

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**QUALIFICAÇÃO MECÂNICA DE MADEIRAS PARA USO COMO  
DORMENTE FERROVIÁRIO**

**ROBERTO ANTONIO COLENCI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Maio - 2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**QUALIFICAÇÃO MECÂNICA DE MADEIRAS PARA USO COMO  
DORMENTE FERROVIÁRIO**

**ROBERTO ANTONIO COLENCI**

**Orientador: Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP

Maio – 2002

## **MENÇÃO ESPECIAL**

A meu pai, ferroviário, exemplo de trabalho e dedicação, pelos ensinamentos e incentivo durante a realização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela graça recebida de poder alcançar tão almejada realização.

Ao meu irmão Alfredo Jr. pela confiança depositada em meu trabalho, e pelo apoio em mais esta etapa da minha vida.

Ao Prof. Dr. Adriano Wagner Ballarin, minha eterna gratidão pelos ensinamentos, dedicação e pela amizade durante a orientação deste trabalho.

À Ferroban – Ferrovia Bandeirantes S/A, especialmente aos Eng. João Gouveia Ferrão Neto e Eng. Ruy Ferrão Costalat, pelo fornecimento dos dormentes para a realização dos ensaios.

Aos amigos Aílton de Lima Lucas e Marcelo Nogueira, pela colaboração nos ensaios e pela amizade.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Regina Marcati, pela colaboração na identificação botânica das espécies de madeiras.

Aos funcionários da marcenaria da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, Silvio e Soller, pela confecção dos corpos-de-prova.

A todos os Professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e do Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, pela amizade e apoio, indispensáveis para a realização deste trabalho.

À minha esposa Heloisa e aos nossos  
filhos, Raquel, Beatriz, Ricardo e Renato,  
pelo amor, compreensão, dedicação e  
estímulo para a conclusão do presente  
trabalho.

dedico.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE QUADROS .....	III
LISTA DE FIGURAS .....	V
1. RESUMO .....	1
2. SUMMARY .....	2
3. INTRODUÇÃO .....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
4.1 Madeiras para dormentação ferroviária – terminologia .....	7
4.2 Defeitos nos dormentes .....	9
4.3 Documentos técnicos de empresas ferroviárias, formato e dimensões dos dormentes .....	15
4.4 A madeira do gênero <i>Eucalyptus</i> na dormentação .....	20
4.5 Itens estudados no projeto de revisão da NBR 7511/1982.....	26
4.5.1 Especificação de madeira de reflorestamento .....	26
4.5.2 Classificação da madeira para dormentação .....	26
4.5.3 Especificação de ensaios para homologação.....	27
4.5.4 Índices de desempenho.....	28
4.6 A dureza Janka e as outras propriedades mecânicas .....	30
5. MATERIAL E MÉTODOS .....	34
5.1 Análise sistemática dos documentos técnicos das empresas.....	34
5.2 Material .....	34
5.3 Métodos.....	36
5.3.1 Ensaios em dormentes.....	36
5.3.1.1 Análise visual e características geométricas dos dormentes .....	36
5.3.1.2 Identificação das madeiras .....	36
5.3.1.3 Umidade a campo.....	37
5.3.1.4 Dureza nos dormentes .....	38
5.3.2 Ensaios em corpos-de-prova .....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
6.1 Análise sistemática dos documentos técnicos das empresas .....	43
6.2 Ensaios em dormentes .....	46
6.2.1 Análise visual e características geométricas dos dormentes .....	46
6.2.2 Identificação das madeiras .....	48
6.2.3 Umidade a campo.....	49

	<b>Página</b>
6.2.4 Dureza nos dormentes .....	50
6.3 Ensaios em corpos-de-prova .....	54
6.3.1 Dureza paralela às fibras .....	56
6.3.2 Dureza normal às fibras.....	58
6.3.3 Compressão paralela às fibras .....	60
6.3.4 Compressão normal às fibras .....	63
6.3.5 Tração normal às fibras .....	65
6.3.6 Estabilidade dimensional.....	67
6.4 Índices de desempenho para os dormentes estudados.....	69
6.5 Correlações entre as propriedades físico-mecânicas .....	74
7. CONCLUSÕES.....	78
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

## LISTA DE QUADROS

		<b>Página</b>
1	Dimensões mínimas exigíveis para dormentes prismáticos de madeira – RFFSA .....	15
2	Dimensões mínimas exigíveis para dormentes prismáticos Ferroban...	16
3	Especificações para dormentes especiais – Ferroban .....	16
4	Tolerâncias dimensionais para dormentes – Ferroban.....	18
5	Propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto .....	25
6	Valores médios de algumas propriedades de grupamentos de madeira.	26
7	Classificação da madeira em função dos valores mínimos de desempenho .....	27
8	Classificação de algumas espécies de madeiras para uso como dormentes, segundo seus índices de desempenho .....	29
9	Valores do coeficiente de correção $\alpha$ - Equação (4).....	33
10	Classificação obtida por algumas espécies de madeira habilitadas para uso como dormente ferroviário pela Empresa “A” .....	44
11	Classificação obtida por algumas espécies de madeira habilitadas para uso como dormente ferroviário pela Empresa “B” .....	45
12	Classificação obtida por algumas espécies de madeira de reflorestamento .....	45
13	Dimensões dos dormentes e presença de defeitos – Série “S” .....	46
14	Dimensões dos dormentes e presença de defeitos – Série “D” .....	47
15	Dimensões dos dormentes e presença de defeitos - Série“E”- Eucalipto .....	47
16	Resultados da análise anatômica do lenho dos segmentos representantes dos dormentes .....	48

		<b>Página</b>
17	Grupos de madeiras e respectivas identificações.....	49
18	Umidade nos dormentes no pátio da Ferroban .....	50
19	Dados gerais médios obtidos nos corpos-de-prova representativos dos dormentes .....	55
20	Valores médios de retratibilidade .....	68
21	Índices de desempenho das séries de dormentes Lauraceae e Vochysiaceae .....	70
22	Índice de desempenho da série de dormentes Eucalipto citriodora.....	71
23	Classificações obtidas pelas séries dentro de seus grupos, de acordo com alguns quesitos (propriedades mecânicas ou índice de desempenho).....	72

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
1	Terminologia geral de madeira para dormentes	8
2	Racha de topo.....	9
3	Racha longitudinal .....	9
4	Furo de broca .....	10
5	Nó.....	10
6	Nó cariado.....	11
7	Nó destacado.....	11
8	Furo de topo .....	12
9	Podridão .....	12
10	Racha anelar.....	13
11	Mancha.....	13
12	Vento.....	14
13	Zona de fixação nos dormentes .....	14
14	Defeitos tolerados- esmoado.....	19
15	Relação linear entre a dureza normal às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca.....	31
16	Relação linear entre a dureza paralela às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca.....	32
17	Dormentes de madeira nativa, estocados no pátio de manobras na cidade de Botucatu – SP .....	35
18	Medição de umidade a campo .....	37
19	Dormentes de madeira nativa (a) e dormentes de madeira reflorestada (b), desdobrados para a retirada dos corpos-de-prova .....	38
20	Retirada dos corpos-de-prova - em processamento (a) e processados (b) ..	39
21	Balança (a) e estufa para controle de umidade (b).....	40

	<b>Página</b>
22	Controle de umidade dos corpos-de-prova no laboratório da FCA..... 40
23	Ensaio de dureza (a) e compressão normal às fibras (b)..... 41
24	Ensaio de dureza normal (a) e dureza paralela (b) às fibras dos corpos-de-prova ..... 42
25	Esquema representativo da face do dormente com os pontos de avaliação da dureza normal às fibras ..... 51
26	Máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 MF,utilizada para ensaio de dureza normal às fibras em segmentos dos dormentes ..... 51
27	Diagrama de superfície da dureza normal às fibras - Dormente E5 Madeira de reflorestamento ..... 52
28	Diagrama de superfície da dureza normal às fibras - Dormente D9 Madeira nativa ..... 53
29	Dureza paralela às fibras – valores das séries- Eucalipto citriodora..... 57
30	Dureza paralela às fibras – valores das séries –Lauraceae ..... 57
31	Dureza paralela às fibras – valores das séries – Vochysiaceae..... 58
32	Dureza normal às fibras – valores das séries - Eucalipto citriodora..... 58
33	Dureza normal às fibras – valores das séries – Lauraceae..... 59
34	Dureza normal - às fibras – valores das séries Vochysiaceae..... 59
35	Compressão paralela às fibras – valores das séries – Eucalipto citriodora..... 61
36	Compressão paralela às fibras – valores das séries – Lauraceae ..... 61
37	Compressão paralela às fibras – valores das séries – Vochysiaceae .... 62
38	Compressão normal às fibras – valores das séries – Eucalipto citriodora..... 63
39	Compressão normal às fibras – valores das séries – Lauraceae ..... 64
40	Compressão normal às fibras – valores das séries – Vochysiaceae..... 64
41	Tração normal às fibras – valores das séries - Eucalipto citriodora ..... 66
42	Tração normal às fibras – valores das séries – Lauraceae ..... 66
43	Tração normal às fibras – valores das séries – Vochysiaceae ..... 67

	<b>Página</b>
44	Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades variáveis nos lotes..... 75
45	Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores corrigidos para a umidade de referência de 12% ..... 75
46	Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades variáveis nos lotes..... 76
47	Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores corrigidos para a umidade de referência de 12% ..... 77

## 1 RESUMO

O dormente de madeira é definido como sendo a peça da superestrutura da via férrea que transmite ao lastro, ou à plataforma rígida, os esforços recebidos das rodas dos veículos, através das fiadas de trilhos, opondo-se ao deslocamento longitudinal delas, mantendo a bitola da via e a inclinação das mesmas fiadas.

Esse elemento fundamental é utilizado pelas as ferrovias brasileiras em suas vias permanentes. Cerca de 80% das ferrovias brasileiras utilizam dormentes de madeira.

Ocorre que a utilização de madeiras nobres em maior escala tornou-se inviável, dado o alto preço no mercado e as condições de abate de árvores nativas, passando a serem adotadas soluções alternativas, como o uso de madeiras de reflorestamento para este fim.

Neste sentido, ainda são várias as dificuldades encontradas na especificação para aceitação destes dormentes de madeira de reflorestamento, quando fornecidos às empresas ferroviárias.

O propósito deste trabalho foi o de estudar critérios ou práticas, que fossem aplicáveis no campo e em exemplares individuais, para a qualificação mecânica de algumas espécies de madeira, correlacionando a dureza Janka, com outras propriedades mecânicas da madeira.

## MECHANICAL QUALIFICATION OF WOODEN RAILWAY CROSSTIES (SLEEPERS).

Botucatu, 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ROBERTO ANTONIO COLENCI

Adviser: ADRIANO WAGNER BALLARIN

## 2 SUMMARY

Sleeper (railroad crosstie) is defined as part railway superstructure that transmits to the ballast or the rigid platform loads and other efforts received from the vehicles wheels, through the lines of tracks, opposing itself to its longitudinal displacement, keeping the gauge of the way and the inclination of the same lines.

This basic component is used by all the Brazilian railways on its lines and around 80% of the Brazilian railways apply wooden sleepers.

Nowadays the large scale utilization of several native hardwoods with exceptional performance to this purpose is becoming impracticable, mainly due to its high prices and the restrictive laws to its harvesting. Alternative solutions have been adopted, using reforested wood in general.

In this initiative, several difficulties are presented on the specification and in the acceptance criteria for this alternative wooden sleepers.

This work studies criteria or practices, applicable in the field level to individual units for the mechanical qualification of this alternative wooden sleepers, correlating the Janka hardness with other mechanical properties and of wood.

### **3 INTRODUÇÃO — UM RESGATE HISTÓRICO**

Com a Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra no século XVII, acelerando a produção das fábricas, surgiu, como consequência, a necessidade de desenvolvimento de meios de transporte eficientes, sendo assim concebida a locomotiva e a estrada de ferro.

Depois de James Watt, inventor da máquina a vapor, em 1770, foram feitas várias tentativas no sentido de construir uma máquina que se locomovesse impulsionada por vapor de água.

Em 1829, George Stephenson ganhou um prêmio com sua locomotiva “The Rocket”, que rebocou 38 t e desenvolveu a incrível velocidade —para a época—de 25 km/h, ficando evidente que esse engenho seria aplicado com sucesso como um meio de transporte terrestre.

Muitos aperfeiçoamentos foram feitos e, a partir desses acontecimentos, as estradas de ferro começaram a ser implantadas em todo o mundo, tornando-se fator preponderante na economia dos diversos países.

Inicialmente as estradas de ferro utilizaram o vapor como fonte de energia, passando depois ao uso da energia elétrica e posteriormente ao óleo diesel, sempre adaptando-se às necessidades e condições das regiões onde eram instaladas.

Em 1835, apenas cinco anos depois de ter sido implantado na Inglaterra o primeiro serviço regular de transporte ferroviário do mundo, o Regente Feijó, no

Segundo Império, promulgou a lei que autorizava a concessão para a construção e a exploração das ferrovias no Brasil. Algumas tentativas foram feitas mas sem sucesso e, somente a partir da segunda metade do século XIX, começaram a aparecer as primeiras ferrovias brasileiras. Em abril de 1854 foi inaugurada a Estrada de Ferro Mauá, no Estado do Rio de Janeiro, que fazia a ligação de Mauá à Parada Fragoso, trecho com 14,5 km de extensão. O primeiro trem que circulou nesta estrada era composto de três carros de passageiros e um de bagagem. A locomotiva que rebocou esta composição recebeu o nome de “A Baroneza”, homenageando a mulher do Barão de Mauá, grande incentivador das ferrovias no Brasil.

Treze anos depois, em 1867, iniciou-se o transporte ferroviário no Estado de São Paulo, com a inauguração do primeiro trecho da “São Paulo Railway Co.”, que fazia a ligação do porto de Santos à São Paulo e Jundiaí. Mais seis anos e seria inaugurado o primeiro trecho da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, ligando Jundiaí a Campinas, com uma extensão de 44 km. Em 1874, seria a vez da Estrada de Ferro Sorocabana, com a inauguração do trecho entre São Paulo e Sorocaba, e também da Companhia Mogiana de Estradas de Ferro, que iniciou a operação entre as cidades de Campinas e Mogi Mirim.

