mediu a profundidade da liteira nos quadrantes e no centro da área de 1 m<sup>2</sup>, de onde foi obtido o valor médio (S) da parcela.

A altura da vegetação (hv) menor ou igual a 1,8 m foi obtida a partir da média ponderada das diferentes alturas da vegetação delimitada pelo gabarito. Antes desta medição e da determinação da espessura (S) da cama de acículas foram tomados os devidos cuidados para que não fossem alteradas as características originais do estrato combustível contido nos referidos limites.

Por ocasião do processamento dos dados foi determinada a área basal média (G) para cada uma das vinte amostras por idade e por espécie. Além do DAP das árvores das parcelas, o DAP das árvores dominantes (ddom) também foi incorporado às análises, uma vez que se trata de uma variável bem mais fácil de ser obtida do que sua correspondente altura dominante (hdom).

Em resumo, para ambas espécies foram coletados dados referentes ao DAP, ddom, hdom, área basal, idade e combustível vivo (fitomassa e altura) e morto (peso). A espessura da liteira foi medida apenas nas plantações de pinus; da mesma forma, somente nas de eucalipto foram feitas medições relativas à altura do combustível superficial vivo (vegetação baixa - hv), respeitando o limite ilustrado na Figura 2. Este tipo de medição não foi feito nas plantações de *Pinus taeda* por causa da baixa ocorrência deste tipo de combustível na maioria das idades, além da visível descontinuidade nos talhões onde ocorria. Por sua vez, a medição da espessura da liteira de *E. dunnii* não foi efetuada devido ao grau de dificuldade operacional decorrente de sua grande desuniformidade.

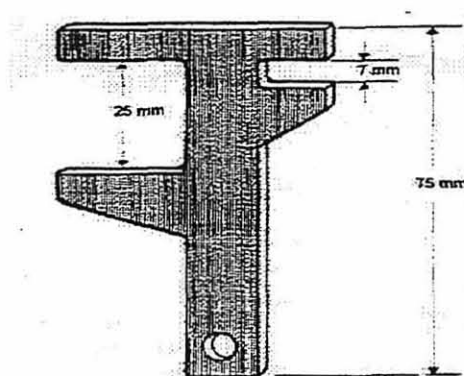
#### b) Quantificação do material combustível

Após a medição da altura a vegetação viva foi cortada rente ao piso do povoamento, pesada e homogeneizada, para a retirada de uma sub-amostra, que após pesada, foi levada para secagem dentro de cartuchos de papel devidamente identificados. Em seguida, foi feita a separação dos componentes do combustível morto contido também nos limites do gabarito.

No início desta operação foram usados um facão e um serrote de poda para facilitar a remoção e posterior classificação de todo o material contido na área de um metro quadrado. O folheto (acículas ou folhas mais miscelâneas) até a camada F inclusive, foi separado do material lenhoso (fragmentos de ramos, cones, cascas, restos de exploração e estruturas da vegetação baixa morta), o qual, com auxílio de um calibrador de fibra (Figura 5), foi classificado em quatro diferentes padrões de espessura:

- $\phi_1$  - até 7 mm;
- $\phi_2$  - de 7,1 a 25 mm;
- $\phi_3$  - de 25,1 a 75 mm;
- $\phi_4$  - acima de 75 mm, quando havia.

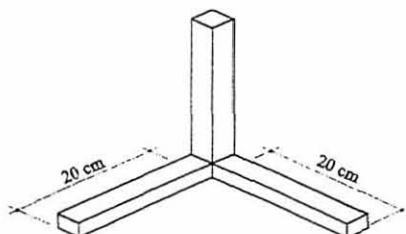
FIGURA 5. CALIBRADOR UTILIZADO PARA SEPARAÇÃO DAS CLASSES DE COMBUSTÍVEL



Fonte: BROWN (1974)

Nos quadros de coleta de material combustível dos talhões de *P. taeda* foi usado um pequeno gabarito (Figura 6), cujas dimensões (20x20 cm) foram definidas com base no processo de amostragem realizado por HINGSTON e GALBRAITH (1989), visando preservar e facilitar a retirada das amostras de acículas, antes da remoção, separação e classificação do combustível morto lenhoso, acumulado no piso do povoamento. Uma faca de pescador com boa afiação foi usada para garantir eficiente corte das acículas, rente aos limites do gabarito.

FIGURA 6. GABARITO UTILIZADO NA COLETA DE ACÍCULAS DE *Pinus taeda*



Depois da identificação e separação dos materiais das duas espécies foi feita a pesagem do folheto e das diferentes classes de espessura, para posterior retirada das respectivas sub-amostras, também acondicionadas em cartuchos de papel, etiquetadas, pesadas e em seguida conduzidas à secagem.

Preliminarmente, todas as sub-amostras sofreram pré-secagem contínua numa câmara de abertura de cones por um período nunca inferior a cinco dias, a uma temperatura na faixa de 28°C, devido às dimensões de algumas classes (> 25 mm). A secagem efetiva foi realizada em uma estufa marca Du-Leo com 2 m<sup>3</sup> de capacidade e circulação de ar forçada, da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI / SC) a uma temperatura de 80°C até atingir peso constante, condição obtida em menos de 48 horas.

Para evitar possíveis distorções, a pesagem do material úmido e seco foi feita numa balança de marca Ohaus, com capacidade de 2610 gramas e precisão de 0,1 grama, no campo e no laboratório, respectivamente.

A quantidade “W” em peso de matéria seca para os diferentes tipos e classes de material combustível foi calculada da seguinte forma:

$$W = \left( \frac{\text{Peso da sub-amostra SECA} \times \text{Peso da amostra ÚMIDA}}{\text{Peso da sub-amostra ÚMIDA}} \right) \times 10 \quad (\text{Mg/ha}) \quad [30]$$

Os valores médios assim determinados, para cada unidade amostral das oito idades de cada espécie, foram diretamente convertidos em megagrama por hectare ao serem multiplicados por dez.

A determinação da quantidade de combustível pelo peso de matéria seca por unidade de área (hectare), derivou da necessidade de evitar a influência da umidade do material no resultado final.

### 3.2.2 Estabelecimento das classes de combustível

Com base na estrutura dos dados, resultante das primeiras etapas de processamento, nos preceitos inerentes ao manejo do fogo e inferências relativas à

espessura *versus* progressão do fogo, foram estabelecidas as seguintes classes baseadas nas dimensões e nos limites de *timelag*\* do material combustível:

$W$  → massa de material seco em Mg/ha

$W_f$  → folheto das camadas L e F da liteira de *E. dunnii*;

$W_a$  → acículas das camadas L e F da liteira de *P. taeda*;

$W_{\phi_1}$  → material lenhoso com  $\phi^{**}$  menor que 7 mm;

$W_{\phi_2}$  → material lenhoso com  $\phi$  entre 7,1 e 25 mm;

$W_{\phi_3}$  → material lenhoso com  $\phi$  entre 25,1 e 75 mm;

$W_{\phi_4}$  → material lenhoso com  $\phi$  acima de 75 mm;

$W_1$  [  $W_a$  ou  $W_f + W_{\phi_1}$  ] → estoque combustível c/ *timelag* de até 1 hora;

$W_{10}$  [  $W_1 + W_{\phi_2}$  ] → estoque combustível c/ *timelag* de até 10 horas;

$W_{100}$  [  $W_{10} + W_{\phi_3}$  ] → estoque combustível c/ *timelag* de até 100 horas;

$W_k$  [  $W_{100} + W_{\phi_4}$  ] → estoque combustível c/ *timelag* maior que 100 horas;

$W_v$  → combustível superficial vivo, e

$W_t$  → combustível total [  $W_v + W_k$  ]

### 3.3 ELABORAÇÃO DOS MODELOS

#### 3.3.1 Análise exploratória dos dados

Antes da montagem da matriz de correlação das variáveis de potencial interesse na modelagem, os dados relacionados ao material combustível foram submetidos a uma análise preliminar para verificação da homogeneidade e variância das médias (homocedasticidade), através da aplicação do teste de Bartlett. Dependendo

---

\* Intervalo de tempo requerido para a unidade do material combustível perder aproximadamente 2/3 da diferença entre um valor inicial uniforme de equilíbrio para um novo equilíbrio, após uma subita mudança das condições ambientais (BYRAM, 1963).

\*\* Refere-se à espessura do material lenhoso



das características de cada variável e da fase de desenvolvimento das análises, foram feitas transformações para as variáveis resposta, tomando os exemplos de CRUZ (1985) e SCHMIDT (1977). Mesmo nos casos em que o teste não acusava heterogeneidade, algumas transformações também foram feitas, na expectativa de obtenção de melhores ajustes.

### 3.3.2 Associação entre variáveis

Inicialmente, para obtenção do grau de relacionamento das variáveis explicativas com as quantidades “W” de material combustível observadas em todas as idades, foi montada para cada espécie uma matriz de correlação com todas as variáveis envolvidas, de modo a permitir uma seleção daquelas com os melhores coeficientes, conforme escala do tipo adotada por SCHMIDT (1977), ou seja, até 0,30 - baixa; de 0,31 a 0,60 - média; de 0,61 a 0,80 - forte e acima de 0,80 - muito forte.

Para efeito de comparação, as correlações foram consideradas em seus valores absolutos. Essa fase possibilitou a exclusão de variáveis explicativas e de resposta, antes mesmo da etapa de transformação das variáveis que participaram da elaboração dos modelos, simplificando o quanto possível o desenvolvimento das análises subsequentes. As variáveis de resposta também foram selecionadas com base em critérios de ordem prática.

### 3.3.3 Análises de regressão

Após eliminadas algumas variáveis explicativas, com base na matriz de correlação, as análises prosseguiram com apenas três destas variáveis para cada uma das espécies estudadas:

- *Pinus taeda* : DAP médio, idade e espessura média da camada de acículas;
- *Eucalyptus dunnii* : Idade, área basal e altura da vegetação baixa do sub-bosque.

A definição destas variáveis também foi baseada em aspectos de ordem prática relativos às mesmas, quais sejam: baixa propensão a erro, relação com o sítio e facilidade de obtenção.

A seleção das variáveis de resposta teve como principal critério o grau de importância das mesmas no contexto dos incêndios florestais, embora tenham sido avaliadas também pelo grau de relacionamento que apresentavam com as variáveis explicativas. As equações para estimar a quantidade de material combustível foram ajustadas a partir destas variáveis e das variáveis explicativas transformadas e não transformadas que apresentaram forte correlação com as mesmas (acima de 0,50). Tais transformações foram baseadas em uma matriz de diagramas de dispersão dos dados e em modelos ajustados por pesquisadores como BRENDER *et al.* (1976); BROWN e MARSDEN (1976); EDWARDS (1976); TRABAUD (1977); MEEUWING *et al.* (1979); SOARES (1979); PHILLIPS e SAUCIER (1979); GRIER e MILNE (1981); AGEE (1983); CRUZ (1985); BRUSKIN (1995); FERRARI e SUGITA (1996) e WENDLING (1998), para estimar material combustível ou mesmo fitomassa, uma vez que para as referidas espécies nas condições da pesquisa ainda não foi desenvolvido nenhum modelo. A partir daí, foi dado início ao estudo do máximo de situações possíveis, na busca de uma equação que pudesse satisfazer as exigências de um plano de proteção contra incêndios florestais na Região do Contestado.

As principais transformações efetuadas foram:

- Variáveis de resposta :  $Y' = 1/Y, \sqrt{Y}, \log Y, \ln Y, Y$ ;
- Variáveis explicativas simples :  $X'$  para  $X' = 1/x, \log x$  ou  $\ln x, \log(1/x)$  ou  $\ln(1/x), 1/\log x$  ou  $1/\ln x$ , sofrendo  $x$  uma variação até o terceiro grau e assumindo também  $\sqrt{x}$  e  $x\sqrt{x}$ ;
- Variáveis combinadas :  $X''$  como  $f(x_1, x_2)$  - produto de duas variáveis explicativas nas formas normal  $(x_1, x_2)$  ou transformada  $(x_1^2, x_2^2)$  (quadrática) usado em substituição ao  $x$  de  $X'$ .

Embora a combinação de todas as situações tenha resultado em um número expressivo de equações a selecionar pelo método "Todas as Regressões Possíveis", o simultâneo processo de ajuste pelo método *Stepwise* (*Forward* e *Backward* em alguns casos) com avaliação dos resultados desde a primeira matriz de correlação até o julgamento preliminar dos modelos feito com base no  $R^2$ ,  $S_{y,x}$ , e razão de variância  $F$ , contribuiu para que esse número fosse substancialmente reduzido facilitando assim a

aplicação desse método. A partir deste ponto foi possível obter para uma mesma variável resposta, ajustes de equações estatisticamente próximas às obtidas pelo método *Stepwise*, com características operacionais de grande potencial. Dessa forma, a inclusão de outros critérios, a posteriori, não ofereceu maiores dificuldades para a pré-seleção de mais de um modelo.

### 3.4 PROCEDIMENTO ANALÍTICO

Uma vez definidas todas as variáveis de forte correlação, diversos modelos foram testados (linear simples e múltiplo, polinomial, exponencial, logaritmo ou potencial) utilizando as variáveis resposta e explicativas nas formas normal e transformada. O processamento desta etapa das análises foi feito com o auxílio do software Statistica versão 5.0 (licenciado para o Departamento de Estatística da Universidade Federal do Paraná), utilizado para o desenvolvimento da maior parte das operações necessárias aos ajustes dos modelos, desde os testes de homogeneidade até as análises de regressão múltipla e estudo preliminar das equações não lineares pelo método Quasi-Newton com posterior determinação do  $R^2$  ajustado e erro padrão da estimativa pelo método dos Mínimos Quadrados.

O método *Stepwise* foi adotado face aos inúmeros modelos passíveis de ajuste ao ser considerado o número de variáveis de resposta e explicativas, mais de uma espécie, além das transformações necessárias ao ajuste de modelos não lineares pelo método dos Mínimos Quadrados.

Os modelos não lineares ajustados foram obtidos principalmente a partir de inferências e adaptações a modelos de mesma natureza, sem que no entanto fossem preteridas as análises exploratórias em bases diagramáticas. O ajuste destes modelos possibilitou ampliar as opções de escolha dos melhores entre um número mínimo, seja pelas estatísticas ou pelas demais peculiaridades.

### 3.4.1 Avaliação dos modelos

Os ajustes de um grande número de equações foram avaliados de forma intensiva numa primeira etapa através do coeficiente de determinação  $R^2$ , erro padrão da estimativa como percentagem da média estimada ( $S_{yx}\%$ ), além da razão de variância F e em seguida, em número bem menor e de modo extensivo, pela análise de resíduos e pelo  $R^2$  ajustado.

Não houve necessidade de empregar o Índice de Furnival (SCHNEIDER 1997) nas comparações entre as equações aritméticas e logarítmicas pois todas as variáveis de resposta que não se encontravam na sua forma natural, sofreram retrotransformação para novo cálculo do  $R^2$  e erro padrão da estimativa. Além destes índices estatísticos foram levados em consideração critérios de ordem operacional ligados às variáveis envolvidas, nos moldes anteriormente mencionados.

A análise de resíduos foi feita pela distribuição dos valores dos mesmos ao longo da linha do valor estimado  $Y_i$ . A partir destes diagramas e dependendo da dispersão dos erros, os *outliers* identificados eram avaliados segundo os critérios mencionados por WERKEMA e AGUIAR (1996), sendo eliminados nos casos de comprometimento dos ajustes, desde que essa remoção não representasse um mascaramento de um fenômeno relevante. Também foi levado em consideração se a distribuição desses erros seguia o padrão Gaussiano.

#### a) Critérios adicionais para seleção do melhor modelo

Além dos critérios estatísticos, os modelos foram escolhidos com base nas características das variáveis explicativas e de resposta e na sua composição.

No primeiro caso, foram considerados: facilidade de obtenção da variável, precisão que a medição da variável permite, grau de relação de dependência de fatores do sítio e inter-correlação entre as mesmas quando se tratava de duas ou mais, integrando o mesmo modelo. Além do mais, o nível de multiplicidade de variáveis ou complexidade do modelo também foi considerado como critério de seleção, favorecendo os modelos mais simples.

Em relação à variável resposta foram considerados o potencial de abrangência do modelo e sua posição hierárquica no contexto dos níveis de periculosidade, o qual, é determinado com base no *timelag*, parâmetro estritamente dependente da espessura do material lenhoso que é a dimensão controladora da velocidade do fluxo de umidade.

### 3.5 CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS E CALIBRADOR DE CARGA

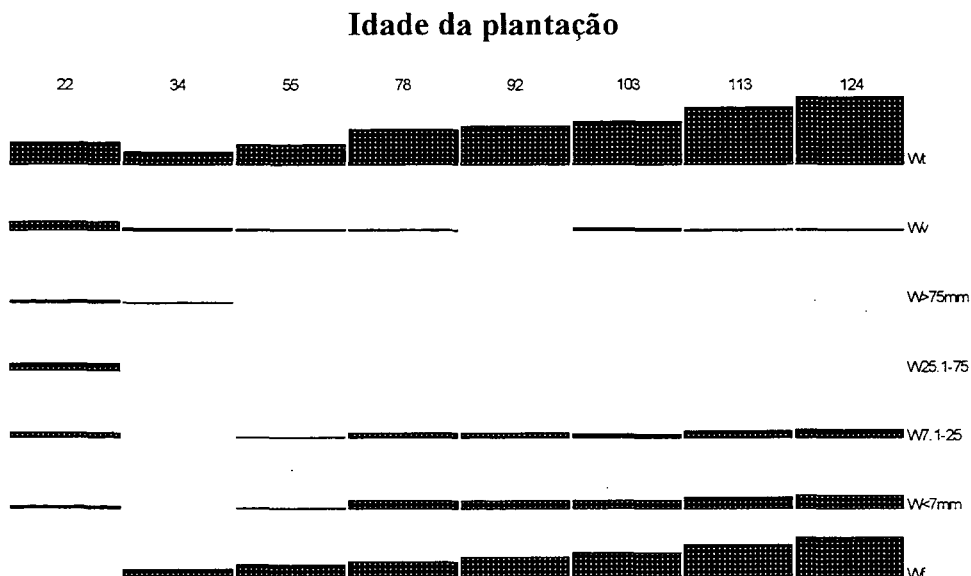
Após a escolha dos melhores modelos para cada variável das duas espécies, foram construídos gráficos para facilitar a operacionalização do modelo na estimativa ou predição da quantidade do material combustível existente ou a se acumular em povoamentos de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* sem desbaste e com igual espaçamento, plantados na região da pesquisa ou em regiões com características ecológicas bem próximas.

Com base no melhor modelo ajustado para estimar a carga de acículas nas plantações de *Pinus taeda*, foi projetada uma régua graduada (calibrador de carga) para determinação deste combustível diretamente no campo.