Além desses, outros trechos foram inaugurados em outras regiões do País, que entrou no século XX com a impressionante extensão de 16.000 km de ferrovias.

Paralelamente, as obras das estradas de rodagem atingiam os Portos de Santos –SP e Paranaguá – PR, saídas dos nossos produtos ao mundo. O asfalto cortava caminhos e chegava diretamente às fazendas produtoras, que passavam a utilizar o novo meio de transporte ágil, seguro e com menor trabalho. O produtor começava a sentir que as ferrovias haviam perdido seu lugar. O Governo, por sua vez, acreditando que esse seria o caminho a seguir, praticamente deixou de lado os investimentos nas ferrovias.

Iniciava-se a decadência das ferrovias brasileiras a partir do ano de 1961, época em que a política de modernização do Brasil contemplava a importação das indústrias e de toda sua tecnologia, especialmente a indústria automotiva que incentivou sobremaneira a construção de rodovias pavimentadas por todo o território nacional.

Os conceitos sobre pólos de produção agrícola foram sendo alterados em função do valor das terras e a estrutura ferroviária foi sendo esquecida. As zonas produtoras de café, milho, trigo, carne e algodão foram se distanciando dos troncos e ramais

ferroviários, sendo necessário, já naquele tempo, os serviços de “ponta rodoviária”, que aumentavam os custos de transporte.

Estava lançada, naquele momento, a política que seria a decadência do modal ferroviário brasileiro. A manutenção da frota do material rodante, das instalações fixas, dos equipamentos, do patrimônio e, especialmente, da via permanente, foi gradativamente ficando comprometida, por falta de investimento e custeio.

Já o panorama para o século XXI apresenta-se muito modificado. Com o processo de privatização das ferrovias brasileiras, a RFFSA - Rede Ferroviária Federal S/A, a FEPASA - Ferrovia Paulista S/A e a CVRD - Companhia Vale do Rio Doce, que representam juntas aproximadamente 30.000 km de via permanente, foram leiloadas pelos Governos Federal e Estadual a empresas privadas, com o objetivo de tornar o modal ferroviário moderno, atraente, competitivo, rápido e seguro, procurando reunir condições para que a ferrovia recuperasse a sua importância no cenário nacional.

Com isso, as ferrovias, agora privatizadas, deverão investir muito na recuperação de suas malhas altamente deterioradas; a superestrutura e a infraestrutura deverão passar por rigorosas inspeções e melhorias, fato esse que se inicia com a substituição de dormentes de madeira, base para um transporte seguro.

A grande maioria das Companhias de Estradas de Ferro brasileiras utiliza em larga escala dormentes de madeira. A malha ferroviária brasileira, com cerca de 36.000 km de extensão, emprega dormentes de madeira em mais de 80% de sua via permanente. A CVRD - Companhia Vale do Rio Doce, operadora da Estrada de Ferro Carajás (cerca de 900 km de extensão) utiliza exclusivamente dormentes de madeira. Na fase de implantação dessas ferrovias havia grande disponibilidade de madeiras de uso consagrado para esse fim, porém, com a drástica alteração dessa realidade, essas madeiras atingiram preços proibitivos, exigindo novas alternativas. Assim, os programas de reposição de dormentes nas vias permanentes têm envolvido altas cifras, o que exige soluções imediatas para redução de custo.

Contando-se com o fato adicional de que a maioria das empresas ferroviárias brasileiras enfrenta uma situação mais difícil do que aquela vivenciada pela Estrada de Ferro Carajás, com déficits acumulados que se agigantam ano a ano, a alternativa, a curto e médio prazos, tem sido a viabilização do uso de madeiras de reflorestamento para a

confeção de dormentes, aos moldes da sistemática já adotada em outros países como África do Sul, Argentina e Uruguai, dentre outros.

O código normativo que especifica e baliza essa aplicação da madeira - NBR 7511 - Dormentes de madeira, (ABNT, 1982) - encontra-se desatualizado e incompleto para dar suporte técnico a essa nova realidade. Ocorre que não existe um padrão regulamentado sobre o uso de madeiras para dormente ferroviário; a norma brasileira, ignorando aspectos como resistências características de cada espécie de madeira e as distintas condições de tráfego a que podem estar submetidos os dormentes, fixa, indiferenciadamente, suas dimensões e classifica as espécies de acordo com critérios práticos.

Na maioria dos processos para especificação de dormentes, os aspectos técnicos envolvidos têm sido ditados por documentos internos das próprias empresas ferroviárias, mais abrangentes, completos e atuais, em substituição à NBR 7511.

A necessidade da completa revisão e ampliação do atual código normativo já foi evidenciada em trabalho de Ballarin (1996) e desde essa data esta revisão está a cargo de comissão de estudos CE 6:01.001 – Dormentes e lastro ferroviário - vinculada ao CB - 6 - Comitê Brasileiro Metro - Ferroviário, da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Paralelamente, a Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu, através de seu Departamento de Engenharia Rural, vem trabalhando desde 1992 com a análise teórica dimensional de dormentes prismáticos de madeira de reflorestamento, utilizando-se do método computacional dos elementos finitos e considerando as diversas variáveis envolvidas nesse problema.

Na continuidade dessa linha de pesquisa, este trabalho tem como objetivo principal estudar critérios ou práticas, aplicáveis no campo e em exemplares individuais, para a qualificação mecânica de madeiras para dormentes.

O trabalho tem ainda os seguintes objetivos específicos:

- estudar, através de ensaios convencionais, critérios para a qualificação mecânica de espécies de madeiras para uso como dormentes;
- analisar os documentos técnicos das empresas e fornecer subsídios para uma possível revisão da norma brasileira sobre o assunto;
- correlacionar a dureza Janka com outras propriedades mecânicas da madeira.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Madeiras para dormentação ferroviária – terminologia.

Brina (1979) comentou que o dormente ferroviário é o elemento que tem por função receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos , servindo de suporte dos trilhos, permitindo sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (bitola).

O autor afirmou ainda que para cumprir essa finalidade torna-se necessário:

- que suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse certo limite;
- que a sua espessura lhe dê a necessária rigidez, permitindo entretanto alguma elasticidade;
- que tenha suficiente resistência aos esforços;
- que tenha durabilidade;
- que permita, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro (socaria), na sua base
- que se oponha eficazmente aos deslocamentos longitudinais e transversais da via permanente;
- que permita uma boa fixação do trilho, isto é, que ela seja firme, sem ser excessivamente rígida.

Para a dormentação de vias férreas, o mesmo autor afirmou que o dormente de madeira, em comparação aos outros tipos (concreto e aço), reúne quase todas as qualidades exigidas para esse elemento estrutural, e com isso continua a ser o principal tipo utilizado nas ferrovias.

Para os dormentes de madeira, os termos técnicos utilizados obedecem à Terminologia Brasileira “Madeiras para Dormentes”, da ABNT, NBR-6966/97, cabendo destaque aos seguintes (transcritos literalmente do código normativo):

- Alburno ou branco: parte externa do lenho, situada entre o cerne e a casca da árvore, composta de elementos celulares vivos, por ocasião do abate da árvore, caracterizada por apresentar cor clara, geralmente esbranquiçada;
- Casca: camada que recobre o lenho da árvore, constituída de uma região interna, viva (floema) e outra externa, protetora, inerte (camada cortical ou ritidoma);
- Cerne: parte interna do lenho da árvore, envolvida pelo alburno, caracterizada geralmente por apresentar coloração mais escura que o alburno e por ser constituída de elementos celulares sem atividade vegetativa;
- Face superior do dormente (Figura 1)- onde se assentam os trilhos: face que representa maior porcentagem de alburno;

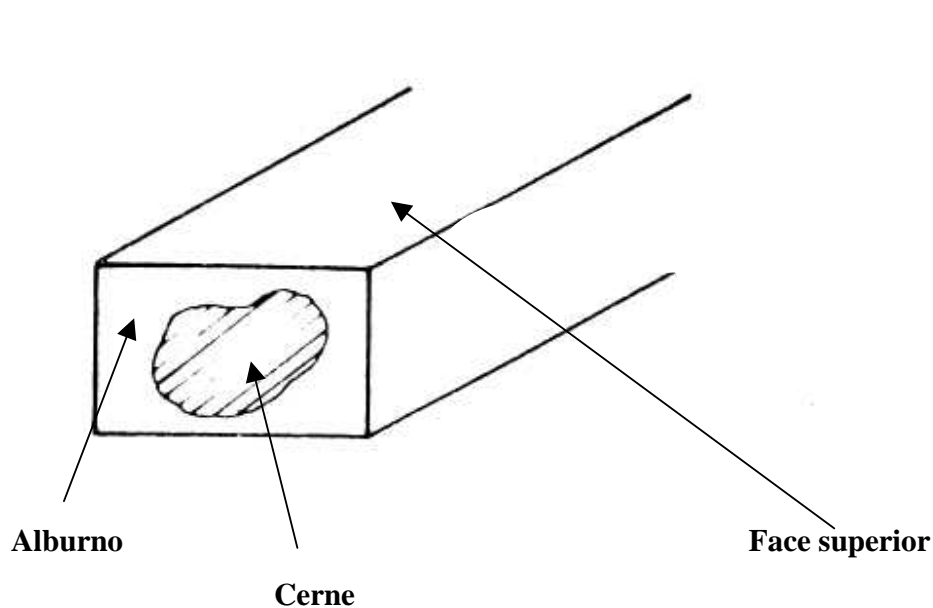


Figura 1 – Terminologia geral de madeira para dormentes

## 4.2 Defeitos nos dormentes

Segundo a NBR 6966 (ABNT, 1981) são os seguintes os principais defeitos nos dormentes:

- Fenda ou racha de topo (Figura 2): abertura no topo da madeira, normalmente perpendicular aos anéis de crescimento, atravessando-os;

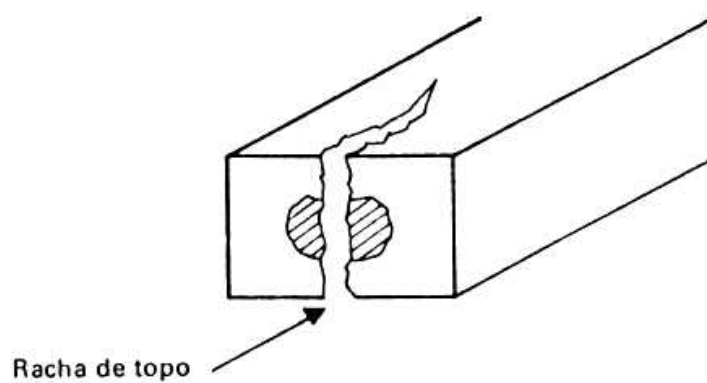


Figura 2 — Racha de topo

- Fenda ou racha longitudinal (Figura 3): abertura longitudinal e profunda, atravessando os anéis de crescimento, orientando-se da superfície para o centro de uma peça de madeira ou tora, sem atravessá-la;

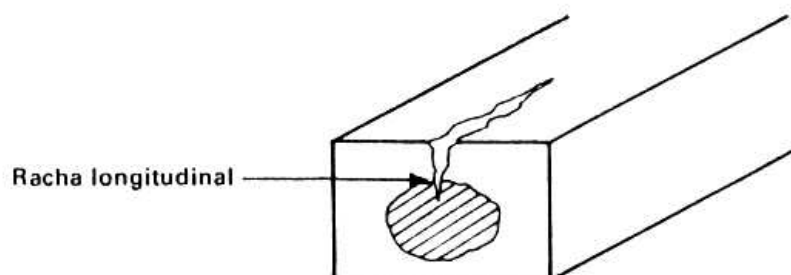


Figura 3 – Racha longitudinal

- Furo de broca (Figura 4): cavidade ou galeria produzida no lenho pela broca da madeira;

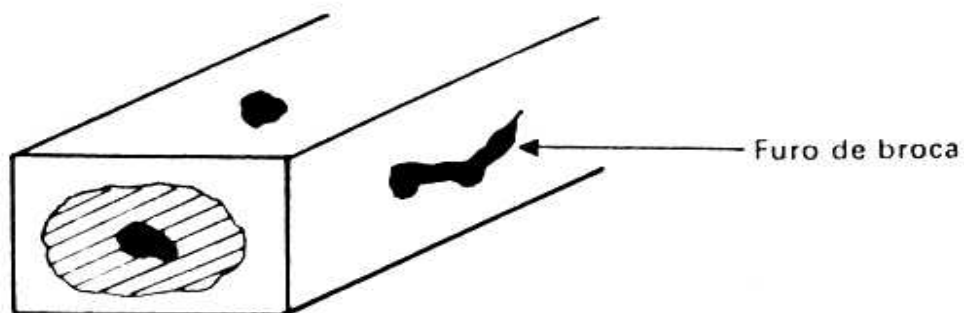


Figura 4 — Furo de broca

- Nó (Figura 5): parte do tecido lenhoso resultante do rastro deixado pelo desenvolvimento do ramo, cujas características e propriedades são diferentes da madeira circundante;

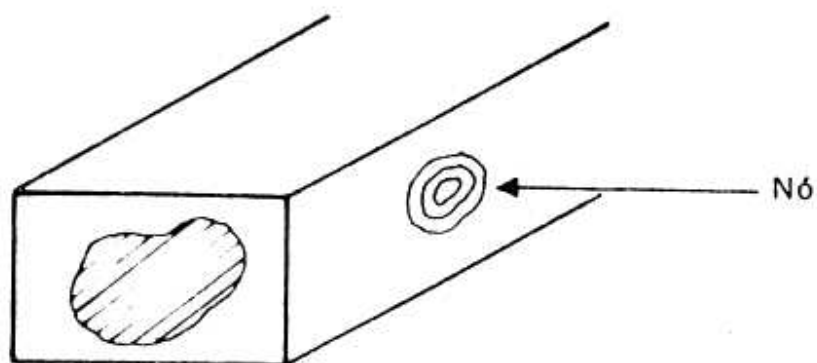


Figura 5 — Nó

- Nó cariado (Figura 6): aquele que está sendo decomposto por organismos xilófagos;

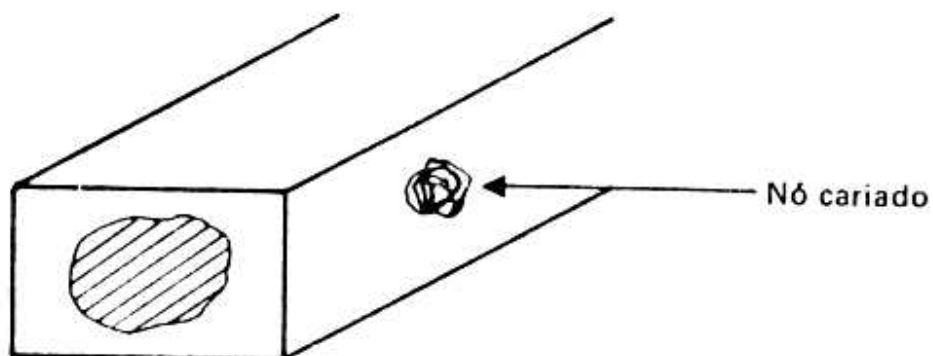


Figura 6 – Nó cariado

- Nó destacado (Figura 7): aquele que começa a se desprender do corpo da peça

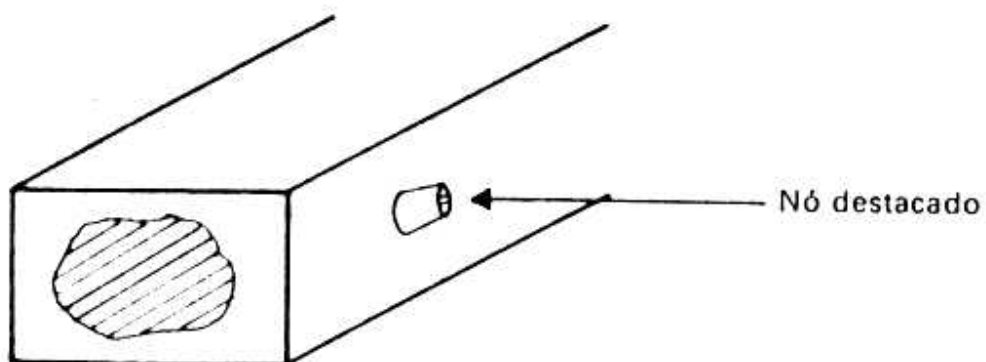


Figura 7 – Nó destacado

- Furo de topo (Figura 8): aquele em que a medula está apodrecida;

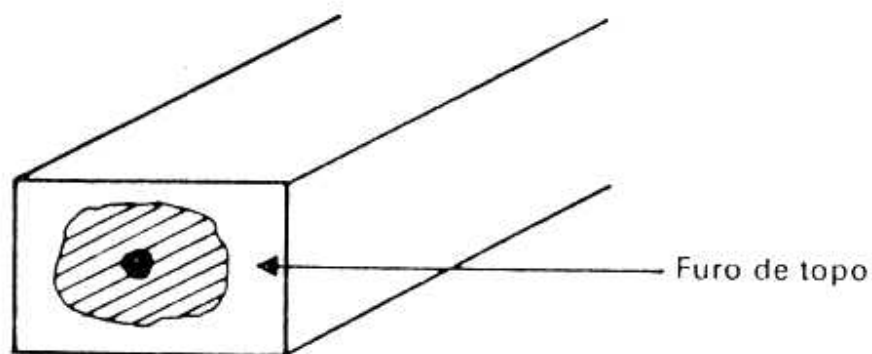


Figura 8 – Furo de topo

- Podridão (Figura 9): estado final de decomposição do tecido lenhoso pela ação de organismos xilófagos;

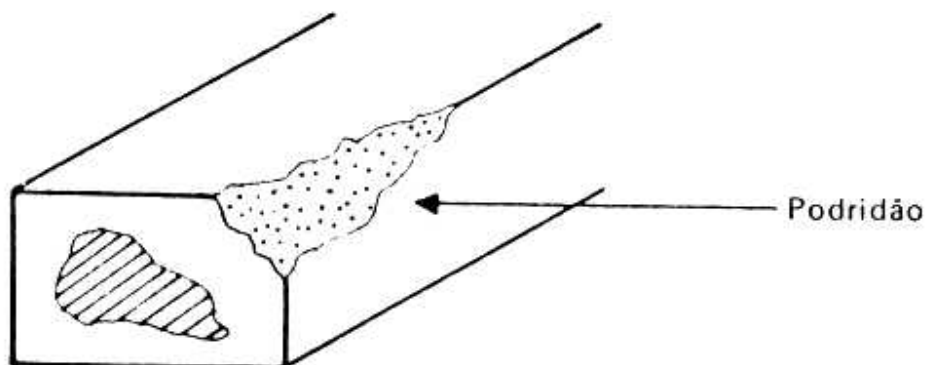


Figura 9 – Podridão

- Racha anelar (Figura 10): abertura na madeira que acompanha um anel de crescimento;

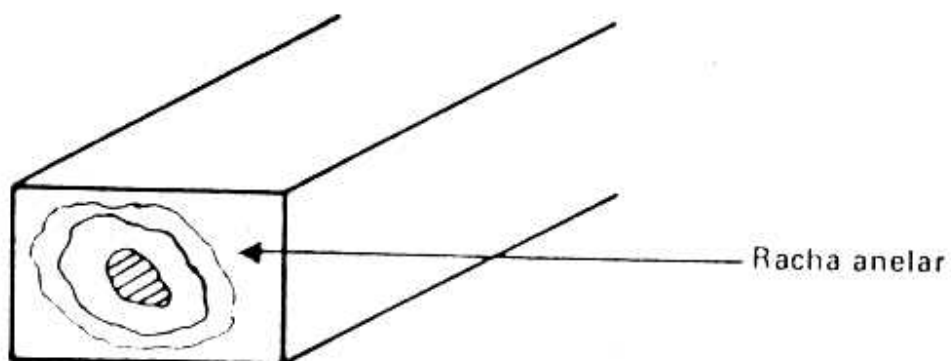


Figura 10 – Racha anelar

- Mancha (Figura 11): produzida pela degradação biológica dos galhos;

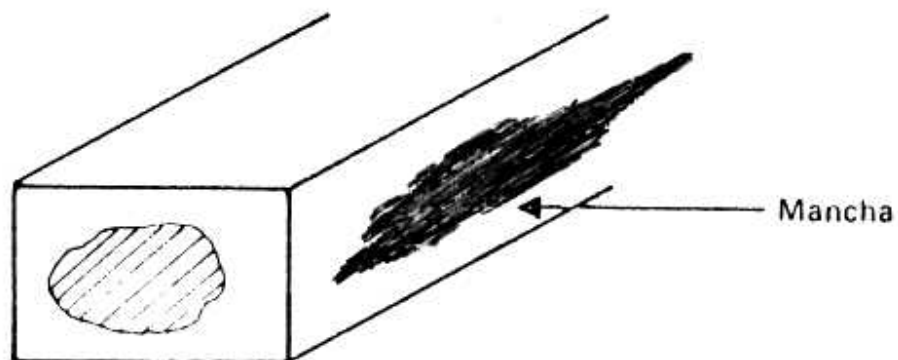


Figura 11 – Mancha

- Vento (Figura 12): trinca no topo da madeira que parte da medula em direção à periferia, sem alcançá-la.

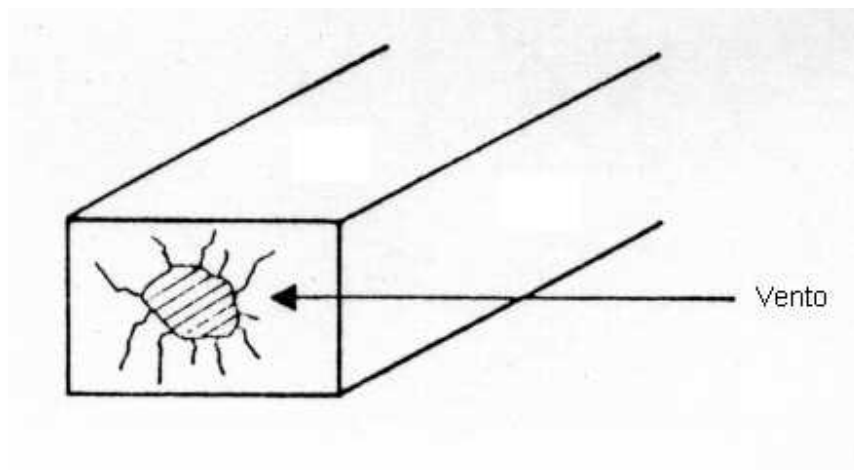
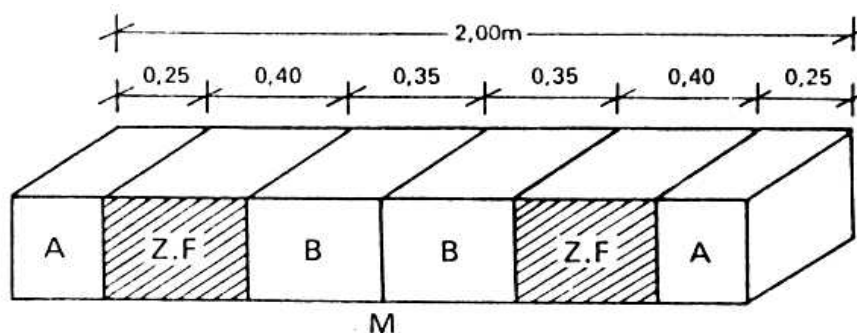


Figura 12 – Vento

- Zona de fixação (Figura 13): a região do dormente que se estende de 35 a 75 cm a partir de 35 cm do meio do dormente, para dormente de bitola estreita (ou métrica).



A e B = fora da zona de fixação.  
M = meio do dormente  
Z.F. = zona de fixação.

Figura 13 – Zona de fixação nos dormentes

Para dormentes de madeira, a forma prismática da seção transversal é adotada em todos os países, podendo eventualmente serem aceitos dormentes roliços e mistos (ou dormentes “duas faces”).

### 4.3 Documentos técnicos de empresas ferroviárias, formato e dimensões dos dormentes.

A RFFSA (1979), em seu documento técnico - EVA 15, classificou os dormentes prismáticos em reforçados, normais e de pátios ou desvios, sendo suas dimensões mínimas dadas conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Dimensões mínimas exigíveis para dormentes prismáticos de madeira - RFFSA

	DIMENSÕES	BITOLA	
		MÉTRICA (1,00 m)	LARGA (1,60 m)
<b>REFORÇADOS</b>	comprimento	2,05	2,85
	largura	0,22	0,24
	altura	0,16	0,18
<b>NORMAIS</b>	comprimento	1,95	2,75
	largura	0,20	0,22
	altura	0,15	0,16
<b>DE PÁTIO</b>	comprimento	1,80	2,75
	largura	0,18	0,20
	altura	0,14	0,15

Ainda, no mesmo documento técnico, a empresa classificou as madeiras para dormentes, em 3 classes, sendo:

**1ª classe:** madeiras de grande resistência físico - mecânica, podendo ser utilizadas, inclusive, nas linhas principais de tráfego pesado;

**2ª classe:** madeiras de resistência físico - mecânica mediana, passíveis de aproveitamento nos desvios e pátios das linhas de tráfego pesado e nas linhas principais de tráfego médio;

**3ª classe:** madeiras para utilização, de preferência, nas linhas de tráfego leve e muito leve.

Verifica-se que existe uma forte tendência no mercado no sentido de escolher apenas madeiras de 1ª classe.

O impasse maior para viabilizar essa idéia fica por conta do preço, já que as madeiras de boa qualidade utilizadas na fabricação do dormente podem ser aproveitadas para finalidades mais nobres e a escassez dessas espécies agrava ainda mais o problema.

Na Especificação Técnica VP/ET/009/99, a Ferroban (1999), estabeleceu regras para recebimento de dormentes com as dimensões mínimas exigidas, conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Dimensões mínimas exigíveis para dormentes prismáticos de madeira - Ferroban

DIMENSÕES (m)	BITOLA	
	MÉTRICA (1,00 m)	LARGA (1,60 m)
Comprimento	2,00	2,80
Largura	0,22	0,24
Altura	0,16	0,17

No mesmo documento, a Ferroban definiu como sendo um dormente de 1ª categoria aquele com até 10% do volume com a presença de alburno na face superior, desde que o mesmo esteja situado fora da zona de fixação. Acima de 10% e até 20% do volume, os dormentes deverão ser obrigatoriamente tratados em auto-clave, com produto preservante oleoso (creosoto) ou hidrossolúvel (CCA), dentro das especificações técnicas recomendadas.

Existem também dormentes com dimensões especiais, para emprego em pontes e aparelhos de mudança de via (AMVs), os quais obedecem às dimensões, descritas no Quadro 3.

Quadro 3- Especificações para dormentes especiais - Ferroban

Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)
de 2,00 a 5,40 (incrementos de 0,20m em 0,20m)	0,24	0,17

Ainda em seu documento VP/ET/009/99, a Ferroban (1999) definiu as características exigidas para o recebimento de dormentes *in natura*:

Madeira: a madeira deverá provir de árvores sãs, abatidas vivas. Quando provier de árvores abatidas há algum tempo o cerne deverá estar em perfeito estado de sanidade biológica.

Forma: os dormentes deverão se constituir na forma de paralelepípedos de bases retangulares, consideradas as seguintes condições:

Altura do dormente: é a aresta de menor dimensão do paralelepípedo de base retangular;

Largura do dormente: é a aresta de dimensões intermediária (nem maior, nem menor) do paralelepípedo de base retangular;

Comprimento do dormente: é a aresta de maior dimensão do paralelepípedo retangular;

Faces verticais: são aquelas que correspondem aos retângulos formados pelo comprimento e altura do dormente;

Faces horizontais: (superiores e inferiores) – são aquelas que correspondem aos retângulos formados pelo comprimento e largura dos dormentes.