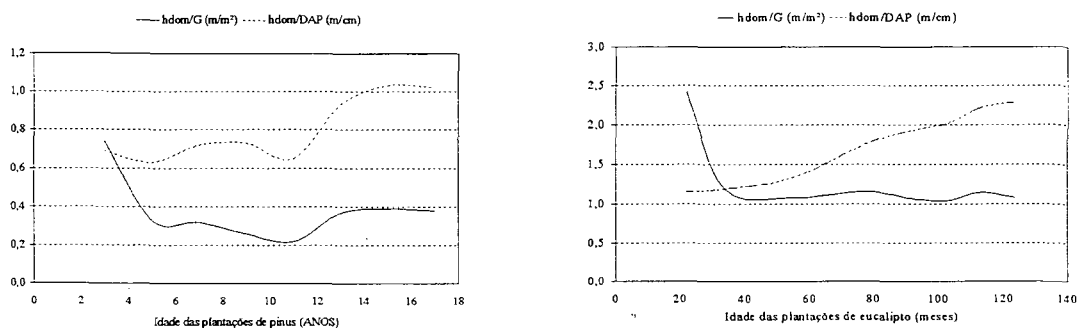


FIGURA 10. CARGAS DAS DIFERENTES CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL VARIANDO EM FUNÇÃO DA IDADE DE *Eucalyptus dunnii*



A relação  $h_{dom}/G$  (Figura 11) é mais ou menos constante a partir do quinto ano para o pinus e do trigésimo quarto mês para o eucalipto, período em que já se verifica concorrência de luz entre as árvores, limitando o desenvolvimento da vegetação invasora e provocando a queda de folhas e de outros fragmentos que passam a contribuir com a formação da camada de combustíveis superficiais mortos.

FIGURA 11. RELAÇÕES DA ALTURA DOMINANTE COM DAP E ÁREA BASAL NAS PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* E *Eucalyptus dunnii*





a) Massa de folheto e material lenhoso

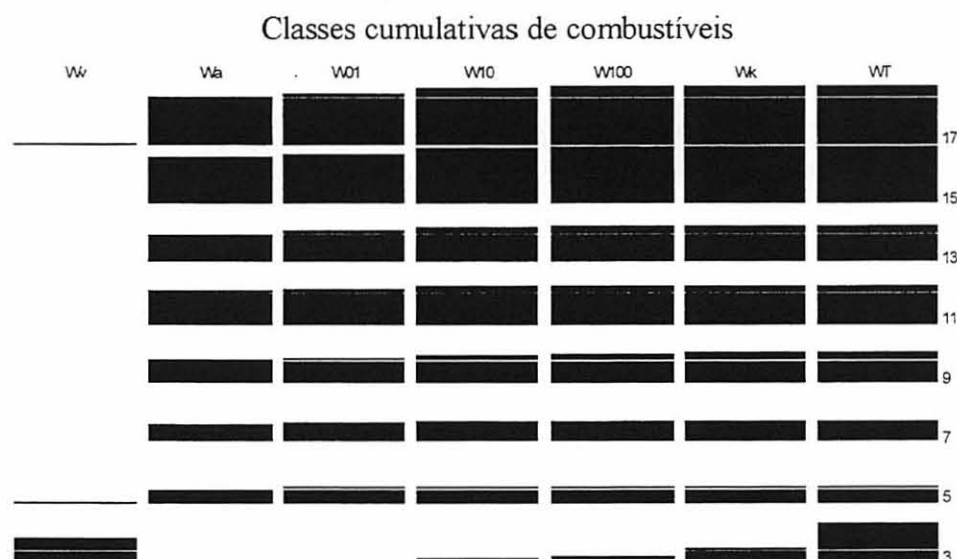
O combustível representado pelos materiais contidos na liteira, apresentou nas duas espécies, uma quantidade muito pequena na idade mais jovem que aumenta em função do tempo, demonstrando que até nas idades mais avançadas pesquisadas, a acumulação deste material ainda não estacionou, ou seja, o processo de deposição continua suplantando o processo de decomposição. A tendência de incremento deste tipo de carga é acompanhada pelos materiais lenhosos da faixa de 7,1 a 25mm também nas duas espécies (Figuras 8 e 10), apesar das diferenças destes ecossistemas. Tudo indica que, os combustíveis lenhosos de espessura acima de 7 mm encontrados já aos 22 meses nas plantações de *Eucalyptus dunnii*, resultaram principalmente da exploração do povoamento anterior, embora boa parte do material menos espesso possa ser produto da deposição de serapilheira da vegetação concorrente. Apesar de acontecer o mesmo nas plantações de *Pinus taeda*, alguns vestígios ainda são encontrados nas idades mais avançadas, principalmente quando as espessuras situam-se acima de 25 mm. Nestas idades não foi observada uma deposição contínua de materiais com estas dimensões, o que permite deduzir que pode estar havendo uma maior resistência destes materiais remanescentes ao processo de decomposição. No entanto, observações *in loco*, feitas por ocasião dos levantamentos, revelaram que se trata de materiais derivados de árvores que cederam à intensa concorrência que normalmente ocorre com um certo tempo após o fechamento do dossel (raleio natural), o qual, para esta espécie, já havia acontecido entre o 3º e 5º anos, conforme comportamento da relação  $h_{dom}/G$  representada na Figura 11 A estabilização desta tendência também ocorre após os 34 meses nas plantações de *Eucalyptus dunnii* porém, as conseqüências de um dossel menos denso não podem ser traduzidas em maiores acúmulos de materiais de grande espessura, além do que, as diferenças microclimáticas (variações de temperatura e umidade) decorrentes dessa densidade podem contribuir com a aceleração do processo de decomposição de resíduos remanescentes de maior espessura.

Embora originalmente concentrados em classes de material ( $W\phi n$ ) comumente adotadas em pesquisas como esta, os dados relativos aos combustíveis mortos foram

também submetidos a uma reordenação em classes cumulativas de espessura, limitadas pelo *timelag* (Figuras 12 e13). Esta alternativa de classificação parte do principio que numa escala ascendente deste parâmetro (espessura) nenhuma dimensão maior fica sujeita à combustão sem que dimensões imediatamente abaixo também e preliminarmente o estejam. Isto porque, a completa combustão de um tipo de material com uma determinada espessura está em estrita dependência da ocorrência prévia deste processo entre os de menores dimensões, desde que as demais características do complexo em combustão sejam as mesmas para todos os combustíveis.

Nesta outra forma de classificação, o total de material combustível morto “ $W_k$ ” é resultado da somatória de todas as cargas, desde o folheto ( $W_a$  ou  $W_f$ ) até os combustíveis com *timelag* acima de 100 horas. A classe “ $W_t$ ”, por sua vez, representa a soma dessa classe ( $W_k$ ) com a classe de combustível vivo “ $W_v$ ” ou fitomassa da vegetação de pequeno porte do sub-bosque das plantações de pinus e eucalipto.

FIGURA 12. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES CUMULATIVAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS DIFERENTES IDADES DE *Pinus taeda*

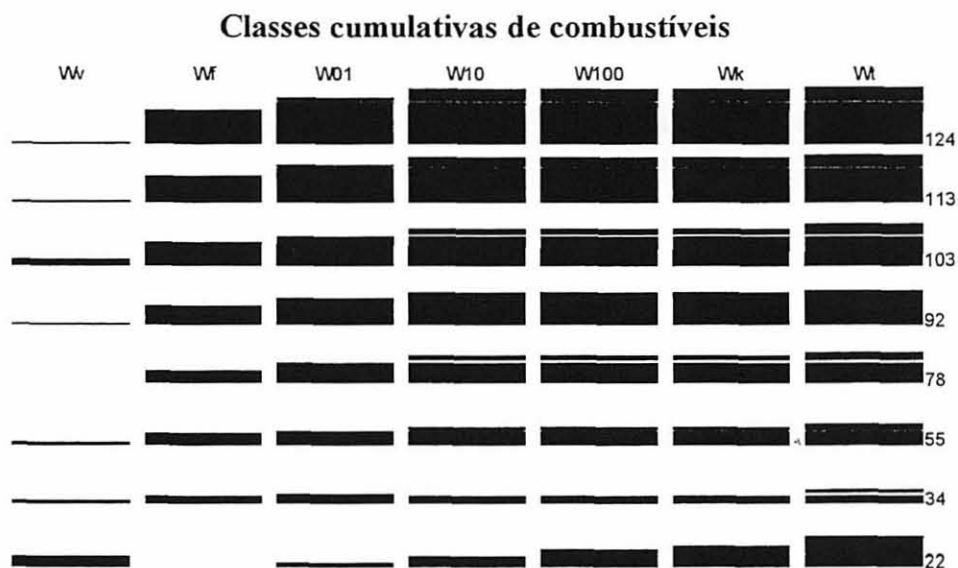


Conforme pode ser visto na Figura 12, o total de combustíveis mortos ( $W_k$ ) representou a partir do 5º ano uma parcela igual ou muito próxima a 100% de toda a carga de combustível superficial, em todas as idades dos povoamentos de pinus. Desse

total, a carga de acículas contribuiu com uma significativa fração, que flutuou entre 75,7 e 91% (Tabela 19 do ANEXO 2). As diferenças de carga em relação ao total de combustíveis mortos, passam a ser inexpressivas a partir da classe  $W_{10}$ .

Conforme a Figura 13, a carga de combustível morto da plantação de *E. dunnii* com 22 meses constitui apenas um pouco mais da metade da carga de combustível total, haja vista a alta participação da fitomassa da vegetação baixa. Nessa idade, o total de material combustível morto era composto quase que exclusivamente por material remanescente e alguma deposição da vegetação concorrente, visto que se passaram menos de dois anos após a realização do plantio, espaço de tempo muito curto para redução desse tipo de vegetação pela limitação de luz, embora antes tenham sido efetuadas as devidas operações de limpeza. A partir dos 34 meses essa proporção continuou crescendo, atingindo aos 78 meses um valor em torno de 90% que se manteve até a última idade inventariada.

FIGURA 13. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES CUMULATIVAS DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS DIFERENTES IDADES DE *Eucalyptus dunnii*



A proporção de folheto nestas plantações apresentou valores mais baixos do que os observados para as acículas de pinus, mantendo-se em torno de 50%. Não foram observados aumentos em relação ao total de combustível morto a partir de

“ $W_{10}$ ” para a maioria das idades de *E. dunnii*. Isso significa dizer que os combustíveis acima de 25 mm não tiveram participação significativa na carga de combustível total após o fechamento do dossel

Estudos realizados por AGEE (1983) mostraram que árvores crescendo em povoamentos ralos produziam maior peso de folhagem do que as que cresciam sob maiores densidades e que esta produção também variava em proporção direta com a altura das árvores. O autor observou ainda que a massa de folhagem de espécies do sub-bosque reagiu diferentemente às mudanças em área basal, ou seja, a massa do folhagem de *Pinus* spp. aumentou com o decréscimo da área basal. A partir daí, o autor concluiu que as condições locais do povoamento podem afetar a carga de combustíveis da vegetação do sub-bosque de modo mais significativo do que as diferenças geográficas – outro fator considerado na discussão do referido trabalho. Os resultados obtidos na presente pesquisa acompanham em parte a segunda observação feita por AGEE (1983), mas não concordam no que diz respeito a relação entre a produção de folhagem e a área basal, pois tanto no caso do eucalipto quanto do pinus estas variáveis apresentaram forte correlação positiva. É possível que a pesquisa do referido autor não tenha sido conduzida em povoamentos não submetidos a desbastes, daí a diferença.

#### b) Fitomassa da vegetação baixa

Uma quantidade expressiva de vegetação viva de pequeno porte foi registrada na idade mais baixa de ambas as espécies (Figuras 12 e 13). Nas plantações de eucalipto ela foi mais alta nos primeiros 22 meses, caindo de modo suave ao longo dos demais, apresentando no entanto, uma retomada considerável na idade de 103 meses voltando a cair em seguida. A altura “hv” (Tabela 20 do ANEXO 2) apresentou comportamento semelhante, embora não na mesma proporção, demonstrando uma leve potencialidade para ser usada no monitoramento desse tipo de carga.

Nas plantações de pinus, por sua vez, as proporções entre combustível vivo e morto se inverteram em relação à primeira idade (3 anos), caindo de maneira expressiva na subsequente (5 anos) e assim por diante, atingindo na 4ª idade (9 anos) o valor zero, mantendo-se praticamente neste nível a partir de então. Uma maior quantidade de luz sobre o piso dos talhões nas idades mais jovens pode ter favorecido o desenvolvimento

da vegetação herbácea, arbustiva e até mesmo de alguns arbúsculos oriundos de regeneração natural. As Tabelas 17 e 19 do ANEXO 2 fornecem uma melhor idéia a respeito das diferenças relativas entre as cargas ilustradas nas Figuras 12 e 13.

O não fechamento do dossel na fase mais jovem e a mortalidade e desrama natural nas mais avançadas são possivelmente duas das principais responsáveis pelas diferenças observadas em relação ao acúmulo de material combustível superficial sob as plantações das duas espécies. Segundo BRENDER *et al.* (1976), em povoamentos de idades mais jovens a vegetação invasora constitui a maior fração desse combustível, enquanto nas idades mais avançadas, o material morto do piso florestal chega a contribuir com até 97 % da carga total do combustível superficial, concordando com os resultados obtidos na presente pesquisa.

#### c) Combustível total

Aos 3 anos de idade mais da metade do combustível superficial total da plantação de pinus era constituído de combustível vivo (Figura 12), enquanto no eucalipto a proporção entre combustível vivo e morto apresentou valor inverso aos 22 meses (Figura 13); diferença que pode ser explicada pelo mais rápido crescimento desta espécie, comprometendo o desenvolvimento da vegetação concorrente. Nas demais idades, as quantidades totais, conforme já comentado, foram representadas quase que exclusivamente pelas respectivas cargas de combustível morto, uma vez que os totais relativos a vegetação viva foram negligenciáveis a partir do quinto ano. Desta carga, a maior proporção foi devida a massa de acículas, com pequena contribuição dos materiais lenhosos. Já nas plantações de eucalipto, os combustíveis de espessura menor que 25,1 mm proporcionaram uma contribuição mais expressiva ao combustível total.

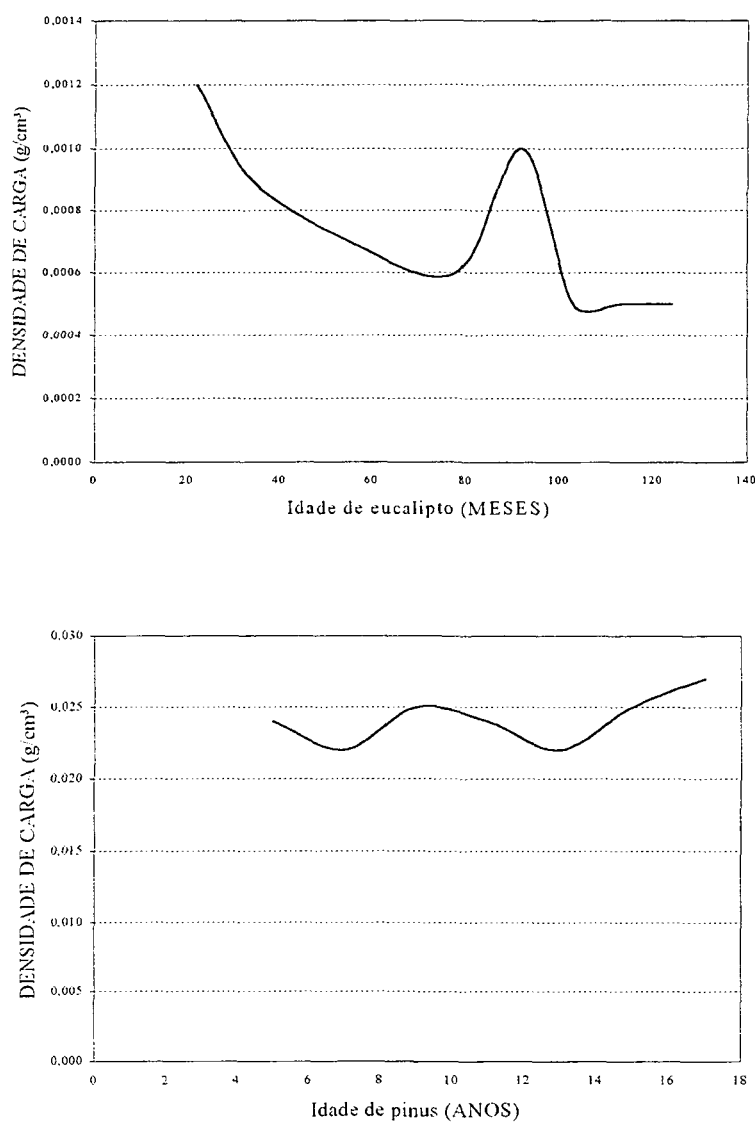
Excetuando-se as duas primeiras idades estudadas, somente nas plantações de pinus as cargas com dimensões acima de 25 mm apresentaram alguma participação na carga total.

Em suma, apenas em relação às plantações de *Pinus taeda* foi constatada uma única classe de combustível capaz de representar com boa aproximação a carga total de combustível “Wt” – as acículas.

#### 4.1.2 Densidade de carga

A Figura 14 ilustra uma variável de grande importância para a previsão do comportamento do fogo, neste trabalho denominada de “densidade de carga” “ $\delta_w$ ”, utilizada para medir o grau de compactação dos combustíveis florestais. Valores altos, indicam maior dificuldade de propagação do fogo e vice-versa, considerando-se como constantes o tipo de combustível, teor de umidade, inclinação do terreno e espessura do combustível, além dos aspectos climáticos.

FIGURA 14. DENSIDADE DE CARGA DA VEGETAÇÃO BAIXA DE *E. dunnii* E DA CAMA DE ACÍCULAS DE *Pinus taeda*



Por não ter ocorrido deposição de acículas até o terceiro ano de idade nas plantações de *Pinus taeda*, não foi possível calcular esta variável para este período, enquanto que nas demais, os valores calculados mostraram uma leve flutuação entre 0,022 e 0,027 g/cm<sup>3</sup> (Figura 12), o que leva a deduzir que não existe um comportamento crescente ou decrescente em função da idade para essa variável e sim uma relação mais ou menos constante entre o peso das acículas e o volume da liteira das plantações desta espécie, independentemente da idade. Assim sendo, a espessura desta camada pode ser considerada um estimador potencial da sua carga nas idades em que já se verifique a deposição de acículas. Não se pode dizer o mesmo em relação a densidade de carga do estrato de combustível verde de *E. dunnii* pois, apesar de apresentar expressiva distorção aos 92 meses tende a manter-se numa escala decrescente ao longo do período estudado, variando de 0,0012 a 0,0005 g/cm<sup>3</sup>. A grande discrepância do valor observado aos 92 meses pode estar relacionado a presença de animais de criação que costumavam pastar naquela plantação, detalhe não observado nas demais. A rebrota constante decorrente deste fato geralmente resulta em vegetação de baixo porte e fitomassa relativamente alta, proporcionando uma densidade mais elevada do que a que deveria ocorrer em condições não perturbadas, muito embora a “pressão de pastejo” também possa ser responsabilizada por variações desta magnitude.