Observações importantes:

- a) as faces dos dormentes deverão ser lavradas e/ou serradas;
- b) as faces verticais deverão cortar a face horizontal inferior, segundo um ângulo reto;
- c) a face horizontal inferior deverá apresentar largura constante e arestas vivas.

Características gerais:

O dormente de madeira, deverá apresentar as seguintes características:

- a) reto e são;
- b) seção retangular com quinas vivas;
- c) topo cortado em esquadro.

### Defeitos

Os dormentes deverão ser isentos de:

- a) fendas longitudinais;
- b) cascas;
- c) furos de broca de madeira;
- d) rachaduras nos topos;
- e) reentrâncias e saliências;
- f) nós ou outros defeitos que possam prejudicar sua função ou vida útil;
- g) alburno ou branco;
- h) rachas de topo.

Defeitos não tolerados - Os dormentes não deverão apresentar a presença de:

- a) de casca;
- b) de podridão;
- c) furo de brocas; saliências e reentrâncias, rachaduras e fendas longitudinais na zona de fixação, ou seja, em todas as faces da seção designada por zona de fixação;
- d) rachas anelares;
- e) rachas oblíquas na direção longitudinal do dormente;
- f) vento.

### Defeitos tolerados – tolerâncias admissíveis

- com relação às dimensões, deve-se obedecer às tolerâncias descritas no Quadro 4.

Quadro 4- Tolerâncias dimensionais para os dormentes - Ferroban

	<b>1.ª classe</b>	<b>2.ª classe</b>	<b>3.ª classe</b>
Comprimento	+/- 4 cm	+/- 5 cm	+/- 6 cm
Largura	+ 3 cm - 2 cm	+/- 3 cm	+ 3 cm - 4 cm
Altura	+/- 1cm	+/- 1 cm	+ 1cm - 2 cm

- Nós cariados ou perfurados e furos de broca  
Desde que se localizem fora da zona de fixação e o diâmetro dos orifícios seja menor do que 2,5 cm e/ou profundidade menor do que 5 cm.
- Fendas longitudinais  
Quando fora da zona de fixação e com profundidade menor do que 2 cm.
- Fendas de topo  
Desde que as mesmas se encontrem no terço central do topo e tenham menos de 20 cm de comprimento e/ou 0,5 cm de abertura.
- Esmoados (desquinados ou arestas mortas – Figura 14)  
Quando se encontrarem na face superior do dormente e ficarem asseguradas as dimensões de largura e altura.

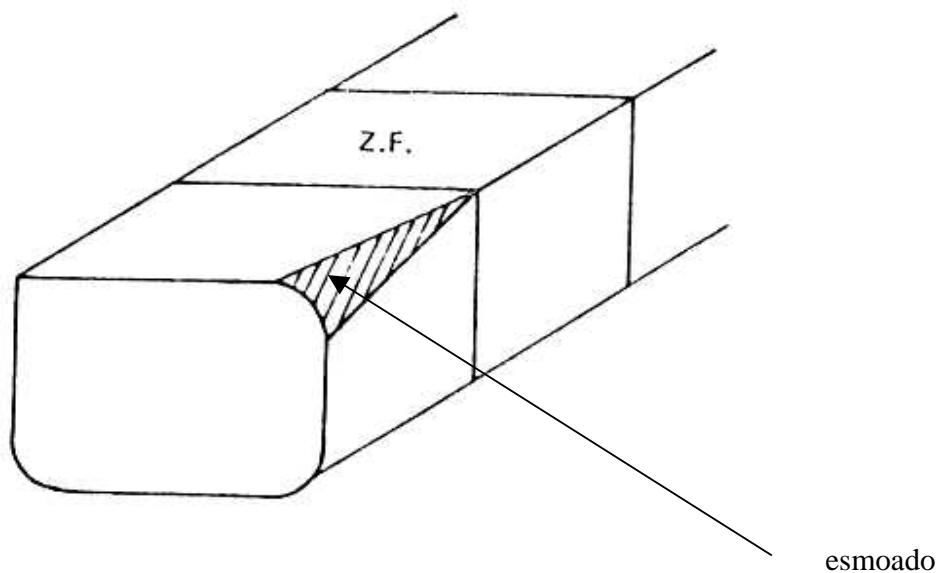


Figura 14 – Defeitos tolerados - Ferroban- esmoado

- Diferença de altura  
Entre dois pontos quaisquer das faces horizontais menor ou igual a 2 cm.
- Comprimento  
Variação de +/- 5 cm.
- Largura  
Variação de + 4cm a – 2 cm.
- Altura  
Variação de + 2,5 cm a – 1 cm.
- Curvatura no plano horizontal  
Flecha máxima de 2 cm.
- Curvatura no plano vertical  
Flecha máxima de 1 cm.
- Seção transversal  
Inclinação em uma das arestas da seção transversal desde que, no caso de inclinação de um dos planos verticais, a largura da base menor não seja inferior à tolerada para a variação da largura, e no caso de inclinação de um dos planos horizontais, a menor altura não seja inferior à tolerada para a variação da altura.

#### **4.4 A madeira do gênero “*Eucalyptus*” na dormentação**

Ballarin (1996) citou, a exemplo de outros autores que a madeira do gênero *Eucalyptus* é, dentre aquelas provenientes do reflorestamento, a mais indicada para uso na produção de dormentes para ferrovias. De fato, neste sentido, várias são as constatações científicas e práticas encontradas nas ferrovias.

Segundo Niederauer (1982), na Austrália, algumas variedades do gênero botânico *Eucalyptus* como, por exemplo, *E. marginata* e *E. diversicolor*, são consideradas inigualáveis para uso na dormentação, por conta de sua vida útil comprovada se situar em torno de 30 anos, sem necessitarem de nenhum tratamento preservativo.

As experiências nacionais com o uso de eucalipto iniciaram-se no final do século passado.

Hellmeister (1978) afirmou que o Eucalipto citriodora (*E. citriodora*), originário da Austrália, foi introduzido no Brasil por volta de 1850. A partir de 1903, essa espécie tem sido largamente cultivada em áreas de florestamento e reflorestamento, devido ao fato de possuir excelentes características físicas, mecânicas e crescimento muito rápido, mesmo em solos considerados pobres para a agricultura convencional.

Segundo Andrade (1961), a antiga Companhia Paulista de Estradas de Ferro, ao estabelecer seu horto, em Jundiaí, procurou adquirir alguns dormentes de Eucalipto para experiências iniciais. Esses dormentes, extraídos de uma árvore de eucalipto globulus (*E. globulus*) com 17 anos de idade, apesar de terem sido empregados imediatamente após o corte (condição não indicada) foram assentados em julho de 1906 e duraram 9 anos e 5 meses. Em experiência posterior, com 654 dormentes de eucaliptos de espécies diversas, o autor observou duração média de mais de seis anos — índice semelhante ao do faveiro e peroba, comumente empregados — apesar de quase todos os dormentes de eucalipto serem da espécie eucalipto robusta (*E. robusta*), segundo o autor espécie descartada para este fim.

Os primeiros dormentes de eucalipto utilizados no Brasil em larga escala, segundo Niederauer(1982), foram empregados na construção da estrada de ferro Madeira - Mamoré, em 1907.

Ainda segundo o mesmo autor, a antiga Fepasa vem empregando dormentes prismáticos de eucalipto em suas linhas desde 1969. Somente a Companhia Mogiana de Estradas de Ferro, uma das ferrovias integrantes da Fepasa, tinha assentado na via permanente até 1971, cerca de 700.000 dormentes prismáticos de eucalipto.

Desta forma, utilizada com diferentes formatos, a madeira de eucalipto pode ser a solução para o problema ferroviário de abastecimento de dormentes para as vias permanentes.

Andrade (1961) comentou que um grave defeito apresentado pelos dormentes de eucalipto, no geral, é a alta tendência ao fendilhamento de topo, quer seja quando lavrados ou serrados (alívio das tensões de crescimento), quer seja durante os primeiros meses de seu emprego (consequência da manifestação dos diferentes índices de retração nas direções radial e tangencial, durante o processo de secagem).

Analisando o problema em suas especificidades, nota-se que seus inconvenientes podem ser minimizados, através da utilização de técnicas adequadas para:

- a) corte da madeira;
- b) secagem da madeira;
- c) restrição da evolução do fenômeno do fendilhamento;
- d) seleção de espécies menos susceptíveis ao fendilhamento;
- e) tratamento com preservativos adequados.

Com relação às técnicas de secagem da árvore, Niederauer (1982) comentou que o anelamento da árvore em pé é empregado com sucesso, especialmente para as espécies que apresentam maior tendência de ocorrência do fenômeno do fendilhamento.

Niederauer (1982) descreveu, ainda, alguns outros procedimentos que diminuiriam a tendência de fendilhamento, ao propiciar condições mais favoráveis para a perda d'água lenta e gradual da árvore. São eles:

- a) escolha da época ideal de abate (entre os meses de maio a agosto, quando há menor atividade vital da planta, no caso do Brasil);
- b) secagem da árvore derrubada com casca, em lugar sombreado, na própria mata, até o desprendimento natural da casca, o qual demora de 6 a 10 meses, de acordo com a espécie de eucalipto.
- c) retardamento da operação de secagem, com aplicação de uma solução aquosa de asfalto (Hidro-asfalto-Aquasfalt) ou produto de efeito similar (cera Mobilcer Jimoponta) nos topos das toras, imediatamente após o corte.

Compartilhando a idéia de que a perda lenta e gradual de água das toras já cortadas minimiza a tendência de fendilhamento, Aguiar & Jankowsky (1986) realizaram experimento analisando o efeito do armazenamento das toras imersas e toras com aspersão de solução nos topos.

A tendência de fendilhamento dos exemplares com esses tratamentos foi significativamente menor do que aquela observada em exemplares sem o tratamento. Os resultados obtidos foram tanto melhores, quanto maior foi o tempo de armazenamento, sugerindo, assim, diminuição significativa das tensões internas de crescimento com o aumento do tempo de armazenamento sob imersão total.

Com relação às técnicas finais de secagem ao ar livre dos dormentes de eucalipto já serrados, Tuset & Taibo (1987), no estudo desenvolvido com madeira obtida das espécies *E. globulus*, *E. camaldulensis* e *E. umbellata*, indicaram a forma de empilhamento cruzado (em camadas alternadas, formando 90° umas com as outras), como sendo a técnica mais prática e objetiva a ser implantada.

Aguiar & Jankowsky (1986) relataram ainda alguns dispositivos que restringem a evolução do fenômeno do fendilhamento. Segundo os autores, esses dispositivos, normalmente conectores anti-rachadura tipo Gang-Nail e ganchos em forma de "S" ou "C", não reduzem as tensões internas de crescimento. Contudo, conservam as faces dos topos intactas até a secagem controlada ou outro tipo de reação que permita o equilíbrio dessas tensões de crescimento.

Ballarin(1996) citou que Niederauer (1982) sugeriu as espécies *E. citriodora*, *E. maculata*, *E. paniculata* e *E. siderophloia*, como sendo aquelas com baixa tendência de ocorrência do fenômeno. Com leve e moderada tendência ao fendilhamento o autor cita *E. tereticornis*, *E. rostrata* e *E. botryoides*. As espécies *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. grandis* não são adequadas, por apresentarem elevada tendência ao fendilhamento.

Niederauer (1982) afirmou que dentre as propriedades da madeira, a densidade e a dureza ( $f_H$ ) são propriedades muito importantes no caso dos dormentes, uma vez que estão relacionadas ao grau de contextura das fibras. Os dormentes, solicitados por cargas elevadas pelos patins dos trilhos, estão sujeitos a desgaste nas zonas de entalhe e fixação. Além disso, estão em permanente contato com elementos metálicos, por um lado, e pedras do lastro, por outro.

O mesmo autor fez ainda importantes comparações entre valores médios de algumas propriedades mecânicas dos eucaliptos (notadamente *E. citriodora*, *E. paniculata*, *E. maculata* e *E. siderophloia*), com madeiras de lei e "madeiras brancas" ambas usadas pela RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A.

Enfocando propriedades mecânicas importantes, como a densidade, dureza Janka,  $f_{\text{arranc}}$  - resistência ao arrancamento da pregação e módulo de resistência à flexão, a situação mostra-se bastante favorável ao eucalipto em relação a outros grupos de madeiras utilizados na confecção de dormentes.

Segundo Niederauer (1982), relativamente à  $f_{\text{arranc}}$  - resistência ao arrancamento da pregação, no caso de grampos comuns, algumas espécies de eucalipto apresentam índices superiores ao do angico-vermelho (3420 daN), como por exemplo, *E. paniculata* (3710 daN), *E. siderophloia* (3620 daN) e *E. citriodora* (3450 daN).

O Quadro 5 apresenta as propriedades físicas e mecânicas de algumas espécies de eucalipto determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo. Esses valores foram adotados pela NBR 7190/1997.



## 4.5 Itens estudados no projeto de revisão da NBR 7511/1982

### 4.5.1 Especificação de madeira de reflorestamento

Trabalhos científicos nacionais e internacionais foram unânimes na recomendação da madeira do gênero eucalipto, dentre as provenientes do reflorestamento, como sendo a mais indicada na produção de dormentes.

De fato, Niederauer (1982) apresentou análise comparativa que evidencia a proximidade de desempenho físico e mecânico entre madeiras de algumas espécies de eucalipto, e madeiras de lei e madeiras brancas já consagradas por um prolongado uso como dormente (Quadro 6).

Quadro 6 - Valores médios de algumas propriedades de grupamentos de madeira.

MADEIRA	Densidade	Dureza	Arranc.	Flexão
	(g/cm <sup>3</sup> )	Janka (MPa)	Frontal (kN)	estática (MPa)
gênero <i>Eucalyptus</i> <sup>1</sup>	0,88	87,1	29,8	155
Madeiras de lei <sup>2</sup>	0,84	77,1	32,6	120
Madeiras brancas <sup>3</sup>	0,73	58,1	26,5	107

Fonte: Niederauer (1982)

### 4.5.2 Classificação da madeira para dormentação

Nos documentos técnicos das empresas ferroviárias a madeira é normalmente classificada em função de algumas de suas propriedades físicas e mecânicas, que intervém diretamente no seu desempenho como dormente.

As propriedades físico - mecânicas e seus respectivos valores mínimos preliminarmente sugeridos pelo projeto de revisão são apresentados no Quadro 7.

<sup>1</sup> Consideração exclusiva das espécies mais indicadas para uso como dormentes, segundo Niederauer (1982).

<sup>2</sup> Angico-vermelho, grábia, canafístula, canela-de-veado, peroba-rosa, canela-imbuia

<sup>3</sup> Açucará, açoita, canela-amarela, canela-lageana, canela-loura, cangerana, camboatá, guatambú, guajuvira, marmeleiro-do-mato, maria-preta, pessegueiro-bravo, pequiá, rabo-de-bugio, sapopema.

Quadro 7 – Classificação da madeira em função dos valores mínimos de desempenho

Propriedade	Símbolo	Unidade	<i>Valores Mínimos</i>	
			madeira de 1ª classe	Madeira de 2ª classe
Densidade	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	0,75	0,60
dureza Janka	$f_H$	MPa	50	40
Resistência ao cisalhamento	$f_{v,0}$	MPa	10	8
Resistência à tração normal	$f_{t,90}$	MPa	7,5	5
Resistência ao fendilhamento	$f_{s,0}$	MPa	0,9	0,7
índice de coesão	$I_c$	-	0,3	0,2
$f_H + f_{v,0} + f_{t,90} + f_{s,0}$	-	-	85	65

Fonte: Ferroban

### 4.5.3 Especificação de ensaios para homologação

Às situações de análise complexa, como por exemplo, a viabilização de dormentes de madeiras pouco conhecidas ou com desempenho físico - mecânico ainda não completamente diagnosticado, caberia a indicação de ensaios laboratoriais de homologação.

A indicação da realização de ensaios seria ainda pertinente nos casos em que a madeira disponível não tenha sido identificada botanicamente, como é o caso das múltiplas espécies de eucalipto. Os ensaios dariam uma prova definitiva da possível adequação da espécie para esse uso.

Os ensaios laboratoriais de homologação teriam ainda o importante papel de possibilitar a indicação de dormentes de madeira nas situações em que o processo de concorrência se dê com a especificação de desempenho mínimo dos dormentes em função de condições de carregamento, tráfego e manutenção da via pré-estabelecidas. Para esses casos, até o presente momento, as indicações recaem sobre os dormentes de concreto ou aço. O desempenho mínimo requerido poderá ser atestado pela realização do ensaio laboratorial.

Nesse sentido, o estudo desenvolvido por Ballarin (1999) objetivou fixar as bases gerais da metodologia de ensaio a ser adotada.

#### 4.5.4 Índices de desempenho

Na especificação de propriedades físicas, de resistência e durabilidade para os dormentes, o código normativo não é objetivo, e tampouco provê parâmetros gerais para um projeto racional desses elementos estruturais.

Deste modo, a opção por determinada espécie de madeira fica baseada quase que exclusivamente na experiência prática das companhias ferroviárias. Além disso, os documentos técnicos destas companhias são conflitantes.

A associação de índices de desempenho, baseados nas características físico – mecânicas, às espécies de madeira, permitiria a elaboração de uma lista de classificação, em ordem decrescente de desempenho.

O índice mais utilizado pelas companhias ferroviárias é o "índice de coesão" ( $I_1$ ), expresso por:

$$I_1 = \frac{f_{t,90} \cdot \varepsilon_{r,r}}{\rho \cdot \varepsilon_{r,t} \cdot \varepsilon_{r,v}}, \text{ onde:} \quad (1)$$

$f_{t,90}$  - resistência da madeira à tração normal às fibras, em  $\text{kgf/cm}^2$ ;

$\varepsilon_{r,r}$  - deformação específica por contração total da madeira, na direção radial, em porcentagem;

$\varepsilon_{r,t}$  - deformação específica por contração total da madeira, na direção tangencial, em porcentagem;

$\varepsilon_{r,v}$  - contração volumétrica total da madeira, em porcentagem;

$\rho$  - densidade aparente da madeira, em  $\text{g/cm}^3$ .

Considerando-se que a resistência à tração normal às fibras ( $f_{t,90}$ ) não é uma propriedade que se tem determinada para todas as madeiras e que, com a aprovação do novo código de estruturas de madeira (ABNT, 1997) a metodologia para a determinação desta propriedade foi alterada, existem outros índices alternativos, propostos por Ballarin et al. (1998) nos quais essa propriedade não é considerada. São eles:

$$I_2 = \frac{(f_{c,0} + \rho) \cdot \varepsilon_{r,r}}{\varepsilon_{r,t} \cdot \varepsilon_{r,v}} \quad e \quad (2)$$

$$I_3 = \frac{(f_{c,0} + \rho)}{\varepsilon_{r,v}} \quad , \text{ onde:} \quad (3)$$

$\rho$  - densidade da madeira, em kg/m<sup>3</sup>, e

$f_{c,0}$  - resistência da madeira à compressão paralela às fibras, em MPa.

O Quadro 8, extraído de Ballarin et al. (1998), apresenta a classificação obtida de algumas espécies de madeira, considerando os três índices apresentados.

Quadro 8 - Classificação de algumas espécies de madeiras para uso como dormentes, segundo seus Índices de desempenho

Nº	Nome Comercial	Nome científico	Classif. Obtida		
			I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
1	Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	16	16	4
2	Ipê	<i>Tabebuia ochracea</i>	6	6	5
3	Aroeira-do-sertão	<i>Astronium urundeuva</i>	59	62	8
4	Pau roxo	<i>Peltogyne confertiflora</i>	70	34	12
5	Piquiá	<i>Caryocar villosum</i>	78	79	244
6	Angico vermelho	<i>Piptadenia rigida</i>	123	127	163
7	Peroba rosa	<i>Aspidosperma polyneurom</i>	64	66	66
8	Eucalipto paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	228	231	151
9	Eucalipto citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	58	61	84
10	Eucalipto tereticornis	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	215	219	175

Os números indicam a posição obtida em um total de 265 espécies e, por esse critério, o Eucalipto citriodora alcança uma classificação intermediária, podendo ser

utilizado como “espécie alternativa”, da mesma forma como o Angico vermelho e a Peroba rosa.

Por fim, no projeto de revisão da NBR 7511, dentre os tópicos a serem acrescidos ou complementados no novo texto destacam-se:

- a) a classificação da via permanente, contemplando todos os casos extremamente variáveis das ferrovias brasileiras e suas exigências diferenciadas;
- b) a especificação de madeira de reflorestamento para dormentação de vias, consolidando experiências de sucesso já realizadas;
- c) a classificação da madeira para dormentação, com base em parâmetros físico - mecânicos de desempenho;
- d) a possibilidade de serem aceitas pequenas alterações nas dimensões básicas dos dormentes;
- e) a inclusão de disposições construtivas detalhadas, que incluam desde os cuidados na seleção das espécies até a necessidade de tratamento preservativo;
- f) a especificação de ensaios laboratoriais de homologação dos dormentes.

#### **4.6 A dureza Janka e as outras propriedades mecânicas**

A dureza Janka, embora seja propriedade mecânica sem aplicação imediata ou direta dos seus resultados, subsiste como propriedade de real importância na caracterização mecânica de madeiras por ser importante parâmetro de comparação entre espécies.

Por ser a dureza uma propriedade fortemente correlacionada com a compressão normal às fibras, há estudos - IBAMA (1993) - que sugerem que apenas esta correlação seja explorada. Assim, por essa proposta, seria sistematicamente evitada a realização dos ensaios de compressão normal às fibras — ensaios mais trabalhosos — estimando-se os valores de resistência da madeira nessa solicitação através dos resultados de ensaios de dureza.

Ensaio realizados pelo IBAMA (1993), estudando madeiras da região do Tapajós (PA) e da Estação Experimental do Curuá-Una, num total de 68 espécies, apresentaram correlações entre a compressão normal às fibras e as durezas normal e paralela às fibras nas condições de madeira verde e seca ( $U=12\%$ ). Os valores de compressão normal às fibras são referenciados pelos autores como “esforço no limite proporcional” sem, contudo, apresentar maiores explicações sobre o cálculo desse parâmetro.

As Figuras 15 e 16 ilustram as correlações obtidas pelos autores para a condição de madeira seca ( $U=12\%$ ).

Evidenciou-se, nesses dois casos, coeficientes de determinação das regressões ( $R^2$ ) de 0,865 quando do uso da dureza normal às fibras, e 0,744, quando do uso da dureza paralela às fibras.

Avaliações análogas, encaminhadas na situação de madeira verde, levaram a coeficientes de determinação das regressões de 0,805 e 0,734, para os casos de dureza normal e paralela às fibras, respectivamente.

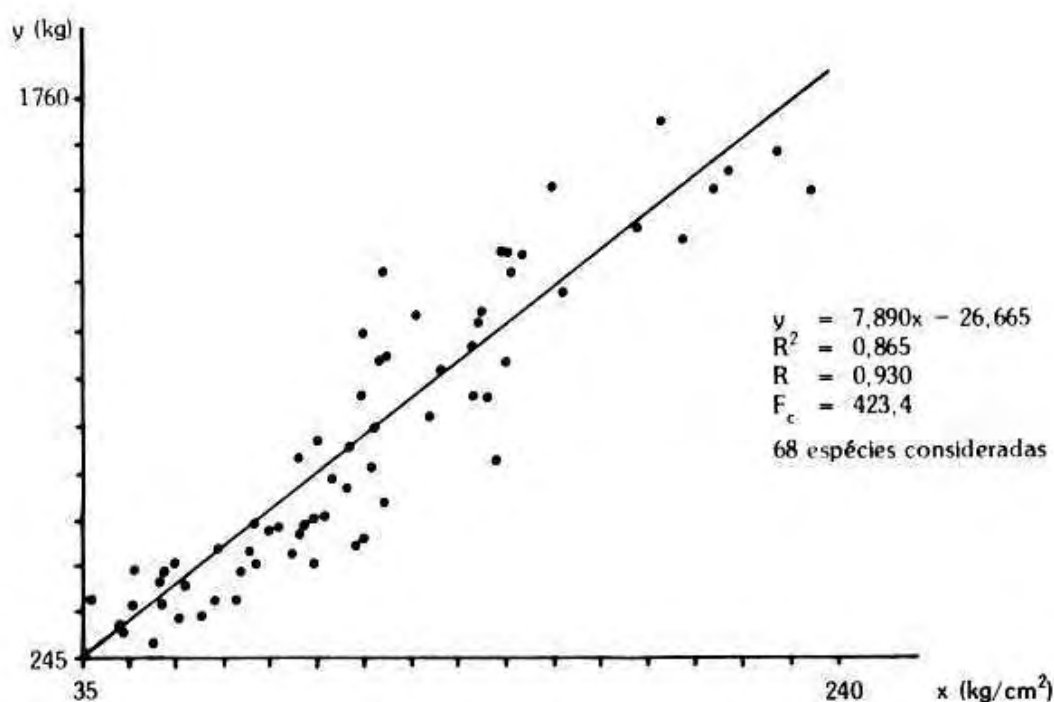


Figura 15 - Relação linear entre a dureza normal às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca. Fonte: IBAMA (1993).

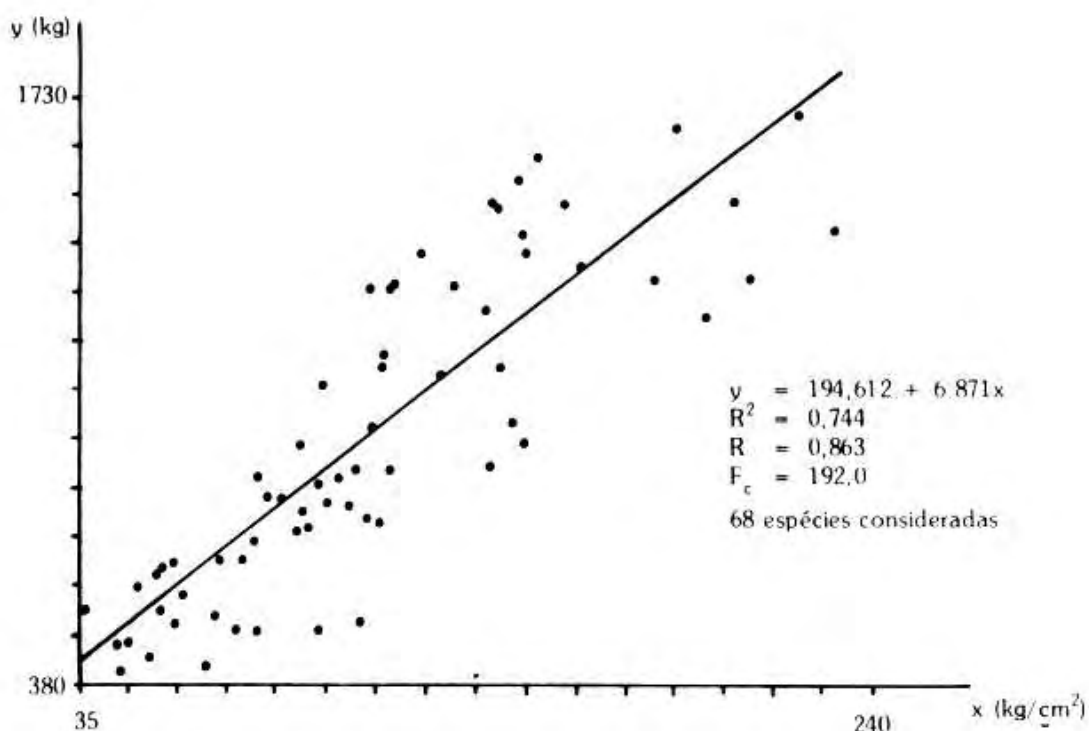


Figura 16 - Relação linear entre a dureza paralela às fibras (eixo das ordenadas) e o esforço no limite proporcional na compressão normal às fibras (eixo das abscissas), na condição seca. Fonte: IBAMA (1993).