Como os resultados mostraram que a densidade diminui com a idade, não fica difícil deduzir que o risco de incêndios tende a aumentar, especialmente nos períodos de seca prolongada que geralmente ocorrem no inverno, apesar de que boa parte da vegetação pode atuar como obstáculo à propagação de fogo superficial quando ainda muito verdes. Coincidentemente, enquanto os referidos valores mantiveram-se em decréscimo ocorreram os maiores incrementos de serapilheira, os quais podem ser resultantes de uma maior ação dos ventos, da mudança dos níveis de luminosidade e do processo de sucessão da vegetação baixa. Ou seja, se por um lado idades mais avançadas desta espécie proporcionam altas cargas de combustível morto, suas correspondentes condições microclimáticas aumentam também o potencial de risco ao reduzirem a densidade de carga, visto que proporcionam à vegetação um maior

crescimento em volume do que em massa de matéria seca. Um incêndio ou queima ocorrendo em épocas críticas pode produzir maior intensidade e potencial de crescimento ao atingir esse material. Prognoses deste gênero encontram maiores subsídios nas chaves de previsão de comportamento do fogo propostas por FANESTOCK (1970).

As observações feitas nesta pesquisa diferem das conclusões obtidas por BARNEY *et al.* (1981) em relação a liteira de “black spruce”, uma espécie frequentemente atingida pelo fogo no Alaska, EUA. Além de uma grande amplitude de valores os autores obtiveram densidades de carga (0,005 a 0,016 g/cm<sup>3</sup>) mais baixas que as observadas para a liteira de *P. taeda*, justificando assim a facilidade com que os incêndios ocorrem naqueles ecossistemas. LEE *et al.* (1983) obtiveram valores nessa faixa em povoamentos mistos de *P. palustris* e *P. elliotii* com 45 anos, localizados em uma Floresta Experimental da Universidade da Flórida, EUA; as variações observadas tinham ligação com as diferentes camadas da liteira: 0,006 g/cm<sup>3</sup> para a camada (L) e 0,014 g/cm<sup>3</sup> para o estrato formado pelas camadas (F+H).

Um mais elevado valor da densidade de carga aqui observado não significa necessariamente que os talhões de *P. taeda* estudados estejam menos sujeitos ao risco de incêndio.

## 4.2 MODELOS AJUSTADOS

### 4.2.1 Redução de variáveis

Das doze variáveis dependentes preliminarmente eleitas, apenas três continuaram a fazer parte da análise. No entanto, as demais foram úteis na discussão dos aspectos quantitativos relacionados às diferentes classes de material combustível e suas relações com o potencial de ocorrência e propagação de incêndios nas referidas plantações.

As Tabelas 1 e 2 exibem um total de 18 variáveis cada uma, sendo 06 explicativas e 12 de resposta, para ambas as espécies. Considerando os princípios mencionados por WERKEMA e AGUIAR (1996), DRAPER e SMITH (1966) e



VANCLAY (1994), elas foram submetidas a sucessivos processos de eliminação até serem reduzidas a menos da metade.

A matriz de correlação da Tabela 1 mostra que os combustíveis de espessura superior a 25 mm apresentaram uma relação inversa, embora baixa, com praticamente todas as variáveis explicativas. Como estas variáveis mantêm uma associação positiva com a idade, existe a possibilidade de que os combustíveis de grandes dimensões tendam a desaparecer com o tempo nas plantações de eucalipto, assim sendo, a melhor inferência que pode ser feita é que esses materiais não são produzidos nestas plantações e que a presença dos mesmos em algumas idades é oriunda quase que exclusivamente dos processos de exploração dos povoamentos da rotação anterior. O mesmo raciocínio pode ser estendido a carga de combustível vivo “Wv”, que também apresenta correlação negativa com a idade, DAP, área basal e altura dominante. A densidade de carga da vegetação do sub-bosque “ $\delta_{wv}$ ” não mostrou forte associação com nenhuma das variáveis, no entanto, sua relação inversa com as mesmas sugere tendência de declínio com o avanço da idade da plantação.

TABELA 1. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS MENSURADAS E AS CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus dunnii*

Variáveis de resposta	Variáveis explicativas					
	Idade	DAP	ddom	G	h <sub>v</sub>	hdom
Wf	<u>0,885</u>	0,683	0,786	<u>0,836</u>	0,009	<u>0,859</u>
W $\phi_1$	0,781	0,495	0,669	0,703	0,078	0,740
W $\phi_2$	0,370	0,091	0,246	0,285	0,106	0,312
W $\phi_3$	-0,339	-0,492	-0,425	-0,399	0,149	-0,398
W $\phi_4$	-0,233	-0,348	-0,293	-0,276	-0,033	-0,276
W <sub>01</sub>	0,907	0,668	0,798	0,847	0,030	0,876
W <sub>10</sub>	<u>0,878</u>	0,599	0,752	<u>0,804</u>	0,053	<u>0,836</u>
W <sub>100</sub>	0,808	0,489	0,660	0,719	0,089	0,751
Wk	0,797	0,461	0,640	0,702	0,087	0,735
Wv	-0,387	-0,596	-0,514	-0,477	<u>0,672</u>	-0,472
Wt	<u>0,734</u>	0,343	0,545	<u>0,617</u>	0,238	<u>0,652</u>
$\delta_{wv}$	-0,393	-0,468	-0,435	-0,428	-0,282	-0,440

De acordo com a Tabela 2, nas plantações de pinus apenas os combustíveis com espessura acima de 75 mm e os combustíveis vivos apresentaram correlação negativa com todas as variáveis explicativas, o que permite inferir que os combustíveis destas classes tendem a diminuir quando a idade da plantação ou os valores das demais variáveis aumentam. No entanto, como as maiores quantidades de combustíveis grossos estão concentradas em idades baixas (Figura 8), estas cargas podem ser interpretadas como o resultado da competição por luz associado a grandes quantidades de resíduos da exploração passada. Quanto ao combustível vivo “Wv”, a tendência de declínio pode ser atribuída às mudanças de luminosidade proporcionadas pelo fechamento do dossel, principalmente nas idades mais jovens.

A densidade de carga da liteira de *Pinus* não apresentou correlação muito boa com nenhuma das variáveis explicativas, resultado que de certa forma já era esperado devido as características dessa variável, comentadas no primeiro parágrafo da página 72.

TABELA 2. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS MENSURADAS E AS CLASSES DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda*

Variáveis de resposta	Variáveis explicativas					
	Idade	G	S	DAP	hdom	ddom
Wa	<u>0,787</u>	0,704	<u>0,883</u>	0,752	<u>0,735</u>	<u>0,756</u>
W $\phi_1$	0,676	0,522	0,600	0,542	0,657	0,569
W $\phi_2$	0,336	0,187	0,267	0,175	0,302	0,212
W $\phi_3$	0,147	0,023	0,037	0,011	0,123	0,030
W $\phi_4$	-0,273	-0,345	-0,339	-0,374	-0,279	-0,356
W <sub>01</sub>	0,807	0,716	0,894	0,763	0,756	0,770
W <sub>10</sub>	<u>0,812</u>	0,702	<u>0,883</u>	0,745	<u>0,759</u>	<u>0,757</u>
W <sub>100</sub>	0,812	0,690	0,869	0,731	0,757	0,745
Wk	0,773	0,632	0,817	0,668	0,715	0,685
Wv	-0,480	<u>-0,639</u>	-0,568	<u>-0,686</u>	-0,492	-0,627
Wt	<u>0,568</u>	0,334	<u>0,568</u>	0,347	<u>0,500</u>	0,398
$\delta wa$	0,529	0,628	0,602	0,683	0,510	0,638

a) Seleção das variáveis de resposta

Os coeficientes de correlação fornecidos pelas Tabelas 1 e 2 permitiram a constatação de baixa associação entre as classes definidas por faixas de dimensões complementares “ $W_{\phi n}$ ” e as 6 variáveis presumivelmente explicativas das plantações de pinus e eucalipto, sendo que apenas os combustíveis finos “ $W_{\phi 1}$ ” das plantações de *E. dunnii* apresentaram boa relação com uma destas variáveis - a idade. Por esta razão as referidas classes de combustível foram preteridas em favor das classes cumulativas definidas com base no *timelag*.

Forte correlação entre as variáveis explicativas e as classes de combustíveis não foi o único critério usado para selecionar as variáveis de resposta, particularidades relativas às classes cumulativas “ $W_n$ ” também foram levadas em consideração, principalmente a relação entre inflamabilidade e espessura do material combustível, detalhe já comentado no início da página 67. Por causa desta relação, os valores dos respectivos coeficientes tendem a manterem-se alto na mudança de classe, embora sofram ligeira redução de uma para outra, progressivamente. Além de tudo, estas classes apresentaram bons níveis de associação com praticamente todas as variáveis explicativas, excetuando-se o DAP de *E. dunnii*.

Para ambas as espécies, a classe “ $W_{10}$ ” é entre as cumulativas a que representa melhor balanceamento entre grau de associação com as variáveis explicativas e participação na carga total “ $W_t$ ” de combustíveis (Tabelas 16 e 18 do ANEXO 2). A opção por esta representante das classes cumulativas também levou em conta os fundamentos bibliográficos produzidos por SACKETT (1980), AGEE (1983), CHANDLER *et al.* (1983), PYNE (1984), BROWN e BEVINS (1986), McCAW (1996) e SCHIMMEL e GRANSTRÖM (1997), os quais fazem referências de destaque para os combustíveis cujas classes situam-se abaixo de 25 mm. Trata-se dos combustíveis que em regra, são consumidos pela maioria dos incêndios.

Além da variável resposta “ $W_{10}$ ”, foram escolhidas as variáveis referentes à carga de acículas ( $W_a$ ) e de folheto ( $W_f$ ) e à carga superficial total ( $W_t$ ) para as duas espécies, em função da importância destas informações no que diz respeito à avaliação do potencial de risco de incêndio. A estas variáveis foi acrescentada a carga de

combustível vivo ( $W_v$ ) das plantações de *E. dunnii*, em razão da forte presença destes materiais em todas as idades e de seus níveis de contribuição na carga total, particularmente na idade mais jovem, embora esta variável só tenha apresentado boa correlação com a altura da baixa vegetação do sub-bosque ( $h_v$ ).

Esta carga de combustível apresentou também uma razoável relação inversa com o DAP, cujas análises preliminares não proporcionaram bons ajustes que justificassem a sua escolha como variável regressora para estimar o combustível vivo nesta pesquisa. Se bem que o DAP geralmente é usado para modelagem de combustível verde das copas, o qual, segundo WADE (1969); TRABAUD (1977) e CHANDLER *et al.* (1983) apresenta relações com o desenvolvimento da vegetação baixa do sub-bosque. Para *Pinus taeda* (Tabela 2), foi exatamente esta variável a que apresentou mais forte correlação com a carga de combustível vivo da vegetação do sub-bosque. Isso sugere que o crescimento em diâmetro é acompanhado pelo aumento da massa de folhagem e respectivo sombreamento, influenciando negativamente o desenvolvimento da vegetação baixa.

#### b) Seleção das variáveis explicativas

Nas plantações de *P. taeda* o DAP além de apresentar alta correlação com a carga de combustível vivo " $W_v$ ", apresentou também, juntamente com a idade, espessura da liteira e  $h_{dom}$ , uma boa correlação com as variáveis " $W_a$ " e " $W_{10}$ ", embora não tenha mostrado tão boa correlação com a carga total " $W_t$ ", a qual, também não apresentou melhores resultados em relação as outras variáveis explicativas. As médias por idade, obtidas para as variáveis explicativas podem ser consultadas na Tabela 20 do ANEXO 2.

Não só os valores relativos a correlação, como também a facilidade de obtenção, conduziram à escolha das variáveis DAP, "S" e Idade como regressoras nas análises para ajuste de modelos de combustíveis das plantações de *Pinus*. Para *E. dunnii* apenas a área basal, além da idade, foi considerada como variável explicativa, embora igualmente com a idade, tenha apresentado uma baixa correlação com a carga de combustível vivo.

A altura dominante, assim como seu respectivo “*hdom*”, apresentaram também bons níveis de associação com as variáveis dependentes, tanto numa como noutra espécie estudada. No entanto, sua presença neste trabalho decorre de sua importância no distrito florestal estudado, onde é usada na elaboração contínua de índices de sítio pela RIGESA. Além disto, a altura dominante *hdom*, além de oferecer subsídios à compreensão da dinâmica dos povoamentos estudados, serviu como referencial ao processo de avaliação dos resultados obtidos com as variáveis de obtenção mais simples.

As variáveis *hdom* e idade apresentam uma leve desvantagem em relação as outras no que diz respeito ao processo de obtenção - a primeira requer um razoável esforço de mensuração enquanto a idade depende fundamentalmente da perfeita manutenção dos registros da data de plantio, não disponíveis para qualquer um a qualquer momento.

A vantagem da idade é que pode ser usada não só para estimar a carga atual, como também em estudos de projeção futura ou avaliação de cargas eventualmente consumidas pelo fogo em áreas monitoradas por sistemas de proteção. Um grande número de pesquisadores utiliza a idade como variável explicativa no ajuste de modelos, conforme já mencionado com mais detalhes anteriormente. Apenas deve ser considerado que a produção de fitomassa em um mesmo período pode ser mascarada por diferenças entre os sítios, principalmente as de ordem física.

Plantações em sítios mais homogêneos como os usados para *E. dunnii*, proporcionam coeficiente de correlação entre a variável “*hdom*” e o folheto (Tabelas 1 e 2) bem mais elevado que os observados nas plantações de *Pinus* (0,859 contra 0,735), as quais apresentam grande variação da qualidade de sítio, traduzida pelas diferenças de comportamento das curvas da Figura 11. De forma generalizada, esses coeficientes foram maiores para as análises com *E. dunnii*, apesar da aparente homogeneidade dos povoamentos de *Pinus*. Cabe lembrar que essas diferenças podem derivar da inadequação do processo de amostragem, das variações da qualidade do sítio, ou até mesmo de possível variabilidade genética.

Com exceção da carga de combustíveis verdes “Wv”, a altura da vegetação baixa (hv) não apresentou correlação alta com nenhuma outra variável de resposta, nem mesmo com a carga total, que recebe forte contribuição da baixa vegetação em todas as idades de *Eucalyptus dunnii*.

Ao final destas ponderações preliminares ficou definido que só participariam da modelagem as variáveis da Tabela 3.

TABELA 3. VARIÁVEIS SELECIONADAS PARA MODELAGEM

ESPÉCIE	Variáveis de resposta	Variáveis explicativas
<i>Eucalyptus dunnii</i>	Wf ; W <sub>10</sub> ; Wt ; Wv	G ; Idade ; hv
<i>Pinus taeda</i>	Wa ; W <sub>10</sub> ; Wt	DAP ; S ; Idade

#### 4.2.2 Modelos para *Eucalyptus dunnii*

As análises pelo método *Stepwise* indicaram que o melhor modelo para estimar o combustível “Wf”, constituído por folhede e miscelâneas nas plantações de *E. dunnii*, está representado pela equação [ 31 ] da Tabela 4. As demais equações desta tabela foram ajustadas pelo método “Todas as Regressões Possíveis” citado por WERKEMA e AGUIAR (1996) e por SCHNEIDER (1997), buscando a inclusão de uma segunda variável e aplicação de funções não lineares baseadas em trabalhos do mesmo gênero.

TABELA 4. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR A CARGA DE FOLHEDO (Wf) DA LITEIRA DE *Eucalyptus dunnii*

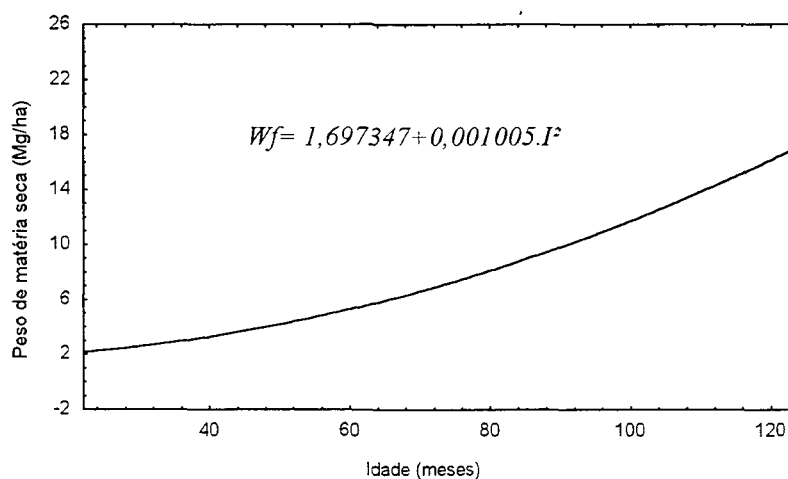
Modelo		Estatísticas		
		R <sup>2</sup>	S <sub>VX</sub>	F <sub>0,95</sub>
$Wf = 1,697347 + 0,001005.I^2$	[ 31 ]	0,8517	2,134	**
$Wf = 0,894181 - 0,000193.G^3 + 0,005533.I.G$	[ 32 ]	0,8544	2,115	**
$Wf = \frac{I^{0,175947}}{e^{-0,016277.I}}$	[ 33 ]	0,8262	2,303	**

\*\* Significativo ao nível de 95%

Preliminarmente, todos os modelos aqui listados satisfizeram os critérios mencionados por WERKEMA e AGUIAR (1996), quais sejam : linearidade, homocedasticidade, normalidade e ausência de auto correlação. Alguns modelos chegaram a apresentar altos valores de  $R^2$ , no entanto, não satisfaziam as exigências mínimas quanto aos critérios supra mencionados.

Antes da escolha do modelo que gerou o gráfico da Figura 15, além das estatísticas ( $R^2$  e  $S_{yx}$ ) da Tabela 4, os modelos foram avaliados pela dispersão dos correspondentes resíduos (ANEXO 3), tendo o modelo [ 31 ] apresentado comportamento mais uniforme.

FIGURA 15. ESTIMATIVA DA CARGA DE FOLHEDO ( $W_f$ ) A PARTIR DA IDADE DO POVOAMENTO



Considerando-se a aparente alta heterogeneidade da distribuição dos resíduos da serapilheira de *E. dunnii*, os modelos da Tabela 4 são vistos como bons ajustes por suas estruturas relativamente simples e por suas estatísticas, sendo o modelo [ 31 ] escolhido como o melhor entre os três.

Em uma pesquisa com espécies de *Pinus*, feitas em Sacramento/MG, SOARES (1979) obteve para *Pinus oocarpa*, um  $R^2$  igual a 0,86, com características comuns às obtidas pela equação [ 32 ] (Tabela 4), diferindo apenas quanto ao grau da variável “área basal”, isso em se tratando de modelo genérico.

Tal modelo também apresentou o menor erro padrão da estimativa entre aqueles que foram submetidos à confrontação. Já no modelo não linear [ 33 ] a redução do  $R^2$  foi acompanhada pelo crescimento do  $S_{yx}$ , embora em pequenas proporções. Em situações de grande variabilidade das condições ambientais, o modelo com área basal parece ser o mais adequado, uma vez que esta variável tende a responder melhor a estas variações. Isso para o caso desta espécie vir a ser plantada em sítios diferentes dos atualmente usados para o seu plantio.