No trabalho referido, os autores empregaram fórmula de correção da resistência para a umidade de referência sugerida pelo FPL – Forest Products Laboratory, dos Estados Unidos.

Nesse particular, o código normativo brasileiro e Logsdon (1998), num estudo da influência da umidade nas propriedades mecânicas da madeira, sugeriram o uso da seguinte expressão de correção para os valores de referência a 12% de umidade:

$$f_{12} = f_{U\%} \left[ 1 + \frac{\alpha(U\% - 12)}{100} \right] \quad , \text{ onde:} \quad (4)$$

$f_{12}$  = resistência, à determinada solicitação, a um teor de umidade de 12%;

$f_{u\%}$  = resistência, à determinada solicitação, a um teor de umidade de U %;

$U\%$  = teor de umidade da madeira, em %,

$\alpha$  = coeficiente de correção.

A norma ABNT 7190 (1997) estabeleceu que o valor do coeficiente de correção  $\alpha$  deve ser igual a 3, e Logsdon (1998) utilizou os valores constantes no Quadro 9, com coeficientes diferentes para cada propriedade de resistência ou rigidez da madeira.

Quadro 9 – Valores do coeficiente de correção  $\alpha$  - Equação (4)

<b>Propriedades de Resistência ou rigidez</b>	<b>Coeficiente de correção, <math>\alpha</math></b>
Resistência à compressão paralela às fibras, $f_{c0}$	3,5
Resistência à tração paralela às fibras, $f_{t0}$	2,0
Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, $f_{v0}$	2,5
Módulo de elasticidade longitudinal, $E_{c0}$	2,5

**Fonte:** Logsdon (1998)

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Análise sistemática dos documentos técnicos das empresas**

Foram analisados sistematicamente os documentos e especificações técnicas das empresas ferroviárias, com a finalidade de avaliar os procedimentos para especificação de dormentes de madeira.

Às espécies habilitadas pelos documentos técnicos de duas empresas ferroviárias pré-selecionadas, foram aplicados os índices de desempenho propostos por Ballarin et al(1998)- equações 1 a 3, computando-se as propriedades pelos valores médios propostos pelas fichas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), não publicadas .

As classificações obtidas pelas espécies de madeira por meio da aplicação desses índices foram comparadas entre si e com aquelas de espécie de reflorestamento.

### **5.2 Material**

Para os ensaios laboratoriais foram amostrados 48 dormentes da empresa ferroviária Ferrobán – Ferrovias Bandeirantes S/A, com sede administrativa na cidade de Campinas - SP, empresa representativa na malha ferroviária do Estado de São Paulo.

Em razão da diversidade de espécies normalmente empregadas, para os ensaios físico-mecânicos foram selecionadas aquelas de maior utilização na empresa ferroviária (Figura 17), sendo então previamente divididas em dois grupos – madeiras nativas e madeiras de reflorestamento (Eucaliptos), tomando-se 24 dormentes para cada grupo. Foram estudadas todas as propriedades físicas e mecânicas que incidem nos índices de desempenho apresentados - Equações (1), (2) e (3).



Figura 17 - Dormentes de madeira nativa, estocados no pátio de manobras na cidade de Botucatu – SP.

## 5.3 MÉTODOS

### 5.3.1 Ensaio em dormentes

Numa primeira etapa do trabalho laboratorial, foram conduzidas análises em dormentes íntegros.

#### 5.3.1.1 Análise visual e características geométricas dos dormentes

Conforme descrito anteriormente, dos 48 dormentes, 24 peças eram de espécies nativa e 24 peças de reflorestamento. Estabeleceu-se, também, que dos 24 dormentes de madeiras nativas, 12 seriam amostrados ao acaso e 12 de forma condicionada, selecionando, neste último caso, aqueles que apresentassem defeitos aparentes mais significativos. Todos os dormentes foram inspecionados visualmente, tendo sido anotadas as ocorrências, como trincas, nós, esmoados, vazios, fissuras. Os dormentes obtidos de amostragem acidental simples foram codificados como  $S_1$  a  $S_{12}$  e os amostrados com defeito visível como condicionante receberam a codificação  $D_1$  a  $D_{12}$ . Os dormentes de *Eucalyptus* sp. foram codificados com  $E_1$  a  $E_{24}$ .

Foram feitas medições de comprimento, largura e altura dos dormentes.

#### 5.3.1.2 Identificação das madeiras

De cada um dos 48 dormentes, foram retiradas amostras para identificação botânica do lenho. As análises foram conduzidas paralelamente no Laboratório de Anatomia - Departamento de Recursos Naturais – FCA/UNESP – Campus de Botucatu, e no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras/APBM/DPF, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A – IPT. O método utilizado pelo IPT foi o

procedimento DPF-LAIM-PE-01 – “Identificação botânica de madeiras”, com a identificação botânica obtida pelo processo macroscópico de exame de anatomia do lenho.

### 5.3.1.3 Umidade a campo

Foram realizadas medições de umidade dos dormentes a campo, com o objetivo de verificar a real situação de operação desses elementos estruturais. As medições foram realizadas na Ferrobán – Ferrovias Bandeirantes S/A, no km 268 – pátio de manobras de Botucatu - SP, em 11 dormentes já instalados na via. O aparelho utilizado foi um medidor resistivo Delmhorst RDM-2, com 4 repetições de leituras realizadas sempre às 14:00h (Figura 18).



Figura 18 – Medição de umidade a campo

#### 5.3.1.4 Dureza nos dormentes

Foram realizados ensaios de dureza em dormentes íntegros com o objetivo de verificar a distribuição dos valores dessa propriedade em uma das faces do dormente. Esses ensaios foram conduzidos no Laboratório de Ensaios de Materiais-FCA/UNESP, fazendo-se uso da máquina universal de ensaios servo-controlada EMIC DL-10.000, obedecendo, no geral, às prescrições da NBR 7190 (ABNT, 1997). A dureza normal às fibras ( $f_{H90}$ ), foi avaliada em pontos previamente definidos. Os resultados obtidos foram plotados com o uso do software Surfer™, fazendo-se uso de “diagramas de superfície”.

#### 5.3.2 Ensaios em corpos-de-prova

Na serraria da Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus da FCA- UNESP – Botucatu, os dormentes foram desdobrados, reduzindo-se, seus comprimentos à metade, para a produção de corpos-de-prova, utilizando-se somente uma das metades obtidas de cada um deles (Figuras 19 e 20).

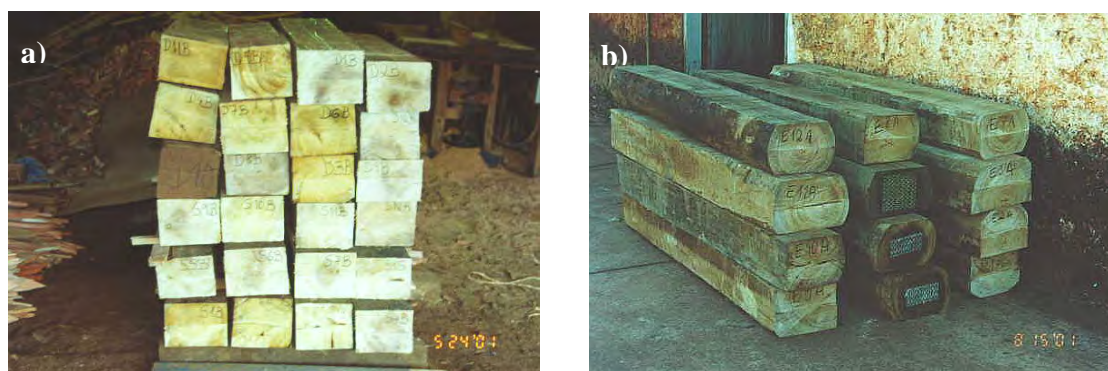


Figura 19 – Dormentes de madeira nativa (a) e dormentes de madeira reflorestada (b), desdobrados para a retirada dos corpos-de-prova.



Figura 20 – Retirada dos corpos-de-prova — em processamento (a) e processados (b).

Para os ensaios de dureza (normal e paralela) utilizou-se corpo-de-prova de 5cm x 5cm x 20cm. Após a realização desses dois ensaios, nos 5cm de uma das extremidades do corpo-de-prova, o mesmo era novamente processado mecanicamente, eliminando-se a parte já ensaiada (5cm), ensaiando-o a seguir, à compressão paralela às fibras. Foram utilizados 3 corpos-de-prova para cada dormente. Os procedimentos gerais para os três ensaios seguiram as prescrições da NBR 7190 (ABNT,1997).

Adicionalmente, foram ainda produzidos 3 corpos-de-prova para cada um dos ensaios de compressão normal às fibras, tração normal às fibras, e 6 corpos-de-prova para densidade e estabilidade dimensional (retratibilidades totais nas direções radial, tangencial e longitudinal). Todos os condicionantes desses ensaios — dimensões dos corpos-de-prova, velocidades de carregamento e processamento dos resultados — foram definidos de acordo com a NBR 7190 (ABNT,1997).

Os corpos-de-prova utilizados na avaliação da estabilidade dimensional seguiram o processo de saturação definido pelo código normativo brasileiro; os demais corpos-de-prova foram armazenados na câmara climatizada do Laboratório de Ensaio de Materiais- FCA/UNESP, para que se evitasse variações bruscas de umidade. Contudo, foram ensaiados com umidades variáveis, de 12% a 25%, na maioria dos casos, tentando-se, assim, reproduzir a condição de emprego dos dormentes, que havia sido previamente constatada em campo.

A avaliação sistemática de umidade de ensaio dos corpos-de-prova foi feita através de medição das massas úmida e seca com balança digital marca Gehaka, modelo BG 1000, com precisão de 0,01g e capacidade de 1000g. A secagem a 0% de umidade foi realizada em estufa Fanem modelo 515 C (Figura 21).

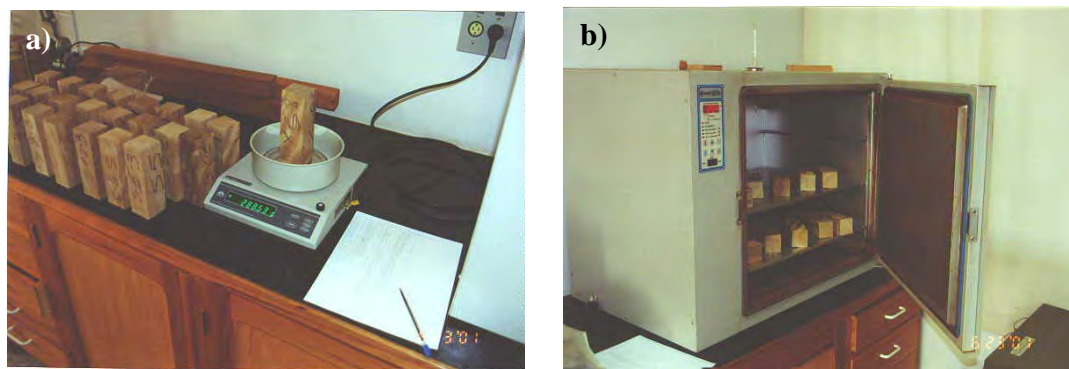


Figura 21 – Balança (a) e estufa para secagem (b).

A determinação da massa seca, para obter a umidade dos corpos-de-prova após os ensaios, foi realizada de acordo com as orientações da NBR 7190 (ABNT 1997), no tocante às temperaturas e variações máximas de massa entre pesagens sucessivas. (Figura 22).

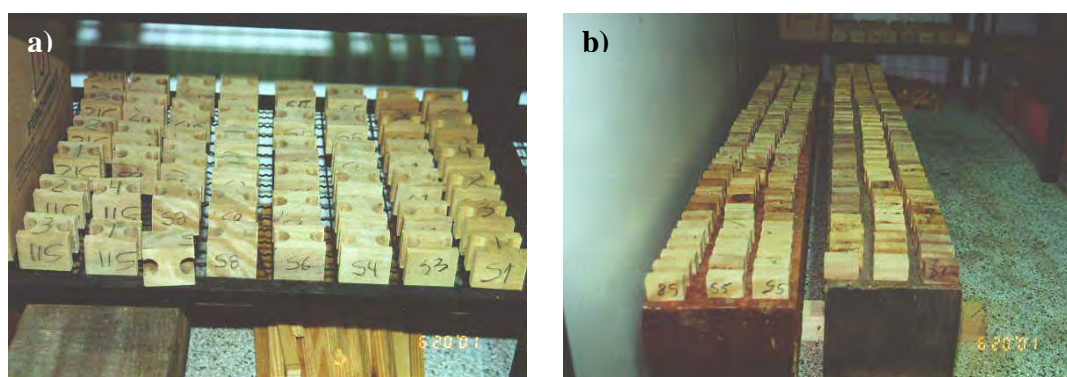


Figura 22 – Controle de umidade dos corpos-de-prova no laboratório da FCA

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da FCA – UNESP, Botucatu. Os ensaios de compressão paralela às fibras foram realizados em prensa EMIC, dotada de sistemas

automatizados de aquisição de dados (cargas e deformações específicas). Os ensaios de dureza e compressão normal (Figuras 23 e 24), foram realizados com uso de máquina universal de ensaios DL 10.000, do mesmo fabricante.

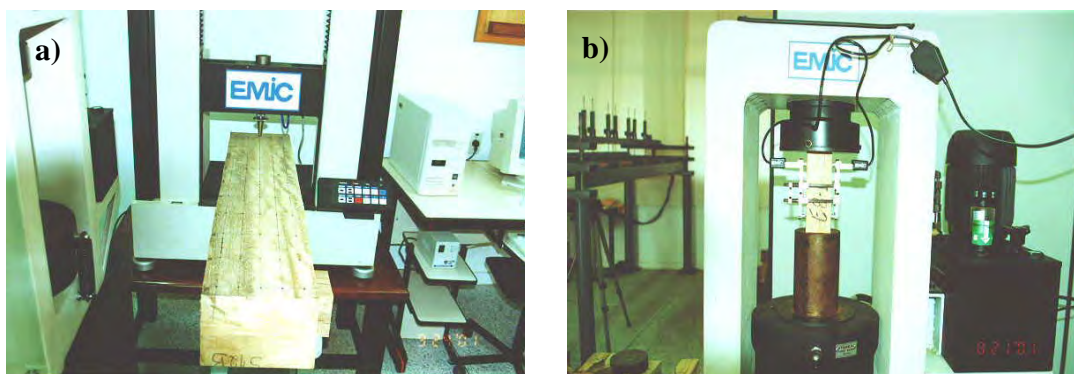


Figura 23 – Ensaio de dureza (a) e compressão normal às fibras (b).

Na avaliação da estabilidade dimensional (retratibilidade) as medições lineares de dimensões foram realizadas com micrômetros digitais Micromaster (sensibilidade de 0,001mm).

O processo de secagem teve início com a pesagem de 288 corpos-de-prova (foram retirados para cada análise 6 corpos-de-prova de cada grupo) e medição de suas dimensões lineares. Após a determinação da massa inicial, os corpos-de-prova foram colocados em estufa à temperatura máxima de 103° C.

Durante a secagem, as massas dos corpos-de-prova foram medidas a cada 6 horas, para a verificação da variação de umidade, conforme preconiza a NBR 7190 (1997).

Nas avaliações de densidade aparente, as mesmas mensurações foram feitas com paquímetro digital marca Starret (sensibilidade de 0,01mm).

Todos os resultados dos ensaios mecânicos foram reportados aos teores de umidade de seus respectivos corpos-de-prova. Nas situações em que a umidade final de ensaio situou-se entre 10% e 20%, os resultados finais foram adicionalmente reportados ao teor de umidade de 12% (umidade de referência), fazendo-se uso da formulação teórica de correção proposta por Logsdon (1998).

Os resultados das propriedades mecânicas obtidas foram correlacionados entre si, mediante análise de regressão. Na maioria das análises conduzidas, utilizou-se como variável independente a dureza (paralela ou normal às fibras).

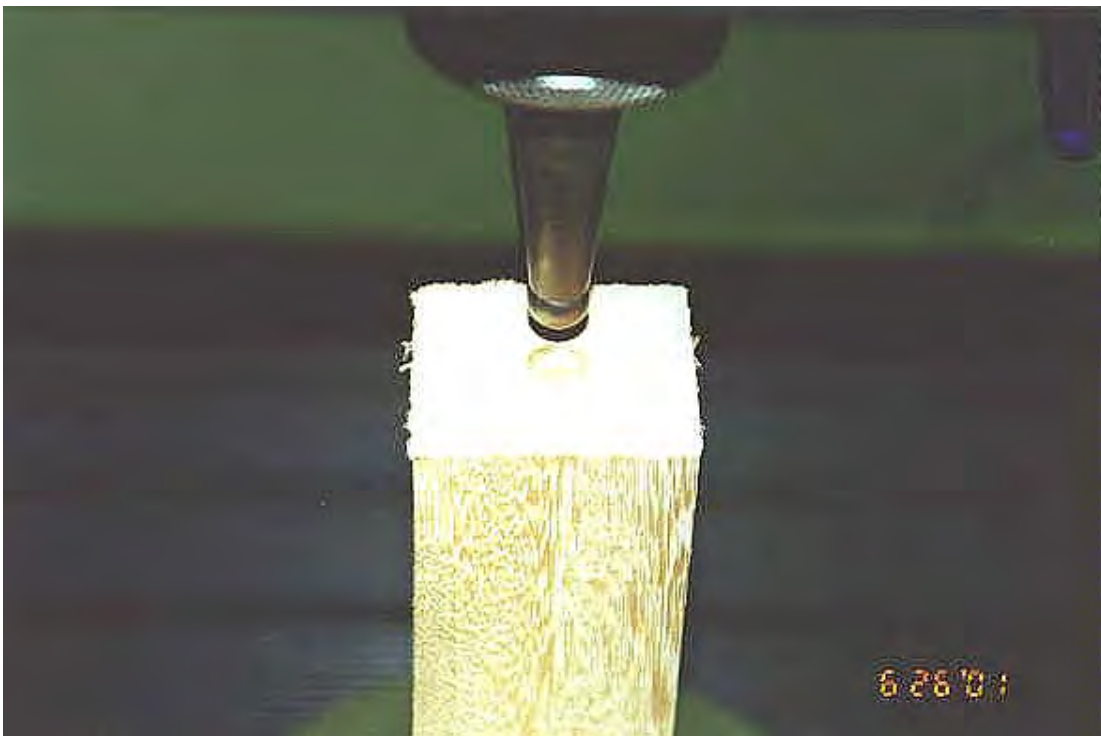


Figura 24 - Ensaio de dureza paralela às fibras nos corpos-de-prova.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise sistemática dos documentos técnicos das empresas

Da análise sistemática dos documentos de duas das empresas ferroviárias, atendendo à proposta inicial do trabalho, conforme poderia ser esperado, houve repetição na indicação das espécies de madeira habilitadas para dormentes. Além disso, algumas espécies habilitadas pelas empresas não possuíam fichas de características físico-mecânicas disponibilizadas no estudo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Assim, contornando-se essas duas limitações iniciais, o trabalho encaminhou a análise dos índices de desempenho de 17 espécies de madeira para cada empresa, conforme Quadros 10, 11 e 12.

Nesses quadros, às espécies estudadas foram associadas as classificações obtidas para cada um dos índices, dentro de um universo de 404 exemplares de madeira estudadas. Para espécies com mais de uma ficha de características das madeiras, na obtenção de sua classificação foi considerada aquela que indicava a melhor colocação. Assim, por exemplo, quando da busca da classificação do *E. citriodora*, em se encontrando 3 fichas com as classificações 41 (1ª ficha), 85 (2ª ficha) e 128 (3ª ficha), assumia-se como classificação da espécie o 41º lugar.

O índice  $I_1$  considera a densidade da madeira no seu denominador (Equação 1), penalizando, dessa forma, espécies com elevadas densidades.

O índice  $I_2$  (equação 2) contempla no numerador a resistência da madeira à compressão paralela às fibras associada à sua densidade, diferenciando-se do índice anterior. Avalia, ainda, a estabilidade dimensional da madeira e seu coeficiente de anisotropia (relação entre a contração total nas direções radial e tangencial). De forma bastante próxima, o índice  $I_3$  — uma simplificação do índice  $I_2$  — contabiliza somente a contração volumétrica total da madeira, desconsiderando o coeficiente de anisotropia. Por este índice, para maiores densidades associam-se melhores desempenhos para as espécies.

Da análise dos Quadros 10 a 12, igualmente ao já constatado por Ballarin (1998), verificou-se que o índice  $I_1$ , em geral penaliza as espécies de madeira que apresentam grandes valores para a densidade (*Astronium fraxinifolium* - Gonçalo-alves e *Astronium urundeuva* - Aroeira-do-sertão).

Quadro 10 – Classificação obtida por algumas espécies de madeira habilitadas para uso como dormente ferroviário pela Empresa “A”

Empresa "A"		Melhor classificação segundo os índices		
		$I_1$	$I_2$	$I_3$
Nome vulgar	Nome científico			
1 Amendoim	<i>Pterogyne nitens</i>	21	52	53
2 Angico-vermelho	<i>Piptadenia rigida</i>	150	117	81
3 Araribá	<i>Centrolobium sp</i>	37	59	27
4 Cabriúva-parda	<i>Myrocarpus sp</i>	125	76	109
5 Cabriúva-vermelha	<i>Myroxylon balsamum</i>	14	9	16
6 Coração-de-negro	<i>Apuleia ferrea</i>	163	67	32
7 Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>	248	107	112
8 Faveiro	<i>Pterodon pubescens</i>	49	32	18
9 Guaiuvira	<i>Patagonula americana</i>	30	96	106
10 Guarita	<i>Astronium graveolens</i>	101	62	66
11 Guarucaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>	253	113	80
12 Ipê-tabaco	<i>Tabebuia longiflora</i>	158	46	76
13 Jataí-peba	<i>Dialium guianense</i>	249	64	77
14 Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	3	7	4
15 Pau-roxo	<i>Peltogyne confertiflora</i>	63	26	23
16 Pelada	<i>Terminalia januarensis</i>	167	82	71
17 Sucupira-parda	<i>Bowdichia virgilioides</i>	107	49	98
Melhor classificação		3	7	4
Pior classificação		253	117	112

Quadro 11 – Classificação obtida por algumas espécies de madeira habilitadas para uso como dormente ferroviário pela Empresa “B”

Empresa "B"	Nome vulgar	Nome científico	Melhor classificação segundo os índices		
			I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
1	Angico-preto	<i>Piptadenia macrocarpa</i>	28	22	40
2	Acapú	<i>Voucapoua americana</i>	126	23	59
3	Achuárana	<i>Vantanea cupularis</i>	239	29	268
4	Araçá	<i>Psidium sp</i>	334	217	295
5	Aroeira-do-sertão	<i>Astronium urundeuva</i>	111	11	9
6	Caviúna	<i>Machaerium scleroxylon</i>	230	54	15
7	Canela-preta	<i>Nectandra mollis</i>	61	136	100
8	Gonçalo-alves	<i>Astronium fraxinifolium</i>	207	51	94
9	Guarajuba	<i>Terminalia sp</i>	229	99	67
10	Guarantã	<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	166	163	115
11	Ipê-una	<i>Tabebuia impetiginosa</i>	36	16	24
12	Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i>	194	149	33
13	Louro	<i>Nectandra sp</i>	26	159	79
14	Maçaranduba	<i>Manilkara sp</i>	292	25	101
15	Oiti	<i>Moquilea tomentosa</i>	325	129	218
16	Piquiá	<i>Caryocar villosum</i>	141	74	122
17	Sapucaia-vermelha	<i>Lecythis pisonis</i>	182	139	84
Melhor classificação			26	11	9
Pior classificação			334	217	295

Quadro 12– Classificação obtida por algumas espécies de madeira de reflorestamento

ESPÉCIES DE REFLORESTAMENTO	Nome vulgar	Nome científico	Melhor classificação Segundo os índices		
			I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
1	Eucalipto-citriodora	<i>Eucalyptus citriodora</i>	41	38	87
2	Eucalipto-paniculata	<i>Eucalyptus paniculata</i>	338	181	224
3	Eucalipto-saligna	<i>Eucalyptus saligna</i>	344	353	379
4	Eucalipto-tereticornis	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	387	255	310
Melhor classificação			41	38	87
Pior classificação			387	353	379

Verificou-se, ainda, a proximidade de classificações definidas para as espécies pelos índices I<sub>2</sub> e I<sub>3</sub>.

Por fim, de uma análise global dos Quadros 10 a 12 evidencia-se a boa classificação obtida pelo *Eucalyptus citriodora*, quando comparado às outras espécies de eucalipto e também às espécies nativas de uso habilitado como dormente, como por exemplo o Piquiá - *Caryocar villosum* e o Pau-roxo - *Peltogyne confertiflora*. Evidentemente, pelos três

índices analisados permanecem em posição de destaque as espécies de uso consagrado para essa finalidade como o Jatobá *Hymenaea stilbocarpa*, a Cabriúva-vermelha *Myrozylon balsamum*, o Angico-preto - *Piptadenia macrocarpa* e o Amendoim *Pterogyne nitens*.

## 6.2 Ensaios em dormentes

### 6.2.1 Análise visual e características geométricas dos dormentes

Na amostragem do universo de 48 dormentes, foram selecionadas 24 peças de espécies nativas com comprimento nominal de 2,00 m, característico de bitola estreita (1,00 m) e 24 peças de espécies de reflorestamento, com comprimento nominal de 2,80 m, característico de bitola larga (1,60 m). Conforme já salientado, na seleção dos dormentes de espécies nativas, 12 deles foram escolhidos de forma condicionada à presença de um defeito significativo e marcante, em detrimento da quantidade de defeitos.

Foram feitas medições de comprimento, altura e largura dos dormentes, conforme apresentado nos Quadros 13, 14 e 15. Os defeitos encontrados foram analisados e classificados conforme terminologia, formato e dimensões apresentados na revisão bibliográfica. Os valores nas células sombreadas evidenciam a quantidade de defeitos observados num mesmo dormente.

Quadro 13 – Dimensões dos dormentes e presença de defeitos– Série “S”

Dorm.	Espécie	Dimensões			Defeitos				
		Comprimento (m)	largura (cm)	altura (cm)	nó	trinca	esmoado	fendil.	furo
S1	Lauraceae	2,05	22	17					1
S2	Lauraceae	2,02	21	16		1			
S3	Vochysiaceae	2,03	20	16					
S4	Vochysiaceae	2,01	22	17					1
S5	Vochysiaceae	2,04	24	15		1			
S6	Vochysiaceae	2,04	23	18		1			
S7	Vochysiaceae	2,03	21	17					1
S8	Vochysiaceae	2,01	23	16		1			
S9	Vochysiaceae	2,03	21	18		1			
S10	Vochysiaceae	2,02	22	15					1
S11	Vochysiaceae	2,02	23	16		1			
S12	Vochysiaceae	2,01	23	17				1	

Quadro 14 – Dimensões dos dormentes e presença de defeitos– Série “D”

Dorm.	Espécie	Dimensões			Defeitos			
		Comprimento (m)	largura (cm)	altura (cm)	nó	trinca	esmoado	fendil. furo
D1	Vochysiaceae	2,02	22	16	1	1		1
D2	Vochysiaceae	2,05	23	17			1	1
D3	Lauraceae	2,03	20	16		3	1	1
D4	Lauraceae	2,00	21	15		1	2	1
D5	<i>Enterolobium</i> sp.	2,04	24	18	1		1	2 1
D6	Lauraceae	2,03	22	19		1	2	
D7	Lauraceae	2,01	23	16		1		1
D8	Vochysiaceae	2,02	21	15	1			1 2
D9	Vochysiaceae	2,00	23	16		3	1	1
D10	Lauraceae	2,02	23	17		2	2	1 1
D11	Lauraceae	2,02	24	16		2	1	1
D12	Vochysiaceae	2,04	22	17		1	1	2

Quadro 15 – Dimensões dos dormentes e presença de defeitos– Série “E” - Eucalipto

Dorm.	Espécie	Dimensões			Defeitos			
		Comprimento (m)	largura (cm)	altura (cm)	nó	trinca	Esmoado	fendil. furo
E1	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,78	24	17		1	1	1
E2	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,77	24	18		1		1
E3	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,81	25	16		1	2	1
E4	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,82	23	17		3		1
E5	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,82	24	17		2		1
E6	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,85	26	18	1	1		1
E7	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,80	24	18		1	2	1
E8	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,79	23	17		1		1
E9	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,78	22	18		4		1
E10	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,80	24	17		5	1	1
E11	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,81	25	17		2		1
E12	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,81	25	18		1		1
E13	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,84	26	17	1	3		1
E14	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,83	26	18		1	2	1
E15	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,79	23	18		6		1
E16	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,78	24	17		4		1
E17	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,81	25	18		3		1
E18	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,80	26	17		2	1	1
E19	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,79	24	18		5		1
E20	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,80	23	17		4		1
E21	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,82	24	19	1	2		1
E22	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,83	25	19		1	2	1
E23	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,77	26	18		2	1	1
E24	<i>Eucalyptus citriodora</i> .	2,81	24	17		3		1

A variação máxima encontrada nas medidas de comprimento de todos os dormentes foi de aproximadamente 5 cm (a mais ou a menos em relação ao comprimento

nominal). Os dormentes de bitola estreita (madeiras nativas) apresentavam maior esmero na sua confecção — dormentes prismáticos com o topo e faces bem aparelhadas — em relação aos dormentes de bitola larga (madeira de reflorestamento) — dormentes não prismáticos, com placas Gang Nail nos topos.