Aparentemente complexas por envolver duas variáveis, equações que consideram idade ainda podem ser tratadas como modelos bastante simples, dada a grande facilidade de se dispor desta informação. Basta portanto, que a outra variável seja de fácil obtenção, como é o caso da área basal.

A equação não linear [ 36 ] da Tabela 5, ajustada para estimar o peso dos combustíveis de até 25 mm de espessura, incluindo folheto, foi considerada como a melhor em seus aspectos gerais. Além de composta por uma única variável de fácil disponibilidade, apresenta o mais elevado  $R^2$  e o melhor comportamento em relação ao erro.

TABELA 5. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR A CARGA DE COMBUSTÍVEIS COM ATÉ 10 HORAS DE *TIMELAG* ( $W_{10}$ ) NAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

Modelo		Estatísticas		
		$R^2$	$S_{yx}$	$F_{0,95}$
$W_{10} = 4,313429 + 0,001572.I^2$	[ 34 ]	0,8270	3,683	**
$W_{10} = 3,349999 - 0,000248.G^3 + 0,007989.I.G$	[ 35 ]	0,8174	3,703	**
$W_{10} = \frac{I^{0,39529}}{e^{-0,011708.I}}$	[ 36 ]	0,8560	3,372	**

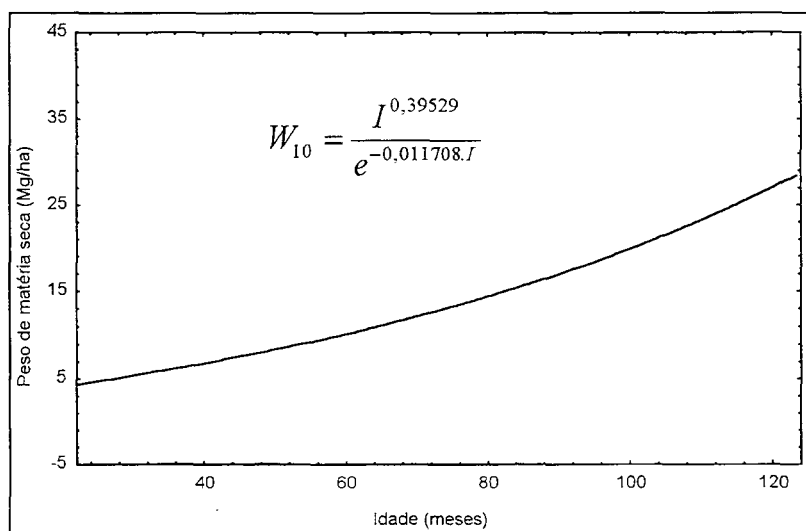
\*\* Significativo ao nível de 95%

Vários pesquisadores como EDWARDS Jr. (1976); BRENDER *et al.* (1976); TRABAUD (1977), McNAB *et al.* (1978); PHILLIPS e SAUCIER (1979); STOCKS (1980); GRIER e MILNE (1981); CARLTON e PICKFORD (1982); JOHNSON *et al.* (1989) e FERRARI e SUGITA (1996); têm ajustado modelos não lineares para estimar



cargas de materiais combustíveis, trabalhando preferencialmente com relações alométricas exponenciais ou tipo potencial, alguns inclusive, envolvendo relações entre as duas, como é o caso de McNAB *et al.* (1978), CARLTON e PICKFORD (1982) e FERRARI e SUGITA (1996). CARLTON e PICKFORD (1982) formularam uma equação para estimar combustíveis finos (*timelag* 1) nos moldes da que foi ajustada neste trabalho para estimar carga de combustíveis com *timelag* 10 e obtiveram bons resultados em termos de precisão. Relações alométricas desta natureza derivam de estudos de quantificação de serapilheira envolvendo taxas de deposição e decomposição, fatores que mais exercem influência sobre a carga de combustível do piso florestal. O uso destas relações geralmente envolve a idade como variável na função exponencial. A idade, portanto, também foi a melhor variável para ajustar modelos destinados a prever carga de combustíveis mortos de até 25 mm de espessura, conforme mostra a Tabela 5, dando origem à equação que gerou o gráfico da Figura 16, visto que foi considerado como o melhor ajuste para determinar este tipo de carga. Este gráfico pode representar uma forma prática de aplicação do melhor modelo ajustado para estimar a carga de combustíveis com espessura menor que 25,1 mm.

FIGURA 16. ESTIMATIVA DA CARGA DE COMBUSTÍVEIS COM ATÉ 10 HORAS DE *TIMELAG* ( $W_{10}$ ) A PARTIR DA IDADE DO POVOAMENTO DE *Eucalyptus dunnii*



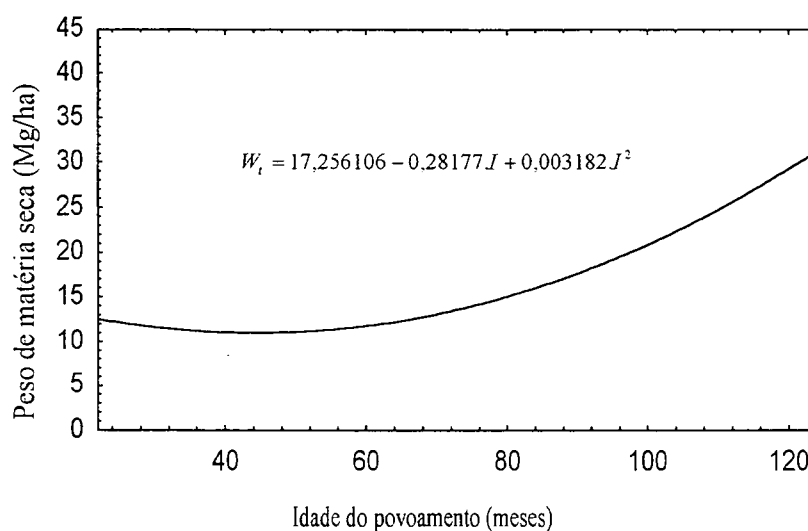
Tratando-se de carga total de combustíveis superficiais, os critérios adotados apontaram o modelo [ 37 ] da Tabela 6 como o melhor pois, embora apresente estatísticas relativamente mais baixas que a [ 38 ], depende de uma única variável, que além de simples não está propensa a erros de medição como a variável “hv” que também participa desta equação. Estas diferenças, consideradas sob um ponto de vista prático e principalmente pela simplicidade do gráfico que originou a Figura 17, contribuíram para que a escolha recaísse sobre a mesma, apesar dos resultados estatísticos.

TABELA 6. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR A CARGA DE COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL TOTAL NAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

Modelo	Estatísticas			
	R <sup>2</sup>	S <sub>vx</sub>	F <sub>0,95</sub>	
$W_t = 17,256106 - 0,28177 J + 0,003182 J^2$	[ 37 ]	0,6650	4,855	**
$W_t = 8,8367899 + 0,000010.J^3 + 6,535162.hv$	[ 38 ]	0,6850	4,710	**
$W_t = \frac{e^{0,025740 \cdot J}}{0,006302 \cdot J}$	[ 39 ]	0,6376	5,066	**

\*\* Significativo ao nível de 95% :

FIGURA 17. ESTIMATIVA DA CARGA DE COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL TOTAL (Wt) A PARTIR DA IDADE DAS PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus dunnii*



McNAB *et al.* (1978) formularam um modelo para estimar combustível total superficial, usando além da idade a altura da vegetação baixa do sub-bosque, obtendo boa precisão ( $R^2 = 0,86$  e  $S_{yx} = 0,258$ ). O valor relativo ao erro padrão da estimativa parece discrepante devido ao uso da unidade  $\text{kg/m}^2$  por parte dos autores, cuja transformação para  $\text{Mg/ha}$  resultaria em 2,580; faixa compatível com o nível alcançado pelo coeficiente de determinação.

Para carga total, o modelo não linear ainda manteve precisão bem próxima à dos lineares e a vantagem de ser composto por uma única variável e sem qualquer transformação.

Provavelmente, por questões já mencionadas, a aplicação destes modelos para dados inéditos obtidos em uma outra amostragem revelaria uma melhor precisão dos não lineares para as três variáveis de resposta abordadas. Nota-se que o último modelo comentado foi a razão entre uma função exponencial e uma linear, distinto dos outros dois, anteriormente apresentados para estimar folheto e combustíveis da classe “ $W_{10}$ ”.

As análises para modelar o peso do combustível superficial vivo não apresentaram bons resultados com uma única variável “ $h_v$ ”, tanto no processo *Stepwise* como no “Todas as Regressões Possíveis”, embora a altura da vegetação baixa tenha mostrado boa associação com o peso deste material combustível. Por isso combinações com outras variáveis foram testadas e conforme a Tabela 7 apresentaram melhor precisão do que a referida variável isoladamente.

Conforme já discutido, dependendo do desenvolvimento das copas das árvores de povoamentos florestais, as condições microclimáticas proporcionadas no seu interior tendem a dificultar a assimilação líquida da vegetação do piso florestal (KRAMER e KOZLOWSKI, 1979) e, por conseguinte, a produção de matéria seca. Como essa tendência depende, de certa forma, da idade e também da área basal, pelo menos até certo ponto, esses modelos múltiplos conseguem reproduzir em boa proporção ( $R^2 = 0,696$  e  $0,693$ ) os efeitos de tais influências sobre a citada variável resposta, de forma mais precisa do que quando apenas a altura da vegetação baixa foi usada para estimar a carga destes combustíveis. O gráfico de distribuição dos resíduos contidos na Figura 26 do ANEXO 3 demonstra que a simplicidade do modelo com

uma única variável não é necessariamente melhor, no que se relaciona ao comportamento dos resíduos.

TABELA 7. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL VIVO DO SUB-BOSQUE DAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

Modelo	Estatísticas			
		R <sup>2</sup>	S <sub>yx</sub>	F <sub>0,95</sub>
$W_v = 1,440281 + 4,609543 \cdot h_v^2$	[ 40 ]	0,4972	1,326	**
$W_v = 3,815341 - 0,215958 \cdot G + 0,003678 \cdot G^2 + 2,389104 \cdot h_v + 1,613979 \cdot h_v^3$	[ 41 ]	0,6957	1,031	**
$W_v = 7,865731 - 0,271773 \cdot I + 0,003354 \cdot I^2 - 0,000013 \cdot I^3 + 4,111559 \cdot \sqrt{h_v^3}$	[ 42 ]	0,6934	1,035	**

\*\* Significativo ao nível de 95%

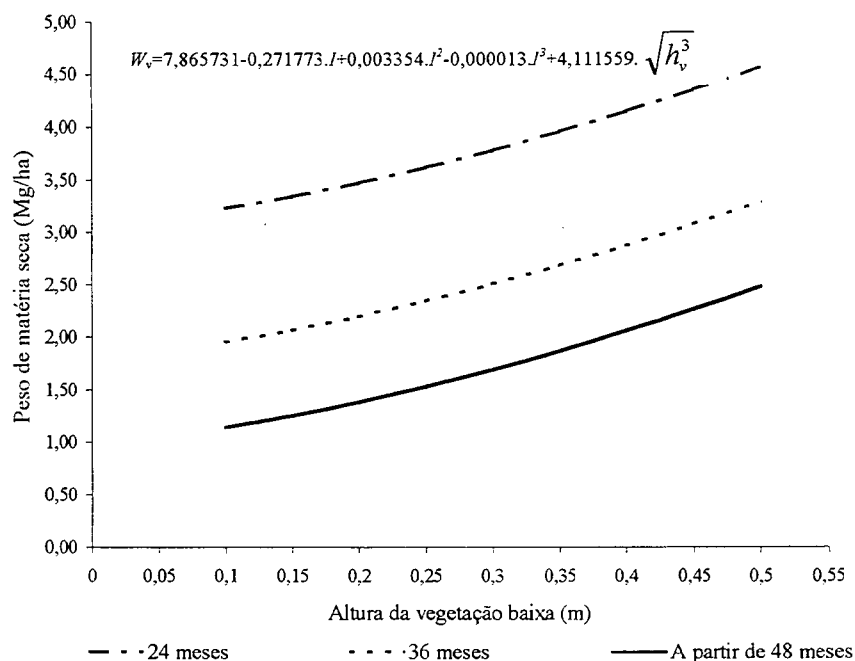
Nenhuma relação não linear produziu boa explicação para este tipo de carga de combustível, embora pesquisadores como PHILLIPS e SAUCIER (1979) e AGEE (1983), tenham obtido bons ajustes com equações logarítmicas e EDWARDS (1976) com a relação [ 43 ], onde ‘D’ é o diâmetro basal, ou seja, medido tangencialmente à superfície do piso florestal.

$$W = \alpha \cdot D^\beta, \quad [ 43 ]$$

O uso da fração de cobertura em combinação com a variável altura da vegetação parece ser a melhor opção para ajuste de modelos deste tipo, pois pesquisas feitas por ALEXANDER (1978) e BROWN e MARSDEN (1976) produziram resultados satisfatórios ao usarem estas variáveis, no que tange à precisão dos modelos ajustados. No caso da presente pesquisa o modelo considerado melhor foi usado para a confecção do gráfico da Figura 18.

A superposição de todas as curvas geradas a partir das plantações de 48 meses permitiu a construção de uma única, facilitando a estimativa das cargas de vegetação baixa que se formam nos talhões de *Eucalyptus dunnii* contidos nesta faixa etária.

FIGURA 18 ESTIMATIVA DO COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL VIVO ( $W_v$ ) A PARTIR DA IDADE DAS PLANTAÇÕES E DA ALTURA DA VEGETAÇÃO BAIXA DO SUB-BOSQUE DE *Eucalyptus dunnii*



#### 4.2.3 Modelos para *Pinus taeda*

A Tabela 8 apresenta três equações que estimam a carga de acículas na liteira de *Pinus*. As diferenças estatísticas entre as mesmas refletem a superioridade da mais simples, no que diz respeito ao coeficiente de determinação, embora o erro seja um pouco maior do que na não linear. A equação [ 45 ] não deve ser descartada, apesar das estatísticas revelarem menor precisão do que nas demais, uma vez que é constituída por uma variável explicativa de obtenção bem mais simples.

Trabalhando com *P. taeda*, BATISTA (1995) obteve um  $R^2$  variando de 0,67 a 0,86 e  $S_{yx}$  variando de 2,06 a 3,14 para a relação alométrica [ 47 ], valores muito próximos ao observado na presente pesquisa, o que demonstra a viabilidade do uso da variável “espessura da liteira” na determinação de sua correspondente carga.

$$W = \exp(-\alpha + \beta.S) \quad [ 47 ]$$

A ausência de um intercepto na equação que deu origem ao gráfico da Figura 19 deve-se ao fato de que o mesmo resultou não significativo a um nível de 95% de probabilidade. Sua remoção incrementou sensivelmente o  $R^2$  e reduziu o  $S_{yx}$ , como em

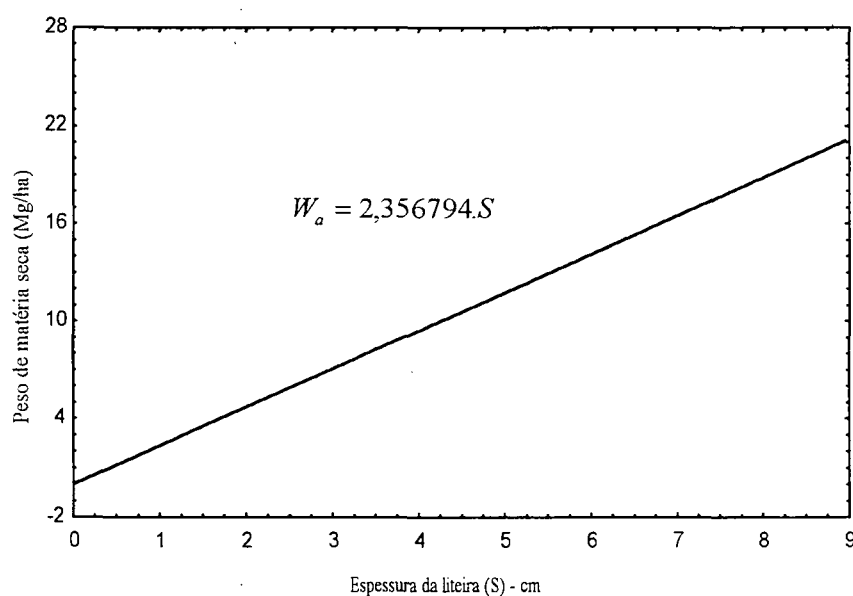
regra geralmente acontece, favorecendo a seleção do modelo [ 44 ] entre os três. Os diagramas de distribuição dos resíduos da Figura 27 (ANEXO 3), reforçam as considerações em relação ao citado modelo.

TABELA 8. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR A CARGA DE ACÍCULAS DA LITEIRA DE *Pinus taeda*

Modelo	Estatísticas			
		R <sup>2</sup>	S <sub>vx</sub>	F <sub>0,95</sub>
$W_a = 2,356794 \cdot S$	[ 44 ]	0,9563	2,264	**
$W_a = \left( 7,19864 - 0,000112 \cdot I^3 - \frac{12,016474}{\sqrt{I}} \right)^2$	[ 45 ]	0,7172	3,089	**
$W_a = e^{0,706486 + 2,177233 \cdot \ln \sqrt{S}}$	[ 46 ]	0,8649	2,128	**

\*\* Significativo ao nível de 95%

FIGURA 19. ESTIMATIVA DA CARGA DE ACÍCULAS ( $W_a$ ) A PARTIR DA ESPESSURA DA LITEIRA DE *Pinus taeda*



Outros autores como McCaw *et al.* (1996) e McRAE (1979) também obtiveram bons resultados ao trabalharem com esta variável para estimar a carga de combustível depositada no piso florestal. A relação alométrica [ 48 ] foi utilizada por

BURROWS *et al.* (1989) para estimar também esta carga de combustível através da espessura da cama de acículas de *P. radiata*.

$$W = \alpha.S^\beta \quad [ 48 ]$$

A título de simplificação, poderia ser dito que a espessura da liteira de *P. taeda* está para a massa de acículas, assim como o DAP de uma árvore está para o seu volume ou peso, ou seja, são variáveis diretamente envolvidas com o objeto fim e por isso resultam em relações mais precisas em análises de regressão.

Um pouco mais complexa, a espessura da cama de acículas, ao contrário da árvore, sofre a ação concomitante de dois processos, quais sejam: deposição e decomposição da serapilheira. Estes processos, assim como a produção florestal dependem, além de suas peculiaridades, dos fatores do sítio e suas correspondentes oscilações. A diferença reside no fato de que as árvores não correm o risco de sofrer oscilações entre o positivo e o negativo (ex. crescimento), ou melhor, árvores vivas não sofrem redução dimensional perceptível, entretanto, no caso da liteira o resultado da ação simultânea dos processos que regem a carga de matéria morta, pode em um determinado momento, atingir níveis decrescentes quando a decomposição supera o processo de deposição. Assim sendo, mesmo se baseando em variáveis de ligação direta como a espessura da liteira, o processo de modelagem está muito mais sujeito a erros provocados em função da referida dinâmica do que os modelos de produção florestal estão em razão das variações ambientais. Por essa razão, as equações para estimar a carga da liteira precisam ser estudadas sob os mais variados prismas, considerando sua sensibilidade às oscilações ambientais como seca, enchentes e outras contribuições de caráter climatológico, principalmente aquelas que se manifestam em escala sinótica como o agente “El Niño”. Não fossem as oscilações desses fatores, um modelo multivariado, considerando os aspectos biológicos, físicos, químicos, geográficos e fisiográficos do sítio, além dos aspectos ecofisiológicos da produção vegetal, teria muito mais chances de estimar com boa precisão as mais variadas cargas de material vegetal morto (necrofitomassa) de um sítio do que os modelos com características próximas as dos apresentados nesta pesquisa.

Quando as dimensões dos combustíveis aumentam, como ocorre a partir da classe  $W\phi_3$ , o processo de decomposição passa a ocorrer em taxas menores dada a redução da superfície específica ou relação superfície/volume. Possivelmente essa teria sido a razão do incremento de precisão para o mesmo modelo não linear, formulado com o objetivo de estimar combustíveis mortos ( $W_{10}$ ) das plantações de *E. dunnii*, fato não observado em relação aos modelos lineares, uma vez que suas estatísticas pioraram numa proporção maior do que o referido incremento ocorrido entre a classe “WF” e a classe “ $W_{10}$ ”.

Na Tabela 9, o mesmo modelo genérico não linear usado para *E. dunnii*, apresentou bom resultado quando incluído um terceiro coeficiente “ $\beta_0$ ” ou intercepto ao adotar a espessura da liteira como variável regressora, o que é perfeitamente compreensível, partindo do pressuposto de que se tratam de espécies com características bem distintas de crescimento, refletidas pelos detalhes ilustrados na Figura 11. Tais diferenças no crescimento afetam as cargas de materiais discutidas nesta pesquisa.

TABELA 9. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR CARGA DE COMBUSTÍVEIS COM *TIMELAG* DE ATÉ 10 HORAS ( $W_{10}$ ) NAS PLANTAÇÕES DE *P. taeda*

Modelo	Estatísticas		
	$R^2$	$S_{vx}$	$F_{0,95}$
$W_{10} = 1,889811 + 1,569117 \cdot S + 0,145218 \cdot S^2$	[ 49 ]	0,8577	2,418 **
$W_{10} = (1,690201 \cdot \ln I - 0,495039)^2$	[ 50 ]	0,7025	3,507 **
$W_{10} = 2,415374 + \frac{S^{1,595280}}{e^{-0,033069 \cdot S}}$	[ 51 ]	0,8514	2,463 **

\*\* Significativo ao nível de 95%

Segundo o gráfico da Figura 11, se existe uma constante entre a altura dominante e a área basal de *E. dunnii* após o fechamento do dossel (a partir de 34 meses), este mesmo comportamento se repete nas plantações de *P. taeda*, só que sob uma constante de valor bem diferente. Sendo assim, comportamento similar poderia ser esperado das relações hdom/DAP, mas o que verdadeiramente aconteceu foram duas tendências peculiares de crescimento desta relação, ou seja, ocorreu um

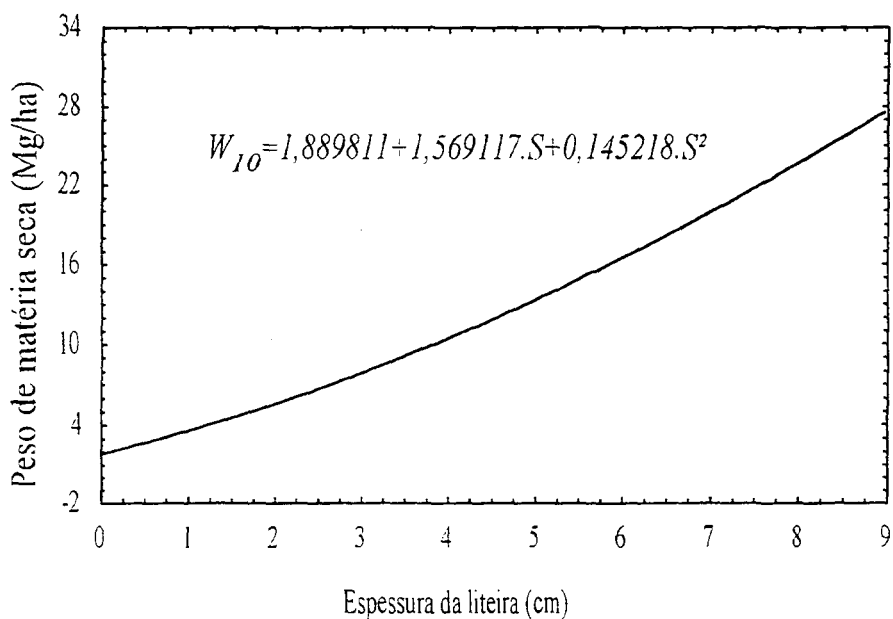


incremento entre cada idade de *E. dunnii*, enquanto que nas plantações de *P. taeda* só houve incremento contínuo após permanecer um longo período em um mesmo patamar.

São detalhes como estes, geralmente ligados às especificidades dos povoamentos que permitem, na maioria dos casos, uma compreensão mais clara das grandes diferenças manifestadas em resposta às variações ambientais nos diversos ecossistemas florestais e por conseguinte, das equações que buscam explicar seus diversos fenômenos.

Pelas estatísticas correspondentes (Tabela 9) e respectiva distribuição de resíduos, os modelos [ 49 ] e [ 51 ] poderiam ser considerados equivalentes, ambos com uma variável explicativa e 3 coeficientes. Somente testes de aplicação, como apresentados mais à frente, podem indicar a real potencialidade de cada um. Quanto ao modelo que depende da idade, convém reservá-lo para um caso de indisponibilidade da espessura da liteira. A curva correspondente ao modelo [ 49 ] selecionado para estimar a referida variável é ilustrada na Figura 20.

FIGURA 20. ESTIMATIVA DA CARGA DE COMBUSTÍVEL COM ATÉ 10 HORAS DE *TIMELAG* ( $W_{10}$ ) A PARTIR DA ESPESSURA DA LITEIRA DE *P. taeda*



Entre os modelos para estimar carga de combustível superficial total ( $W_t$ ), a precisão da relação não linear {Eq. [ 54 ]} cai de modo perceptível a um nível mais baixo do que das demais equações (Tabela 10). Enquanto isso as equações [ 52 ] e [ 53 ] mantêm estatísticas bem próximas apesar de suas características estruturais serem distintas – uma com uma variável e um coeficiente, outra com duas variáveis em três combinações e quatro coeficientes.

TABELA 10. MODELOS AJUSTADOS PARA ESTIMAR A CARGA DE COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL TOTAL NAS PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda*

Modelo	Estatísticas		
	$R^2$	$S_{vX}$	$F_{0,95}$
$W_t = 3,35892.S - 1,87453$ [ 52 ]	0,7034	3,770	**
$\log W_t = 0,32849 + \frac{2,34190}{I.S^2} + 0,18223.\sqrt{I.S} - 0,02236.I^2.\sqrt{S}$ [ 53 ]	0,6819	3,368	**
$W_t = 6,467589 + \frac{S^{-0,173951}}{e^{-0,415063.S}}$ [ 54 ]	0,5858	3,818	**

\*\* Significativo ao nível de 95%

O comportamento dos resíduos das três equações para carga de combustível total fornecem os subsídios necessários à eliminação das duas últimas do páreo de melhor ajuste, considerando-se os critérios até então observados. A real potencialidade destas e das demais equações só foi definitivamente comprovada no teste de aplicação comentado a seguir.

#### 4.2.4 Teste dos modelos para *P. taeda*

WERKEMA e AGUIAR (1996) consideram a simulação a partir de dados inéditos como o procedimento mais adequado para validar o modelo de regressão.

Por ocasião do levantamento de dados para esta tese, foi feita uma amostragem de 15 pontos distribuídos em dois talhões de *P. taeda* com 15 anos de idade, caracterizados por excessivo acúmulo de serapilheira, constituindo uma manta de acículas com 12,8 cm de espessura e cargas de 31,4 a 180,6 Mg/ha, para a liteira

(camadas L e F) e peso de matéria seca total superficial, além de um DAP médio de 23,3 cm.

Suspensos os levantamentos em razão das características atípicas não constatadas nas demais plantações estudadas, foram sondadas as causas das diferenças e constatado que tratava-se de um solo de banhado (hidromórfico), cujas condições microclimáticas proporcionavam um processo de decomposição relativamente lento, principalmente dos materiais de maiores dimensões. Nenhum tipo de vegetação de baixo porte foi encontrado nestes talhões, sendo portanto, o combustível total representado pelo total de combustíveis mortos. Os dados até então coletados foram preservados para uso oportuno.

Com exceção destes, todos os outros dados foram utilizados na formulação dos modelos, por isso, somente eles fizeram parte do teste dos modelos ajustados para *Pinus taeda*.

Estes dados revelaram uma densidade de carga igual a 0,026 g/cm<sup>3</sup> para a cama de acículas, valor igual aos observados (Tabela 11) nas cargas que serviram de base para os ajustes dos modelos.

TABELA 11. DENSIDADE DE CARGA ( $\delta_w$ ) DA VEGETAÇÃO BAIXA DAS PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus dunnii* E DA LITEIRA DE *Pinus taeda*

<i>Eucalyptus dunnii</i>		MESES (g/cm <sup>3</sup> )						
Idade	22	34	55	78	92	103	113	124
$\delta_{wv}$	0,0012	0,0009	0,0007	0,0006	0,0010	0,0005	0,0005	0,0005
<i>Pinus taeda</i>		ANOS (g/cm <sup>3</sup> )						
Idade	3	5	7	9	11	13	15	17
$\delta_{wa}$	---	0,24	0,22	0,25	0,24	0,22	0,25	0,27

Para um DAP médio de 23,3 cm, aproximadamente igual ao das outras plantações de 15 anos usado no modelo, os povoamentos apresentaram quase o dobro de espessura da camada de acículas cuja carga era também quase o dobro. De imediato foi desconsiderado o DAP como variável explicativa desta carga. No entanto, o mesmo não aconteceu com a espessura, uma vez que as variações deste parâmetro foram acompanhadas no mesmo nível pelas variações de carga. Quanto à idade, ficou evidente que muito dificilmente explicariam as respostas da mencionada variável.

Com a aplicação dos modelos formulados para *Pinus taeda* aos referidos dados, foi possível relacionar na Tabela 12 os resultados das estimativas feitas através destes modelos para as três diferentes cargas de material combustível daquele sítio.

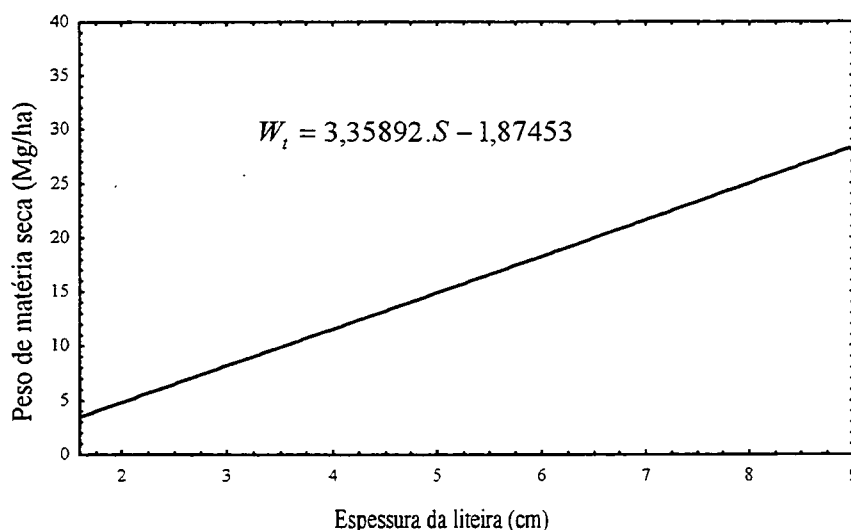
TABELA 12. COMPARAÇÃO DE VALORES OBSERVADOS COM ESTIMATIVAS DE CARGAS DE COMBUSTÍVEL UTILIZANDO DADOS INÉDITOS DE UMA PLANTAÇÃO DE *Pinus taeda* COM 15 ANOS DE IDADE CRESCENDO SOBRE SOLO COM BAIXA TAXA DE DECOMPOSIÇÃO

Var. explicativa	Cargas de combustível (Mg/ha)					
	W <sub>a</sub>		W <sub>10</sub>		W <sub>t</sub>	
	<i>Estimado</i>	Observado	<i>Estimado</i>	Observado	<i>Estimado</i>	Observado
<b>Idade ou I e S*</b>	13,82 [ 45 ]	31,41	16,66 [ 50 ]	147,57	94,97*[ 53 ]	180,60
<b>Espessura S</b>	32,52 [ 46 ]	31,41	91,57 [ 51 ]	147,57	136,7 [ 54 ]	180,60
<b>Espessura S</b>	30,17 [ 44 ]	31,41	207,8 [ 49 ]	147,57	41,12 [ 52 ]	180,60

As equações com menores distorções em relação aos valores médios observados são as do tipo não linear ajustadas pela espessura da liteira { modelos [ 46 ], [ 51 ] e [ 54 ]}. Em razão das peculiaridades do tema em discussão, outro critério foi levado em consideração para selecionar as melhores – a superestimação. Quando se trata de riscos, no caso de incêndios, superestimá-los será sempre uma opção mais sensata do que subestimá-los, garantindo pelo menos uma proteção mais eficaz. Existe no entanto o inconveniente de afetar o setor econômico com a necessidade de alocação de mais recursos. O ideal seria uma predição com a maior precisão possível, para preservar a dotação financeira destinada ao setor de proteção contra incêndios.

Apesar das expressivas diferenças (Figura 11) entre os ambientes que deram origem aos modelos e os que serviram para testá-lo, as equações [ 44 ] para “W<sub>a</sub>”, [ 49 ] para “W<sub>10</sub>” e [ 52 ] para “W<sub>t</sub>”, oferecem maiores possibilidades de sucesso caso sejam postas em prática. No entanto, o gráfico da Figura 21, correspondente à equação [ 52 ] ajustada para predizer a carga de combustível superficial total, não deve proporcionar estimativas consistentes caso seja aplicado às plantações que crescem em sítios de baixa taxa de decomposição.

FIGURA 21. ESTIMATIVA DA CARGA DE COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL TOTAL “ $W_t$ ” A PARTIR DA ESPESSURA DA LITEIRA DE *Pinus taeda*



As equações ajustadas por idade, partindo das mesmas condições, resultam altamente sem efeito; nem mesmo com a inclusão da variável “S” as suas estimativas melhoraram.

Estas distorções podem ser sanadas através da inclusão de informações que permitam acusar presença ou ausência destas marcantes diferenças ambientais ou mais especificamente de solos hidromórficos. Para isso antes de um passo mais complexo, o uso de variável “dummy” pode ser tentado com boas perspectivas, principalmente para estimar material lenhoso de difícil decomposição, pois trata-se de aplicação de um aspecto qualitativo a uma variável contínua (SCHNEIDER, 1997).

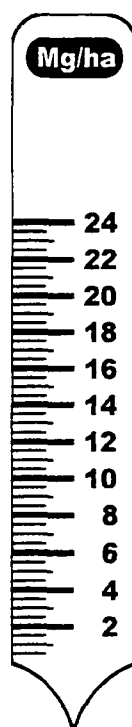
Em resumo, os resultados do teste indicaram que apenas o modelo [ 44 ] para estimar a carga de acículas de *Pinus taeda* apresenta potencial para ser utilizado de forma satisfatória nas plantações efetuadas nos diferentes sítios estudados.

#### 4.3 APLICAÇÕES DOS MODELOS

Além dos sete gráficos acima ilustrados, os modelos selecionados podem servir de base para a elaboração de tabelas ou instrumentos que possam ser utilizados na avaliação de cargas de material combustível. A aplicação mais simples do modelo

de melhor ajuste pode ser obtida através de uma régua plástica graduada (Figura 22) pela equação [ 44 ]  $W_c = 2,356794.S$ , capaz de estimar diretamente em Mg/ha a carga de acículas de plantações de *P. taeda* da região estudada. A extremidade pontiaguda facilita sua aplicação até penetrar levemente no solo; quando uma maior sensação de resistência for percebida, significa que a região basal ou nível zero da régua se encontra no nível ideal para a realização da leitura da carga de combustíveis da liteira. Denominado nesta proposta como “Calibrador de carga”, este instrumento de fácil manuseio pode oferecer mais rapidez que a maioria dos métodos diretos e indiretos, com possíveis vantagens também quanto ao grau de precisão.

FIGURA 22. CALIBRADOR DE CARGA PARA LITEIRA DE *Pinus taeda*



Com base nos modelos ajustados para combustíveis de até 25 mm e combustível total de pinus, outros calibradores podem também ser improvisados para determinação destas cargas, embora não possam oferecer idêntica precisão, em vista das estatísticas que esses modelos apresentaram.

Considerando que os resultados obtidos com este instrumento estão sujeitos a variações em função do operador, um calibrador baseado nas diferenças entre as propriedades físicas dos materiais das camadas do piso florestal poderia ser igualmente desenvolvido. Tal aparelho poderia oferecer alta precisão, dependendo do modelo matemático utilizado como base, independentemente do operador, além de alta rapidez na obtenção dos dados.

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Apenas para *E.dunnii* as 20 amostras levantadas por idade foram suficientes para um limite de erro de 10%. Apesar da aparente homogeneidade da camada de combustível superficial das plantações de *Pinus taeda*, ficou constatado que havia necessidade de ampliação do número de amostras para algumas classes de material, principalmente aquelas de maiores dimensões. Devido a inviabilidade de retornar ao campo para coletar novas amostras, o limite de erro para esta espécie foi ampliado em 5%, uma vez que 15% ainda encontra-se abaixo do limite máximo (20%) sugerido por BROWN (1974) e por VAN WAGNER (1982) para quantificação de material combustível.

É possível que a variação na metodologia de coleta de acículas tenha sido a causa maior de tal constatação, uma vez que a aparente distribuição homogênea das mesmas conduziu, a despeito do embasamento bibliográfico, à suposição de que o uso de uma amostra constituída apenas por uma pequena fração (1/25) da área do gabarito de 1m<sup>2</sup>, ou seja 0,20 x 0,20 m, pudesse representar a unidade amostral para carga de acículas nas 20 parcelas estudadas. Conforme a Tabela 13, essa redução foi substancial em relação ao que foi adotado para o folheto de *E. dunnii* e poderia inclusive suscitar dúvidas quanto a precisão obtida, mesmo com a dilatação do erro, caso a citada homogeneidade realmente não existisse. Ou seja, a suposta homogeneidade mostrou-se tão real que, mesmo com essa abrupta redução do tamanho da amostra, permitiu ainda bons resultados com a ampliação de 5% da probabilidade de erro.

Além do tamanho da amostra, outros fatores ligados a amostragem e principalmente aos plantios podem ter dado sua contribuição à necessidade de dilatação do limite de erro. Dentre estes, destacam-se: provável variação de deposição

de serapilheira causada por diferenças genéticas entre as plantações de idades distintas (procedência das sementes); algumas amostras podem ter caído sobre os sulcos de máquinas que anteriormente operaram na área; a grande amplitude de variação de sítio admitida pela empresa para esta espécie; distância entre os pontos de amostragem, visto que o tráfego fácil dentro dos talhões permitiu que fossem mantidas distâncias entre 100 e 60 m entre as amostras, ou seja, em média, as malhas para fixação das parcelas giravam em torno de 80 m, valor bem próximo ao tamanho das adotadas por KALABOKIDS e OMI (1992) em suas análises quadráticas sobre variabilidade espacial de combustíveis. Resultados oferecidos por estes autores conduziram a dedução de que distâncias de 20 a 30 m podem satisfazer os preceitos estatísticos, prevenindo problemas dessa natureza, uma vez que trabalharam com espécie do mesmo gênero (*Pinus contorta*). Nas plantações de *E. dunnii*, esta distância dificilmente passava dos 60 m, pois em geral, a estrutura da vegetação baixa dificultava o deslocamento da equipe com todo aparato de coleta, comprometendo o tempo disponível.

No planejamento das ações de campo havia sido inicialmente previsto a manutenção de malhas com perímetro mínimo de 320 a 400 metros, em cujos centros geométricos seriam instaladas as unidades de amostra das duas espécies.

TABELA 13. DIMENSÕES E ERROS ADOTADOS NA COLETA DE MATERIAL COMBUSTÍVEL NAS PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* E *Eucalyptus dunnii*

Espécie	Erro (E)	Dist.média entre amostras (m)	Gabarito para folheto (cm <sup>2</sup> )	Gabarito para material lenhoso (cm <sup>2</sup> )
<i>P. taeda</i>	15%	80	400	10.000
<i>E. dunnii</i>	10%	60	10.000	10.000

Inferências feitas com base nos resultados obtidos permitem sugerir o uso de quadrados de no mínimo 0,40 x 0,40 m para coleta de amostras de acículas em futuros estudos de igual teor, prevendo um limite de erro de 10%. Ainda assim o padrão de medida para coleta do folheto em eucalipto permaneceria 6 vezes superior (10.000 contra 1.600 cm<sup>2</sup>), dada a sua menor homogeneidade, resultado da influência da vegetação baixa.



## 5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos permite concluir o seguinte:

- 1) A Idade do plantio, a altura dominante e a área basal foram as variáveis que apresentaram maiores correlações com a quantidade de material combustível das plantações de *E. dunnii*;
- 2) A idade do plantio, o DAP, a altura dominante e a espessura da liteira foram as variáveis que apresentaram maiores correlações com a quantidade de material combustível das plantações de *P. taeda*;
- 3) A idade do plantio foi a variável que proporcionou melhores ajustes para material combustível superficial morto e total nas plantações de *E. dunnii*, além de contribuir na obtenção do melhor ajuste para material combustível vivo do sub-bosque;
- 4) A altura da vegetação ( $h_v$ ) foi a variável que apresentou melhor correlação com a carga de combustível vivo da vegetação baixa do sub-bosque de *E. dunnii*; quando associada com a idade ou com a área basal ofereceu melhores ajustes do que isoladamente;
- 5) A espessura da cama de acículas foi a variável que melhor se associou às diferentes classes de material combustível morto das plantações de *Pinus*;
- 6) As variáveis que apresentaram melhor correlação com a densidade de carga da liteira de *P. taeda* foram a área basal, o DAP e o ddom;
- 7) Tanto para *P. taeda* como para *E. dunnii* os melhores ajustes obtidos referiram-se ao combustível não lenhoso da serapilheira;
- 8) Para ambas espécies, as equações ajustadas para carga total de combustível perderam precisão em razão da influência dos restos de exploração e da carga de combustível verde que persistem nas idades mais jovens;
- 9) Não ocorreu variação substancial da densidade de carga da camada de acículas de *P. taeda* em função da idade do plantio, mantendo-se em torno de  $0.025 \text{ g / cm}^3$  a partir do quinto ano;

- 10) A densidade de carga da vegetação baixa do sub-bosque de *E. dunnii* variou entre 0,0012 e 0,0005 g / cm<sup>3</sup>, mantendo-se mais elevada nas idades mais jovens;
- 11) Os modelos que melhor representaram o estoque disponível ou a maior quantidade de combustíveis perigosos foram aqueles ajustados para carga da liteira e os modelos para combustíveis mortos com até 2,5 cm de espessura;
- 12) O modelo considerado como melhor para estimar massa de combustível morto com até 2,5 cm de espessura nas plantações de *E. dunnii* foi:

$$W_{10} = \frac{I^{0.39529}}{e^{-0.011708.I}} ;$$

- 13) O melhor modelo para estimar material combustível vivo ou fitomassa da vegetação baixa do sub-bosque de *E. dunnii* foi:

$$W_v = 7,865731 - 0,271773.I + 0,003354.I^2 - 0,000013.I^3 + 4,111559.\sqrt{h_v^3} ;$$

- 14) A melhor equação para estimar a carga de acículas foi:

$$W_a = 2,356794.S ;$$

- 15) Para estimar a carga de combustíveis da serapilheira das plantações de *E. dunnii*, a melhor equação foi:

$$W_f = 1,697347 + 0,001005.I^2 ;$$

- 16) Estimativas razoáveis de material combustível total foram obtidas com os modelos

$$W_t = 17,256106 - 0,28177 .I + 0,003182 .I^2$$

para *E. dunnii* e

$$W_f = 3,35892.S - 1,87453 \text{ para } P. taeda;$$

- 17) Os modelos lineares apresentaram maior R<sup>2</sup> e menor erro padrão da estimativa do que os não lineares; estes no entanto, proporcionaram menores erros de estimativa para *P. taeda* quando utilizados na determinação de cargas de combustíveis em sítios de baixa taxa de decomposição.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AGEE, J.K. Fuel weights of understory-grown conifers in southern Oregon. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 13, p.648-656, 1983.
- 2 AHRENS, S. A concepção de regimes de manejo para plantações de *Pinus* spp. no Brasil. Embrapa, **Circular Técnica**, Curitiba, n. 10, p. 3-20, 1987.
- 3 ALEXANDER, M.E. Estimating fuel weights of two common shrubs in colorado lodgepole pine stands. Fort Collins : U.S.D.A. Forest Service, 1978. (**Research Note RM-354**).
- 4 ANDERSON, H.E. Graphic aids for field calculation of dead, down forest fuels. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1978. (**General Technical Report INT-45**).
- 5 AUBERT, E. ; OLIVEIRA FILHO, T. Análise multivariada da estrutura fitossociológica do sub-bosque de plantios experimentais de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp em Lavras. **Revista Árvore**, Viçosa, v.18, n.3, p. 194-214, 1994.
- 6 AULETE, C. **Dicionário Contemporâneo da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Delta, 1958.
- 7 BAKER, T.G. Dry matter, nitrogen and phosphorus content of litterfall and branchfall in *Pinus Radiata* and *Eucalyptus* forests. **New Zealand Journal of Forsetry Science**, Rotorua, n. 13, p. 205-221, 1983.
- 8 BAKER, T.G. ; ATTIWILL, P.M. Loss of organic matter and elements from decomposing litter of *Eucalyptus obliqua* L' Hérit. and *Pinus radiata* D. Don. **Australian Forest Research**, East Melbourne, v. 15, n. 3, p. 309-319, 1985.
- 9 BARBOSA, R. I. **Avaliação da área dos sistemas naturais e agroecossistemas atingidos pelo fogo no Estado de Roraima**. Boa Vista : Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1998.
- 10 BARNEY, R.J. ; BEVINS, C.D. ; BRADSHAW, L.S. Forest floor fuel loads, depths, and bulk densities in four interior Alaskan cover types. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1981. (**Research Note INT-304**).
- 11 BATISTA, A.C. **Avaliação da queima controlada em povoamentos de *Pinus taeda* L. no Norte do Paraná**. Curitiba, 1995. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- 12 BATISTA, A.C. **Determinação de umidade do material combustível sob povoamento de *Pinus tadea* L.** Curitiba, 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 13 BAZZO, W.A. ; PEREIRA, L.T.V. **Introdução à engenharia.** Florianópolis, Ed. UFSC, 1990. (Série Didática).
- 14 BIRK, E.M. ; SIMPSON, R.W. Steady state and the continuous input model of litter accumulation and decomposition in Australian eucalypti forests. **Ecology** , Durham, v. 61, n. 3, p. 481-485, 1980.
- 15 BOTELHO, H.S. A gestão das florestas em Portugal e o uso do fogo controlado na proteção florestal. In: **Curso de atualização em controle de incêndios florestais.** Curitiba : FUPEF/Universidade Federal do Paraná, 1994, p. 13-22.
- 16 BRADSHAW, L.S. et al. The 1978 National Fire-Danger Rating System: technical documentation. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1984. (**General Technical Report INT-169**).
- 17 BRAGA Jr., R.L.C. **Estudo sobre a distribuição do *n* no dimensionamento de amostras.** Piracicaba, 1986. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 18 BRAY J.R. ; GORHAM, E. Litter production in the forests of the world. **Advances in ecological research**, New York, v.2, p.101-157, 1964.
- 19 BRENDER, E.V. ; McNAB, W.H. ; WILLIAMS S. Fuel accumulations in Piedmont loblolly pine plantations. North Carolina : U.S.D.A. Forest Service, 1976. (**Research Note SE-233**).
- 20 BROWN, A.A. ; DAVIS K.P. **Forest fire : control and use.** 2. ed. New York : McGraw Hill Book, 1973.
- 21 BROWN, J.K. ; MARSDEN, M.A. **Estimating fuel weights of grass, forbs and small woody plants.** Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1976. (**Research Note INT-210**).
- 22 BROWN, J.K. ; SEE, T.E. Downed dead woody fuel and biomass in the northern rocky mountains. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1981. (**General Technical Report INT-117**).
- 23 BROWN, J.K. ; BEVINS, C.D. Surface fuel loadings and predicted fire behavior for vegetation types in the northern rocky mountains. Utah : U.S.D.A. Forest Service , 1986. (**Research Note INT-358**).

- 24 BROWN, J.K. ; OBERHEU, R.D. ; JOHNSTON, C.M. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior west. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1982. (**General Technical Report** INT-129).
- 25 BROWN, J.K. **Fuel and vegetation inventory procedures—white cap study**, [ S.e : s.n.], 1971. (mimeografado).
- 26 BROWN, J.K. Handbook for inventorying downed woody material. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1974. (**General Technical Report** INT-16).
- 27 BROWN, J.K. ; SNELL, J.A.K. ; BUNNELL, D.L. Handbook for predicting slash weight of western conifers. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1977. (**General Technical Report** INT-37).
- 28 BROWN, S. ; MO, J. ; McPHERSON, J.K. ; BELL, D.T. Decomposition of woody debris in Western Australian forests. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 26, p. 954-966, 1996.
- 29 BRUM, E.T. **Relações entre a altura dominante e fatores do sítio, em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. na região de Ponte Alta do Norte, SC.** Curitiba, 1979. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 30 BRUSKIN, S. A site quality model for blackbutt (*Eucalyptus pilularis* Smith). **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 58, n. 2, p. 31-34, 1995.
- 31 BUCKLEY, A.J. Fire behavior and fuel reduction burning: Bemm River wildfire, October 1988. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 55, p. 135-147, 1992.
- 32 BURESTI, E. ; SULLI, M. Il fuoco: strumento culturale? **Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura**, Arezzo, v. 14, p. 353-386, 1983.
- 33 BURGAN, R.E. ; ROTHERMEL, R.C. BEHAVE : Fire behavior prediction and fuel modeling system- FUEL subsystem. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1984. (**General Technical Report** INT-167).
- 34 BURROWS, N.D. et al. Prescribing low intensity fire to kill wildings in *Pinus radiata* plantations in Western Australia. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 52, n. 1, p. 45-52, 1989.
- 35 BURROWS, N.D. Reducing the abundance of *Banksia grandis* in the jarrah forest by the use of controlled fire. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 48, n. 1, p. 63-70, 1985.

- 36 CAMPAÑA, S.F. Efecto del tratamiento de los residuos de explotación en el suelo. *Ciencia e Investigación Forestal*, Santiago, v. 4, n. 1, p. 2-33, 1990.
- 37 CAÑELLAS, I. ; MONTERO, G. ; JIMENEZ, M.D. Litterfall in a rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.) coppice thinned with various intensities. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, Arezzo, v. 27, p. 25-29, 1996.
- 38 CAREY, M.L. ; HUNTER, I.R. ; ANDREW, I. *Pinus radiata* forest floors: factors affecting organic matter and nutrient dynamics. *New Zealand Journal of Forestry Science*, Rotorua, v. 12, n. 1, p. 36-48, 1982.
- 39 CARLTON, D.W.; PICKFORD, S.G. Fuelbed changes with aging of slash from ponderosa pine thinnings. *Journal of Forestry*, Bethesda, v. 80, n. 2, p. 105-108, 1982.
- 40 CARPANEZZI, A.A. **Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de Eucaliptos no interior do estado de São Paulo**. Piracicaba, 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 41 CATCHPOLE, T. ; MESTRE, N. Physical model for a spreading line fire. *Australian Forestry*, Queen Victoria, v. 49, n. 2, p. 102-111, 1986.
- 42 CHANDLER, C. et al. **Fire in forestry: forest fire behavior and effects**. New York : Wiley & Sons, 1983.
- 43 CHEN, H.Y.H. ; KLINKA, K. ; KABZEMS, R.D. Site index, site quality, and foliar nutrients of trembling aspen : relationships and predictions. *Canada Journal of Forest Research*, Ottawa, n. 28, p.1743-1755, 1998.
- 44 CHEN, X.D.; SLEEMAN, M. Assessment of the self ignition conditions of forest litter deposit layer. *New Zealand Journal of Forestry Science*, Rotorua, v. 23, n. 2, p. 243-248, 1993.
- 45 COLE, D.W. ; RAPP, M. Elemental cycling in forest ecosystems. In: REICHLER, D.E., (Ed.), **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge : Cambridge University Press, 1980. p. 341-409.
- 46 COLLETT, N.G. ; NEUMANN, F.G. ; TOLHURST, K.G. Effects of two short rotation prescribed fires in spring on surface- active arthropods and earthworms in dry sclerophyll eucalypt forest of west-central Victoria. *Australian Forestry*, Queen Victoria, v. 56, n. 1, p. 49-60, 1993.

- 47 CORTEZ, J. et al. Decomposition of mediterranean leaf litters : a microcosm experiment investigating relationships between decomposition rates and litter quality. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 28, n. 4/5, p. 443-452, 1996.
- 48 COUNTRYMAN, C.M. Mass fire and fire behavior. California : U.S.D.A. Forest Service, 1964. (**Research Paper PSW-19**).
- 49 CRUZ, E.C. **Quantificação volumétrica do material lenhoso de espécies da floresta tropical úmida de terra-firme no Distrito Agropecuário da Suframa.** Manaus, 1985. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Fundação Universidade do Amazonas.
- 50 CUTINI, A. Indice di area fogliari, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione. **Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura**, Arezzo, n. 23, p. 147-166, 1994.
- 51 DE RONDE, C. Litter accumulation problems identified in *P. pinaster* stands of the cape province. **South African Forestry Journal**. Pretoria, n. 131, p. 48-52, 1984.
- 52 DE RONDE, C. et al. Prescribed Fire in Industrial Pine Plantations. In: GOLDAMMER, J.G., (Ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Berlin : Springer - Verlag, 1990. p. 216-272. (ECOLOGICAL STUDIES, v. 84)
- 53 DEEMING, J.E. et al. National Fire-Danger Rating System. Fort Collins : U.S.D.A. Forest Service, 1972. (**Research Paper RM-84**).
- 54 DELISLE, G.P. ; WOODARD, M.P. Sample size and variability of fuel weight estimates in natural stands of lodgepole pine. **Canada Journal of Forest Research** , Ottawa, n. 18, p. 649-652, 1988.
- 55 DRAPER, N.R. ; SMITH, A. **Applied regression analysis**. New York : Wiley & Sons, 1966.
- 56 EDMONDS, R.L. Decomposition and nutrient release in Douglas-fir needle litter in relation to stand development. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 9, p. 132-140, 1979.
- 57 EDMONDS, R.L. Decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock, and Pacific silver fir ecosystems in western Washington. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 10, p. 327-337, 1980.

- 58 EDMONDS, R.L. Long-term decomposition and nutrient dynamics in Pacific silver fir needles in western Washington. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 14, p. 395-400, 1984.
- 59 EDWARDS Jr., M.B. Weight prediction for 10 understory species in central Georgia. North Carolina : U.S.D.A. Forest Service, 1976. (**Res. Note SE-235**).
- 60 EDWARDS Jr., M.B. ; MCNAB, W.H. Table for estimating fuel loading in slash and longleaf pine stands. North Carolina : U.S.D.A. Forest Service, 1976. (**Research Note SE-240**).
- 61 EL KHATIB, F. **Dicionário Cultural da Língua Portuguesa**. Curitiba : Grafipar, 1973.
- 62 FAHNESTOCK, G.R. Two keys for appraising forest fire fuels. Oregon : U.S.D.A. Forest Service, 1970. (**Research Paper PNW-99**).
- 63 FEARNSIDE, P. M. Fire in the tropical rain forest of the Amazon basin. In: GOLDAMMER, J.G., (Ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Berlin : Springer-Verlag, 1990. p. 106-116. (Ecological Studies, v. 84)
- 64 FEARNSIDE, P.M. Queimadas e Desmatamento na Amazônia. In: FARIA, M.F.S. **Meio Ambiente e Sociedade**. Rio de Janeiro : Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, 1995. p. 21-27 (Série Estudos Contemporâneos 1).
- 65 FEARNSIDE, P.M. Monitoring needs to transform Amazonian forest maintenance into a global warming mitigation option. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**. v. 2, n. 2-3, p. 285-302, 1997.
- 66 FERRARI, J.B. ; SUGITA, S. A spatially explicit model of leaf litter fall in hemlock-hardwood forests. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 26, p. 1905-1913, 1996.
- 67 FERREIRA, A.B.H. **Novo Dicionário da Língua Portuguesa**. 2ª. ed., Rio de Janeiro : Nova Fronteira, 1986.
- 68 FERREIRA, C.A. ; COUTO, H.T.Z. A influência de variáveis ambientais no crescimento de espécies / procedências de *Eucalyptus* spp. nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Embrapa, **Bol. de Pes. Flor.**, n. 03, 1981.
- 69 FINÉR, L. Variation in the amount and quality of litterfall in a *Pinus sylvestris* L. stand growing on a bog. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, n. 80, p.1-11. 1996.



- 70 FISCHER, W.C. Photo guides for appraising downed woody fuels in montana forests: how they were made. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1981. (**Research Note** INT-299).
- 71 FLORENCE, R.G. ; LAMB, D. Influence of stand and site on radiata pine litter in south australia. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 4, n. 3, p. 502-510, 1974.
- 72 FLORES GARNICA, J.G. ; BENAVIDES SOLORIO J. de D. Efecto de las quemas prescritas sobre algunas características del suelo en un rodal de pino. **Ciencia Forestal en México**, Coyocan, v. 20, n. 77, p. 113-128, Ene- Jun., 1995.
- 73 FULLER, M. **Forest fires** : An introduction to wildland fire behavior, management, firefighting, and prevention. New York : Wiley & Sons, 1991.
- 74 GALLARDO, J.F. ; MARTIN, A. ; SANTA REGINA, I. Nutrient cycling in deciduous forest ecosystems of the Sierra Gata mountains: aboveground litter production and potential nutrient return. **Ann. Sci.For.**, Paris, n. 55, p. 749-769, 1998.
- 75 GAYLOR, H.P. **Wildfires** : prevention and control. Bowie: Prentice-Hall, 1974.
- 76 GLASSY, J.M. WOODY II – A T.I. 59 program to process downed fuel inventory data. **Fire Management Notes**, Washington, v. 44, n. 1, p. 14-15, 1983.
- 77 GOLDAMMER, J.G. **Fire in the Tropical Biota**: ecosystems processes and global challenges. Berlim : Springer – Verlag, 1990. p. 106-116 (Ecological Studies v. 84).
- 78 GRANT, C.D. et al. Tree species response to prescribed burns in rehabilitated bauxite mines in Western Australia. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 60, n. 2, p. 84-89, 1997a.
- 79 GRANT, C.D. et al. Fuel characteristics, vegetation structure and fire behavior of 11-15 year-old rehabilitated bauxite mines in Western Australia. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 60, n. 3, p. 147-157, 1997b.
- 80 GRIER, C.C. , MILNE, W.A. Regression equations for calculating component biomass of young *Abies amabilis* (Dougl.) Forbes. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa n. 11, p. 184-187, 1981.
- 81 HAZARD, J.W. ; PICKFORD, S.G. Line intersect sampling of forest residue. **Statistical Ecology Series**, Maryland, v. 12, p. 493-503, 1978.

- 82 HAZARD, J.W. ; PICKFORD, S.G. Cost functions for the line intersect method of sampling forest residue in the Pacific Northwest. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 14, p. 57-62, 1984.
- 83 HINGSTON, F.J. ; GALBRAITH, J.H. Nutrients in ash fall-out during forest fires in the south-west of Western Australia. **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 52, n. 4, p. 321-326, 1989.
- 84 HOLDSWORTH, A. ; UHL, C. **O fogo na floresta explorada e o potencial para redução de incêndios florestais na Amazônia**. Belém: IMAZON, 1998.
- 85 HOSOKAWA, R.T. et al. Determinação da rotação de uma floresta de *Mimosa scabrella* Bentham (Bracatinga) de média produtividade em sistema agroflorestal tradicional baseado nos critérios de biomassa e renda bruta. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 16, n. 1-2, p. 201-206, 1997.
- 86 JANSSENS, I.A. et al. Above – and below-ground phytomass and carbon storage in a Belgian Scots pine stand. **Ann. For. Sci.**, Paris, n. 56, p. 81-90, 1999.
- 87 JEFFERS, J.N.R. **Modelos en ecologia**. Barcelona : Oikos-tau, 1991.
- 88 JOHANSSON, M.B. Decomposition rates of Scots pine needle litter related to site properties, litter quality, and climate. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 24, p. 1771-1781, 1994.
- 89 JOHNSON, A.F. ; WOODARD, P.M. ; TITUS, S.J. Lodgepole pine and white spruce crown fuel weights predicted from height and crown width. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 19, p. 527-530, 1989.
- 90 JULIO, G. Comportamiento del fuego : modelos de simulacion y su uso en actividades de combate. *In* : REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF (4 : 1996 : Curitiba) ; CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS (2 : 1996 : Curitiba). **Anais...** Curitiba : FUPEF/UFPR, 1996. p. 117-130.
- 91 KALABOKIDIS, K.D. ; OMI, P.N. Quadrat analysis of wildland fuel spatial variability. **Int. J. Wildland Fire**, Colorado, v. 2, n. 4, p. 145-152, 1992.
- 92 KAUFFMAN, J.B. ; MARTIN, R.E. Fire behavior, fuel consumption, and forest-floor changes following prescribed understory fires in Sierra Nevada mixed conifer forests. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 19, p. 455-462, 1989.

- 93 KIRCHHOFF, V.W.J.H. **Queimada na Amazônia e efeito estufa**. São Paulo : Contexto, 1992.
- 94 KOEHLER, C.W. **Variação estacional da deposição de serapilheira e nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* na região de Ponta Grossa-PR**. Curitiba, 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 95 KRAMER, P.J. ; KOZLOWSKI, T.T. **Physiology of wood plants**. New York : Academic Press, 1979.
- 96 KRAUSE, H. Forest floor mass and nutrients in two chronosequences of plantations: Jack pine vs. Black spruce. **Canada Journal of Soil Science**, Ottawa, n. 78, p.77-83, 1998.
- 97 LEE, R.S. ; PRITCHETT, W.L. ; SMITH, W.H. Forest floor characteristics under longleaf-slash pine on two spodosols. Amsterdam, **For. Ecol. and Management**, Netherlands, n. 5, p. 193-205, 1983.
- 98 LIMA, R.R. Os efeitos das queimadas sobre a vegetação dos solos arenosos da região da estrada de ferro de Bragança. Belém, **Boletim da Inspetoria Regional de Fomento Agrícola no Pará**, v. 8, p. 23-25, 1958.
- 99 LOFFEIER, E. ; FAVRICHON, V. La forêt virtuelle: état des lieux. **Bois et Forêts des Tropiques**, Montpellier, n. 249, p. 5-21, 1996.
- 100 LOPES, M.I.M.S. ; GARRIDO, M.A. de O. Teores de micronutrientes na manta orgânica de cerrado e de alguns povoamentos de *Pinus*. **Boletim Técnico**, IF, São Paulo, v.40, n. 1, p. 53-61, 1986.
- 101 LOURENÇO, M.F.S. **Características limitantes do solo no crescimento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em uma toposeqüência na região de Três Barras, SC**. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 102 LOUZADA, J.N.C. ; SCHOEREDER, J.H. ; DE MARCO Jr., P. Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus* spp. crop in Brasil: a comparison. **Forest Ecology and Management**, Netherlands, n. 94, p. 31-36, 1997.
- 103 LUIZÃO, F.J. **Produção e decomposição da liteira em floresta de terra firme da Amazônia Central. Aspectos químicos e biológicos da lixiviação e remoção dos nutrientes da liteira**. Manaus, 1982. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Fundação Universidade do Amazonas.

- 104 MADGWICK, H.A.I. Above-ground weight of forest plots comparison of seven methods of estimation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 13, n. 1, p. 100-107, 1983.
- 105 MARCOLIN, M. **Polimorfismo e tamanho da amostra para construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L., no segundo planalto paranaense**. Curitiba, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Forestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 106 MARTIN, R.E. Wildland fire science and management (Role of fire in terrestrial ecosystems; Prescribed fire). In: **Curso de atualização em controle de incêndios florestais**. Curitiba : FUPEF/UFPR, 1994. p. 47-90.
- 107 MAXWELL, W.G. ; WARD, F.R. Fuels and fire in land management planning : Part 1. Forest fuel classification. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1981. (**General Technical Report PNW-131**).
- 108 McARTHUR, A. ; G. ; CHENEY, N.P. The characterization of fire in relation to ecological studies. **Australian Forest Research**, East Melbourne, v. 2, n. 3, p. 36-45, 1966.
- 109 McCRAW, W.L. ; NEAL, J.E. ; SMITH, R.H. Fuel accumulation following prescribed burning in young evenaged stands de barri (*Eucalyptus diversicolor*). **Australian Forestry**, Queen Victoria, v. 59, n. 4, p. 171-177, 1996.
- 110 McNAB, W.H. A technique for inventorying volumes and weights of windrowed forest residues. North Carolina : U.S.D.A. Forest Service, 1980. (**Research Paper SE-215**).
- 111 McNAB, W.H. ; EDWARDS Jr., M.B. ; HOUGH, W.A. Estimating fuel weights in slash pine-palmetto stands. **Forest Science**, Bethesda, v. 24, n. 3, p. 345-358, 1978.
- 112 McRAE, D.J. ; ALEXANDER, M.E. ; STOCKS, B.J. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Ontario : Canadian Forestry Service, 1979. p. 1-44. (**Report 0-X-287**)
- 113 McTAGUE, J.P. ; BAILEY, R.L. Compatible basal area and diameter distribution models for thinned loblolly pine plantations in Santa Catarina, Brazil. **Forest Science**, Bethesda, v. 33, n. 1, p. 43-51, 1987.
- 114 MEEUWIG, R.O. ; MILLER, E.L. ; BUDY, J.D. Estimating Pinyon and Juniper fuel and biomass from aerial photographs. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1979. (**Research Note INT-274**).

- 115 MEEUWIG, R.O. ; BUDY, J.D. Point and line-intersect sampling in pinyon-juniper woodlands. Utah : U.S.D.A. Forest Service, 1981. p. 1-8. (**General Technical Report INT-104**).
- 116 MILLER, H.G. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In: BOWUN, G.D. e NAMBIAR, E.K.S., (Ed.). **Nutrition of plantation forests**. London: Academic Press, 1984. p. 53-78.
- 117 MIRANDA, H.S. ; ROCHA E SILVA, E.P. ; MIRANDA, A.C. Comportamento do fogo em queimadas de campo sujo. In: SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS (1996 : Brasília); CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL (3. : 1996 : Brasília). **Anais...** Brasília, D.F. : UnB., 1996. p. 1-9.
- 118 MOLINA TERREN, D.M. Efectos del fuego controlado en la velocidad de infiltración del agua en suelos forestales: un caso de estudio en la costa norte de California. **Invest. Agrar., Sist. Recur. For.**, Madrid, v. 2, n. 2, 1993.
- 119 MORTON, R.T. A modeling primer. In : **Forest Modeling System : Proceedings of a symposium**, Saskatchewan, March 13-15, 1989. BOUGHTON, B. J. ; SAMOIL, J.K. Alberta : Canadian Forestry Service, 1990. p. 18-20. (**Information Report NOR-X-308**)
- 120 NALDER, I.A. et al. Physical properties of dead and downed round-wood fuels in the boreal forests of Alberta and Northwest Territories. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 27, p. 1513-1517, 1997.
- 121 OLIVARES, Z. Modelos de simulación y su empleo en el manejo forestal. **Bosque**, Valdivia, v. 2, n. 1, p. 32-40, 1977.
- 122 OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Durham, n. 44, p. 322-331, 1963.
- 123 PANDOLFO, C. **Considerações sobre a questão ecológica da Amazônia Brasileira**. Belém: Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia, 1990, p. 17-28.
- 124 PHILLIPS, D.R. ; SAUCIER, J.R. A Test of prediction, equations for estimating hardwood understory and total stand biomass. **Georgia Forest Research Paper**, Georgia, n. 7, p. 1-8, 1979.
- 125 PICKFORD, S.G. ; HAZARD, J.W. Simulation Studies on Line Intersect Sampling of Forest Residue. **Forest Sci.**, Bethesda, v. 24, n. 4, p. 469-483, 1978.

- 126 PILLERS, M.D. ; STUART, J.D. Leaf-litter accretion and decomposition in interior and coastal old-growth redwood stands. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 23, p. 552-557, 1993.
- 127 PINHEIRO, G.S. et al. Estimativa do peso de madeira seca em plantios de *Pinus*, através de parâmetros dendrométricos. **Bol. Técn. IF.**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 135-151, 1986.
- 128 POGGIANI, F. et al. Quantificação da deposição de folheto em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 21-29, 1987.
- 129 POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Implicações silviculturais.** Piracicaba, 1985. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 130 PRESCOTT, C.E. Influence of forest floor type on rates of litter decomposition in microcosms. **Soil Biol. Biochem.**, Oxford, v. 28, n. 10/11, p. 1319-1325, 1996.
- 131 PYNE, S.J. **Wildland fire – Fire management in the United States.** New York : Wiley & Sons, 1984.
- 132 RIBEIRO, G.A. **Estudos do comportamento do fogo e de alguns efeitos da queima controlada em povoamentos de *Eucalyptus viminalis* Labill em Três Barras, Santa Catarina.** Curitiba, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 133 RODRIGUES, F.F.G. Influência do fogo e da seca na disponibilidade de alimento para herbívoros do cerrado. *In*: SIMPÓSIO IMPACTO DAS QUEIMADAS SOBRE OS ECOSISTEMAS E MUDANÇAS GLOBAIS (1996 : Brasília); CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL (3 : 1996 : Brasília). **Anais...** Brasília, D.F. : UnB., 1996. p. 76-82.
- 134 ROSOT, N.C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste.** Curitiba, 1980. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 135 SACKETT, S.S. Woody fuel particle size and specific gravity of southwestern tree species. Fort Collins : U.S.D.A. Forest Service, 1980. (**Res. Note RM-389**).

- 136 SACKETT, S. S. ; HAASE, S. M. Fuel loadings in southwestern ecosystems of the United States. North Carolina : U.S.D.A. Forest Service, 1992. p. 187-192 (**Research Note SE-sn.**).
- 137 SALVADOR MADRIGAL, H ; RAMIREZ, M.H. Las propiedades edáficas en la determinación del índice de sitio para dos especies de pino en Uruapan, Michoacan. **Ciencia Forestal en México**, Coyocan, v. 21, n. 79, p. 3-14, 1996.
- 138 SANQUETTA, C.R. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba : FUPEF, 1996. 49 p. (Série Didática, n. 08).
- 139 SANTOS FILHO, A. et al. Desenvolvimento do *Pinus taeda* L. em função das características dos solos em Telêmaco Borba – PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 12, n. 1-2, p. 13-24, 1992/3.
- 140 SCHIMMEL, J. ; GRANSTRÖM, A. Fuel succession and fire behavior in the Swedish boreal forest. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 27, p. 1207-1216, 1997.
- 141 SCHMIDT, P.B. **Determinação indireta da relação hipsométrica para povoa-mentos de *Pinus taeda* L.** Curitiba, 1977. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 142 SCHNEIDER, B.H. ; BELL, D.T. A simple, effective technique for rapid measurement of fuels in low shrub communities. **Australian Forest Research**, East Melbourne, v. 15, n. 1, p. 79-84, 1985.
- 143 SCHNEIDER, P.R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia florestal**. Santa Maria : Centro de Ciências Rurais da Universidade de Santa Maria, 1997.
- 144 SÉGUIER, J. **Dicionário Prático Ilustrado**. Porto : Lello & Irmão, 1966.
- 145 SHIMIZU, J.Y. ; AMARAL, H.R.B. Variação entre procedências de *Pinus taeda* L. na região de Santa Maria, RS. Embrapa, **Bol. Pesq. Flor.**, Curitiba, n. 14, p. 13-18, 1987.
- 146 SMOLANDER, A. et al. Decomposition of Norway spruce and Scots pine needles: Effects of liming. **Plant and Soil**, Netherlands, n. 179, p. 1-7, 1996.
- 147 SOARES, R.V. **The use of prescribed fire in forest management in the State of Paraná, Brasil**. Seattle, 1977. Tese de Ph.D., University of Washington.

- 148 SOARES, R.V. Determinação da quantidade de material combustível acumulado em plantios de *Pinus* spp na região de Sacramento (MG). **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 48-62, 1979.
- 149 SOARES, R.V. **Incêndios Florestais : controle e uso do fogo**. Curitiba : FUPEF. 1985.
- 150 SOARES, R.V. Ocorrência de incêndios em povoamentos florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 22, n. 1-2, p. 39-53, 1992.
- 151 SOARES, R.V. ; CORDEIRO, L. Análise das causas e épocas de ocorrência de incêndios florestais na região centro-paranaense. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 46-49, 1994.
- 152 SOARES, R.V. Planos de proteção contra incêndios florestais. *In* : REUNIÃO TÉCNICA CONJUNTA FUPEF/SIF/IPEF (4 : 1996 : Curitiba) ; CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONTROLE DE INCÊNDIOS FLORESTAIS (2 : 1996 : Curitiba). **Anais...** Curitiba : FUPEF/UFPR, 1996. p. 140-150, 1996.
- 153 SOUZA, L.J.B. **Influência da queimada sobre a capacidade de regeneração de um solo distrófico do Amazonas**. Manaus : Universidade do Amazonas/ CNPq. (no prelo). 1998.
- 154 STERGAS, R.L. ; ADAMS, K.B. Jack pine barrens in northeastern New York: postfire macronutrient concentrations heat content, and understory biomass. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n.19, p. 904-910,1989.
- 155 STOCKS, B.J. Black spruce crown fuel weights in northern Ontario. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 10, p. 498-501,1980.
- 156 STEEL, R.G.D. ; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics – a Biometrical Approach**. 2. Ed. New York: McGraw – Hill Book Co., 1980.
- 157 TRABAUD, L. Apport des études écologiques dans la lutte contre le feu. **Revue Forestière Française**, Nancy, n. SP, p. 140-153, 1974.
- 158 TRABAUD, L. Materiali combustibili e fitomassa epigea di alcuni popolamenti del Mediterraneo francese. Grupo Giornalistico Edagricole. Extraído de: **Montanaro D'Italia-Monti e Boschi**, Bologna, v. 28, n. 4, p. 45-49, 1977.
- 159 TREVISAN, E. **Classificação e caracterização de horizontes orgânicos sob povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Ponta Grossa-PR - 1ª Aproximação**. Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.



- 160 TREVISAN, E. ; REISSMANN, C.B. ; KOEHLER, C.W. ; LIMA, J.M.J.C. Morfologia de horizontes orgânicos acumulados sob povoamento de *Pinus Taeda* L. em três sítios distintos. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, 1987.
- 161 TURNBULL, C.R.A. ; MADDEN, J.L. Litter accession, accumulation and decomposition in cool temperate forest of southern Tasmania. **Aust. For. Res.**, East Melbourne, n. 16, p. 145-153, 1986.
- 162 VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield - applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994.
- 163 VAN WAGNER, C.E. Practical aspects of the line intersect method. Ontario : Canadian Forestry Service, 1982. p. 1-11. (**Information Report PI-X-12**).
- 164 WADE, D.D. Estimating slash quantity from standing loblolly pine. North Carolina : U.S.D.A. Forest Service, 1969. (**Research Note SE-125**).
- 165 WALKER, J.D. Fuel types and forest fire behavior in New Brunswick. Ontario : Canadian Forestry Service, 1971. p. 1-6. (**Information Report 0-X-154**).
- 166 WENDLING, J.L.G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. plantadas a céu aberto**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 167 WERKEMA, M.C.C. ; AGUIAR, S. **Análise de regressão** : como entender o relacionamento entre as variáveis de um processo. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996. (Série Ferramentas de qualidade, v. 7).
- 168 WIEGERT, R.G. ; MONK, C.D. Litter production and energy accumulation in three plantations of longleaf pine (*Pinus palustris* Mill). **Ecology**, Durham, v. 53, n. 5, 1972.
- 169 YIN, X. ; PERRY, J.A. ; DIXON, R.K. Influence of canopy removal on oak forest floor decomposition. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 19, p. 204-214, 1989.
- 170 ZANON, M.L.B. et al. Funções para descrever a relação altura diâmetro de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 87-90, 1996.

- 171 ZHANG, Q. ; LIANG, Y. Effects of gap size on nutrient release from plant litter decomposition in a natural forest ecosystem. **Canada Journal of Forest Research**, Ottawa, n. 25, p. 1627-1638, 1995.

## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**CHAVE DE FAHNESTOCK**

## CHAVE DICOTÔMICA PARA DETERMINAR O POTENCIAL DE INCÊNDIO DE COPA

A	Folhagem presente, árvores vivas ou mortas .....	B
	Folhagem ausente, árvores mortas .....	T
B	Folhagem viva .....	C
	Folhagem morta .....	S
C	Folhas decíduas ou, se persistentes, macias, flexíveis e úmidas, nunca oleaginosas, ceráceas ou resinosas .....	S
	Folhas persistentes com outras características.....	D
D	Folhas resinosas, ceráceas ou oleaginosas .....	E
	Folhagem de outro tipo .....	J
E	Copa densa .....	F
	Copa rala .....	I
F	"Escadas de fogo" em abundância .....	G
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	H
G	Dossel com fechamento $\geq 75\%$ .....	9
	Dossel com fechamento $< 75\%$ .....	7
H	Dossel com fechamento $\geq 75\%$ .....	7
	Dossel com fechamento $< 75\%$ .....	5
I	"Escadas de fogo" em abundância .....	4
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	2
J	Copa densa .....	K
	Copa rala .....	N
K	"Escadas de fogo" em abundância .....	L
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	M
L	Dossel com fechamento $\geq 75\%$ .....	7
	Dossel com fechamento $< 75\%$ .....	7

M	Dossel com fechamento $\geq 75\%$ .....	5
	Dossel com fechamento $< 75\%$ .....	3
N	"Escadas de fogo" em abundância .....	3
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	1
P	Copa densa .....	Q
	Copa rala .....	T
Q	"Escadas de fogo" em abundância .....	R
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	S
R	Dossel com fechamento $\geq 75\%$ .....	10
	Dossel com fechamento $< 75\%$ .....	9
S	Dossel com fechamento $\geq 75\%$ .....	8
	Dossel com fechamento $< 75\%$ .....	4
T	"Escadas de fogo" em abundância .....	6
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	1
V	Espaçamento de 10 m ou menos entre árvores .....	X
	Espaçamento acima de 10 m entre árvores .....	2
X	"Escadas de fogo" em abundância .....	Y
	"Escadas de fogo" esparsas ou ausentes .....	W
Y	Árvores com cascas desgrenhadas e/ou "mechas" abundantes.....	10
	Árvores sem estas características.....	8
W	Árvores com cascas desgrenhadas e/ou "mechas" abundantes.....	10
	Árvores sem estas características.....	5

FONTE: Adaptada a partir da chave de FAHNESTOCK (1970), mantendo a mesma escala (números) arbitrária de valores

**ANEXO 2**

**TABELAS DE CARGAS DE COMBUSTÍVEL E VARIÁVEIS EXPLICATIVAS**

TABELA 14. DISTRIBUIÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SUPERFICIAIS DAS PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus dunnii* EM CLASSES DE ESPESSURA

Classes padrões	Carga de combustível ( peso de matéria seca em Mg/ha) / idade (meses)							
	22	34	55	78	92	103	113	124
Wf	0,06	4,26	6,48	7,53	9,75	11,66	14,81	18,35
W $\phi_1$	1,61	0,61	1,29	4,63	4,07	4,27	5,55	6,37
W $\phi_2$	3,75	0,58	1,38	3,45	3,58	3,14	4,48	4,74
W $\phi_3$	3,50	0,14	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
W $\phi_4$	1,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wv	5,21	2,09	1,56	1,61	1,19	2,55	1,99	1,36
Wt	9,92	5,70	9,21	15,61	17,40	19,07	24,84	29,46

TABELA 15. DISTRIBUIÇÃO DOS COMBUSTÍVEIS SUPERFICIAIS DAS PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* EM CLASSES DE ESPESSURA

Classes padrões	Carga de combustível ( peso de matéria seca em Mg/ha) / idade (anos)							
	3	5	7	9	11	13	15	17
Wa	0,00	5,53	7,33	8,62	13,21	10,89	16,69	18,01
W $\phi_1$	0,27	0,20	0,32	0,57	0,56	0,77	1,08	1,19
W $\phi_2$	1,63	0,20	0,57	1,24	0,85	1,10	2,24	2,05
W $\phi_3$	0,76	0,01	0,00	0,43	0,16	0,54	0,57	0,44
W $\phi_4$	2,36	0,00	0,00	0,54	0,00	0,00	0,08	0,14
Wv	8,95	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Wt	13,97	6,07	8,10	11,39	13,70	13,39	20,66	21,10

TABELA 16. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES CUMULATIVAS DE COMBUSTÍVEIS NAS PLANTAÇÕES DE *Eucalyptus dunnii*

Classes	Carga de combustível ( peso de matéria seca em Mg/ha) / idade (meses)							
	22	34	55	78	92	103	113	124
Wf	0,055	4,375	6,485	7,527	9,754	11,664	14,812	18,354
W $\phi_1$	1,666	4,988	7,773	12,158	13,820	15,934	20,362	24,726
W $\phi_2$	5,417	5,569	9,152	15,608	17,401	19,070	24,837	29,462
W $\phi_3$	8,921	5,713	9,210	15,608	17,401	19,070	24,837	29,462
W $\phi_4$	9,917	5,817	9,210	15,608	17,401	19,070	24,837	29,462
Wv	5,211	2,091	1,485	1,614	1,189	2,549	1,795	1,362
Wt	15,127	7,908	10,696	17,221	18,590	21,619	26,631	30,823





TABELA 20. MÉDIAS DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS MENSURADAS EM CADA IDADE DAS PLANTAÇÕES DE *P. taeda* E *E. dunnii*

ESPÉCIE	IDADE	Variáveis explicativas					
		S cm	h <sub>v</sub> m	DAP cm	ddom cm	hdom m	G m <sup>2</sup> /ha
P I N U S	3	0,0	-	8,3	10,8	5,7	7,7
	5	2,3	-	16,1	19,9	10,1	30,3
	7	3,4	-	18,1	22,5	13,1	40,8
	9	3,5	-	20,0	27,0	14,5	55,1
	11	5,1	-	22,1	30,2	14,3	64,2
	13	5,0	-	22,4	32,0	20,7	56,6
	15	6,6	-	24,1	33,7	24,7	62,7
	17	6,2	-	24,6	33,6	24,9	64,9
E U C A L I P T O	meses	S cm	h <sub>v</sub> m	DAP cm	ddom cm	hdom m	G m <sup>2</sup> /ha
	22	-	0,45	5,5	8,1	6,3	2,6
	34	-	0,23	12,3	14,8	14,6	12,3
	55	-	0,21	15,6	22,0	20,7	19,2
	78	-	0,28	15,7	25,4	27,7	24,0
	92	-	0,12	16,0	26,6	30,8	28,9
	103	-	0,50	15,5	26,0	31,3	30,1
	113	-	0,37	15,3	27,6	33,8	29,6
124	-	0,26	16,7	29,3	38,0	35,3	

**ANEXO 3**  
**DIAGRAMAS DE RESÍDUOS**

FIGURA 23. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEIS DA LITEIRA NAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

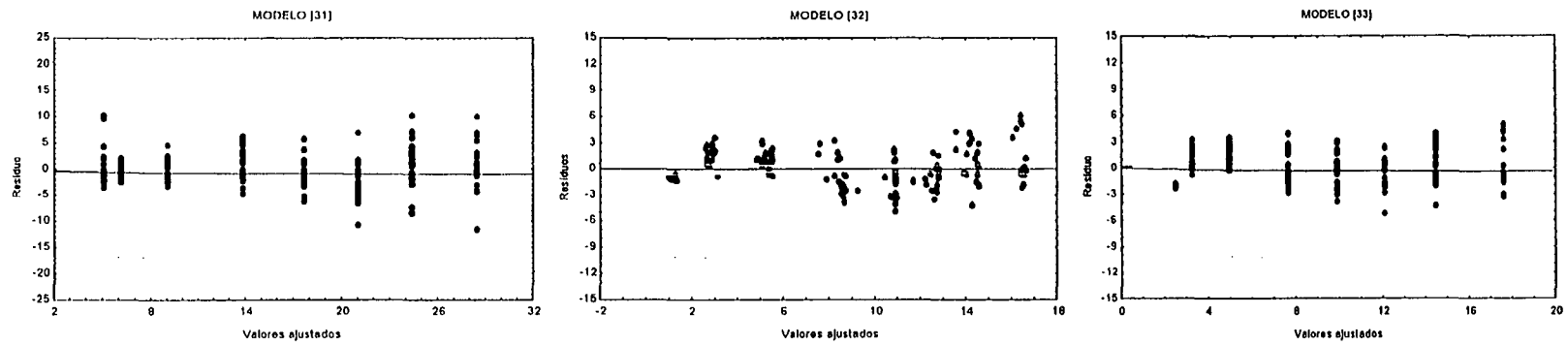


FIGURA 24. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEIS DE ATÉ 25 mm DE ESPESSURA NAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

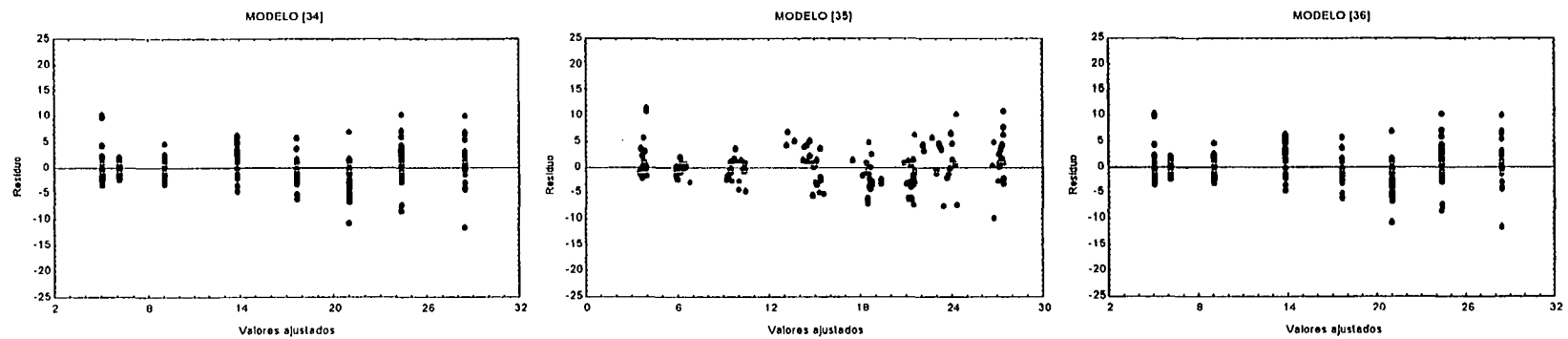


FIGURA 25. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL TOTAL NAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

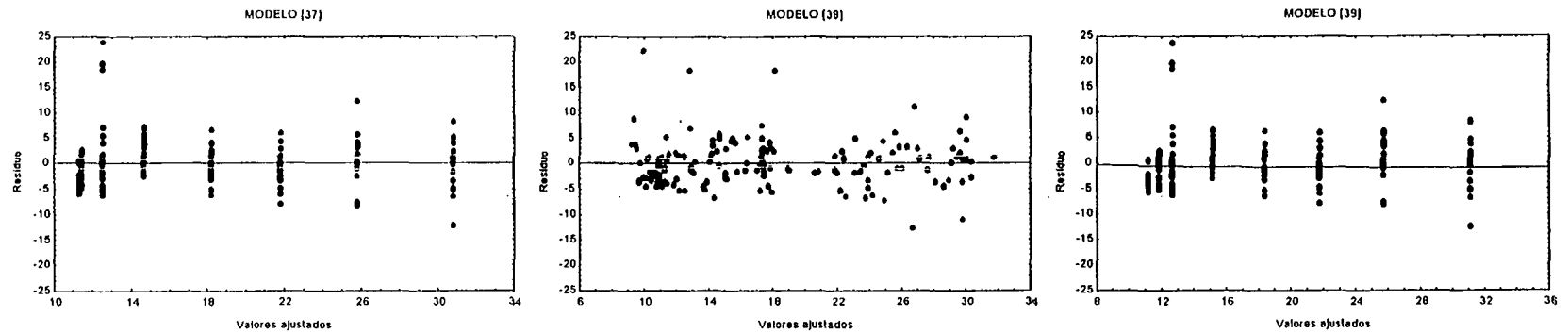


FIGURA 26. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEL VIVO DA VEGETAÇÃO BAIXA DO SUB-BOSQUE DAS PLANTAÇÕES DE *E. dunnii*

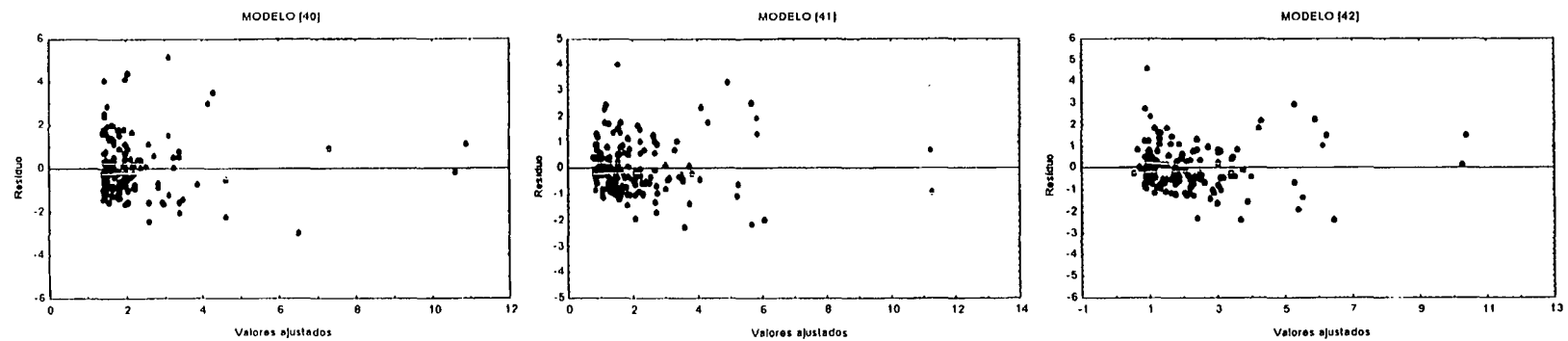


FIGURA 27. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR A CARGA DE ACÍCULAS NAS PLANTAÇÕES DE *P. taeda*

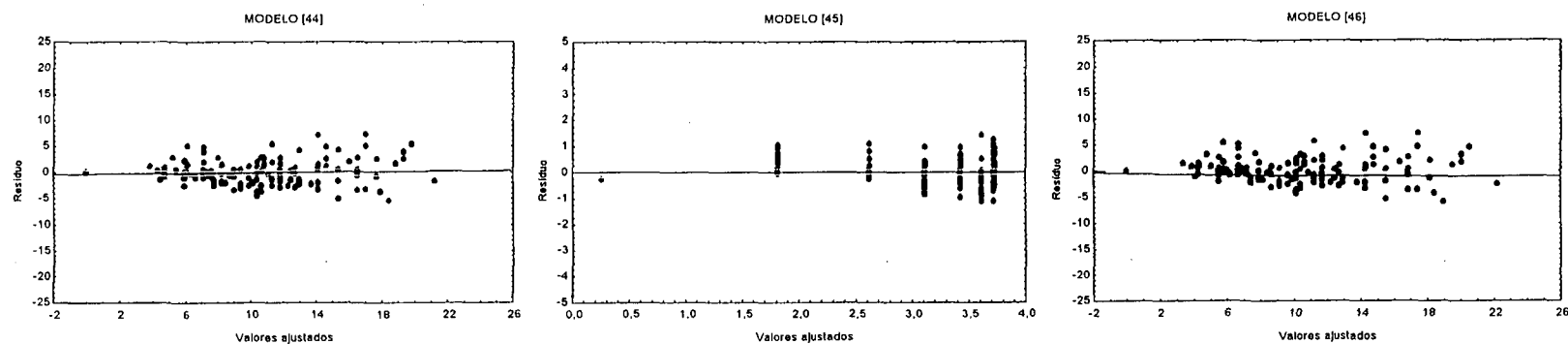


FIGURA 28. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEL DE ATÉ 25 mm DE ESPESSURA NAS PLANTAÇÕES DE *P. taeda*

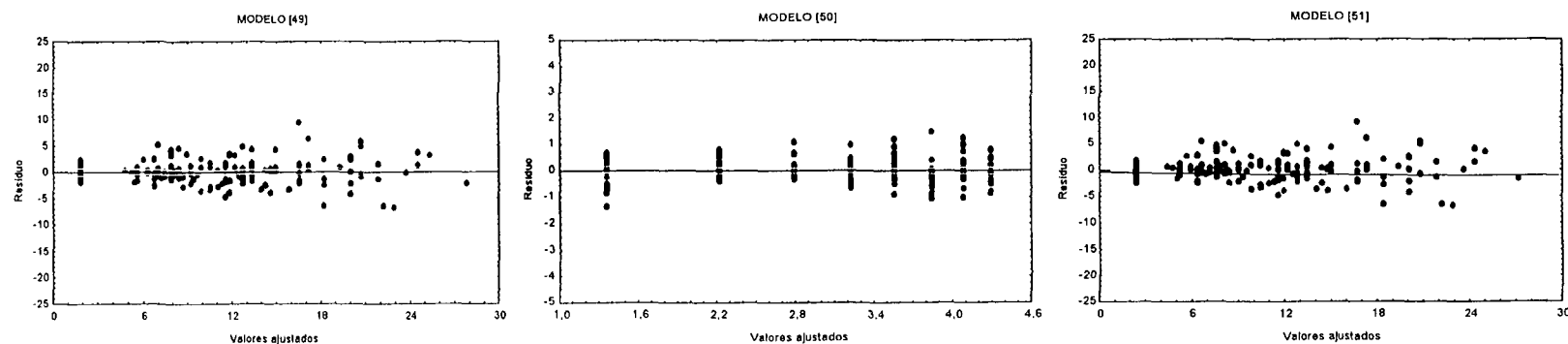


FIGURA 29. DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS RELATIVA AOS MODELOS PARA ESTIMAR COMBUSTÍVEL SUPERFICIAL TOTAL NAS PLANTAÇÕES DE *P. taeda*