Da análise comparativa dos Quadros 13 e 14 observa-se a maior incidência de defeitos (presença e quantidade) nos dormentes da série “D”. Ainda, do Quadro 15 evidencia-se a grande incidência de trincas nos dormentes de eucalipto.

### 6.2.2 Identificação das madeiras

As amostras retiradas em cada um dos 48 dormentes para identificação botânica do lenho foram analisadas no Laboratório de Anatomia - Departamento de Recursos Naturais – FCA/UNESP – Campus de Botucatu e no Laboratório de Anatomia e Identificação de Madeiras/APBM/DPF do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A – IPT. Os resultados obtidos nas análises conduzidas nos dois laboratórios foram semelhantes para as famílias. O Quadro 16 resume os resultados obtidos junto ao IPT.

Quadro 16- Resultados da análise anatômica do lenho dos segmentos representantes dos dormentes

Dormentes	Nome científico	Família	Nome popular	Densidade*
D1, D2, D8 D9 e D12	<i>Qualea</i> sp	Vochysiaceae	mandioqueira ou cambará ou quaruba	0,50
D3, D4, D6, D7, D10 e D11	<i>Ocotea</i> sp. ou <i>Nectandra</i> sp.	Lauraceae	louro ou sassafrás canela	0,66 0,59 a 0,74
D5	<i>Enterolobium</i> sp	Mimosaceae	Faveira	0,79
S1 e S2	<i>Ocotea</i> sp. ou <i>Nectandra</i> sp.	Lauraceae	louro ou sassafrás canela	0,66 0,59 a 0,74
S3 a S12	<i>Qualea</i> sp.	Vochysiaceae	mandioqueira ou cambará	0,50
E1 a E24	<i>Eucalyptus citriodora</i>	Myrtaceae	eucalipto citriodora	0,98 a 1,09

(\*) Valores médios da densidade a 15% de umidade, obtidos de IPT (1989)

Quando da escolha dos dormentes de madeiras nativas para a realização dos ensaios esperava-se encontrar os 24 exemplares de um mesmo gênero, no

entanto, a partir dos resultados da identificação anatômica, houve necessidade de reagrupar os dormentes de espécies nativas em 3 grupos. Os resultados finais desse reagrupamento e a identificação de cada um dos grupos adotada neste trabalho estão apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 – Grupos de madeiras e respectivas identificações

Grupo	Gênero(s) envolvido(s)	Identificação adotada no trabalho	Dormentes	Número de exemplares
1	<i>Nectandra</i> sp. ou <i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae	S1, S2, D3, D4, D6, D7, D10 e D11	8
2	<i>Qualea</i> sp.	Vochysiaceae	S3 a S12, D1, D2, D8, D9 e D12	15
3	<i>Eucalyptus</i>	Eucalipto citriodora	E1 a E24	24
4	<i>Enterolobium</i> sp	Mimosaceae	D5	1

Considerando-se que o grupo 4 compreendia somente um dormente, nas análises físico-mecânicas seguintes ele não foi considerado.

### 6.2.3 Umidade avaliada nas condições de campo

Os dormentes selecionados para monitoramento da umidade a campo, distintos daqueles utilizados nos ensaios físico-mecânicos (grupos 1 a 4, anteriores) e instalados no pátio de manobras de Botucatu – SP, foram aqueles que aparentavam terem sido assentados recentemente, contrastando com o estado geral da via permanente naquela região — os dormentes assentados há mais tempo apresentavam visíveis sinais de podridão. A umidade dos dormentes, obtida com o uso do medidor resistivo Delmhorst RDM-2, apesar de se caracterizar por uma avaliação desse parâmetro na superfície da madeira, foi aqui assumida como o referencial maior de umidade desses elementos estruturais, considerando-se ser inviável a obtenção do teor de umidade efetivo do dormente a campo. Constatou-se pelo Quadro 18 que a umidade média final dos dormentes ficou em 20,83%, valor esse que difere significativamente daqueles assumidos como referenciais teóricos em documentos normativos – ABNT, 1997 – 12%, e em práticas anteriormente adotadas –  $U_{ref.} = 15\%$ .

Justifica-se a adoção desse novo referencial neste trabalho, na medida em que a premissa maior era a reprodução das condições de campo. Nesse sentido, esses resultados obtidos direcionaram os procedimentos para a realização dos ensaios mecânicos buscando-se sempre que possível corpos-de-prova com teores de umidade em torno de 20%.

Quadro 18 – Umidade nos dormentes (%) – Pátio da Ferroban- km 268

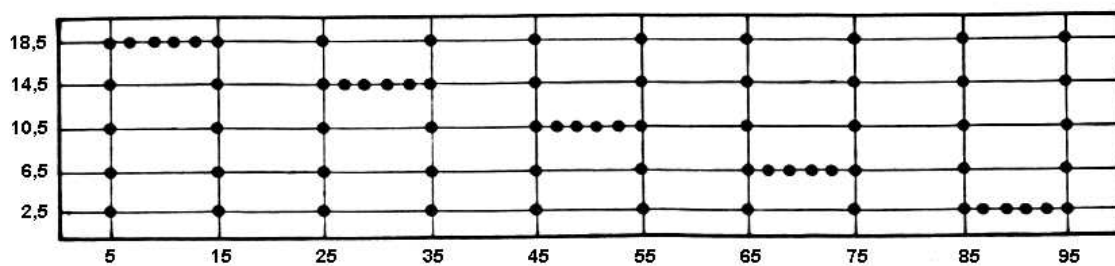
Dia Dormente	07/nov	09/nov	12/nov	14/nov	Média
1	24,5	20,1	16,6	21,3	20,63
2	17,1	21,8	23,6	19,3	20,45
3	18,7	18,9	21,4	19,1	19,53
4	19,1	19,4	22,8	22,4	20,93
5	26,0	25,2	19,3	20,7	22,80
6	19,2	20,6	22,5	21,4	20,93
7	18,1	18,2	19,2	20,0	18,88
8	19,2	18,7	20,5	23,4	20,45
9	21,5	17,7	26,3	29,1	23,65
10	18,6	19,8	22,2	26,0	21,65
11	17,0	19,7	20,6	19,8	19,28
média	19,91	20,01	21,36	22,05	<b>20,83</b>

#### 6.2.4 Dureza nos dormentes

Com o objetivo de quantificar a variação de dureza dentro de um mesmo dormente, foi mensurada a dureza normal às fibras ( $f_{H90}$ ) em 2 dormentes, sendo 1 de espécie nativa (dormente D9) e outro de espécie de reflorestamento (dormente E5), escolhidos ao acaso dentre os 48 que compunham a amostra.

Nos dois dormentes selecionados não foram constatadas diferenças visíveis tanto na aparência como na coloração, manchas ou outros defeitos evidentes que pudessem influenciar nos resultados.

A Figura 25 apresenta os pontos do dormente onde foi avaliada a dureza normal às fibras.



**Dimensões em cm**

Figura 25- Esquema representativo da face do dormente com os pontos de avaliação da dureza normal.

Os ensaios foram realizados com disposição do segmento do dormente na máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 MF, conforme ilustrado na Figura 26.



Figura 26 – Máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 MF para ensaio de dureza normal às fibras em segmentos dos dormentes

Utilizando o software Surfer™ foram obtidas as representações gráficas da variação da dureza normal nos dormentes (Figuras 27 e 28). Os valores da

dureza normal às fibras estão expressos em kN (a tensão correspondente, em MPa, é obtida, aproximadamente, multiplicando-se o valor lido por 10).

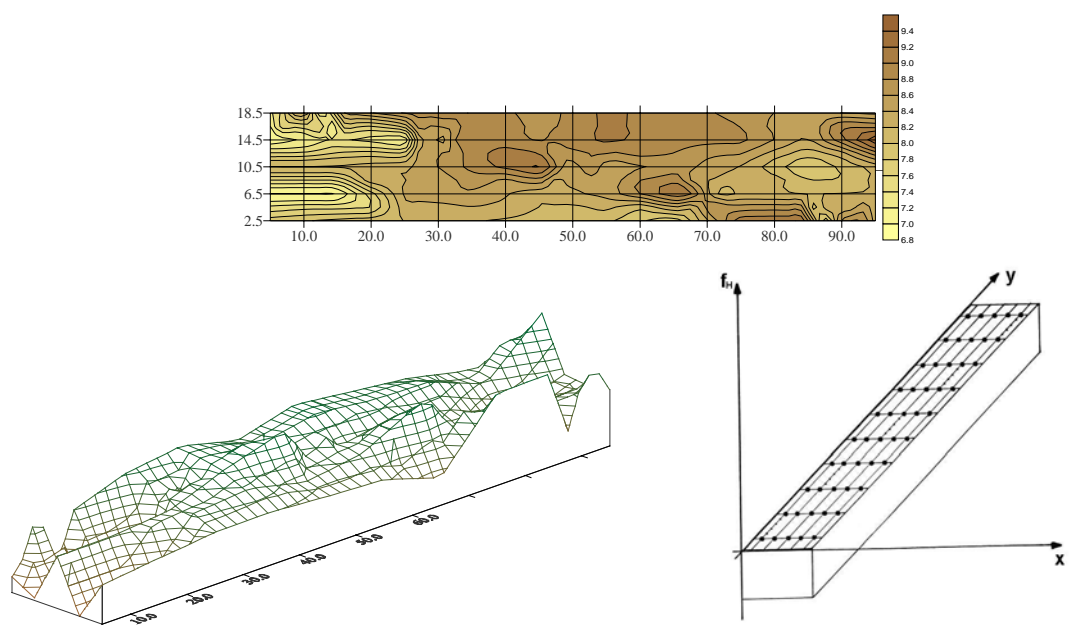


Figura 27 - Diagrama de superfície da dureza normal às fibras - dormente E5 - madeira de reflorestamento

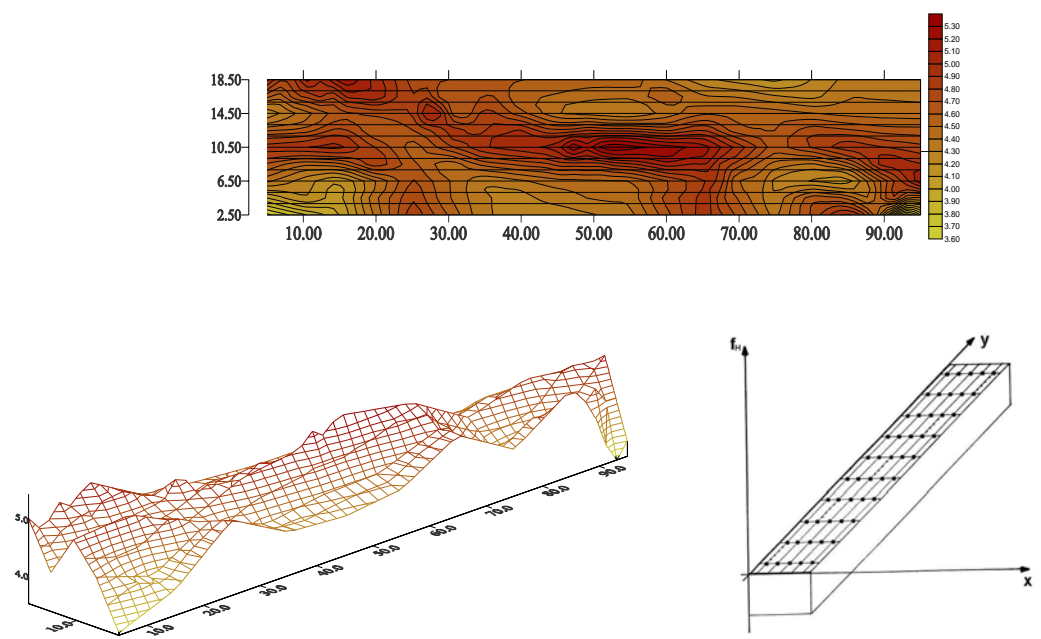


Figura 28 - Diagrama de superfície da dureza normal às fibras - dormente D9-madeira nativa

Analisando a “nuvem de pontos” para o dormente —E5— de espécie de reflorestamento, constatou-se a variação de 40,6% entre o valor máximo ( $x= 14,5$  cm;  $y= 95$ cm —  $f_{H90}= 95,27$  MPa) e o mínimo ( $x= 13$ cm;  $y= 18,5$ cm —  $f_{H90}= 67,75$  MPa) de dureza normal às fibras..

Igual análise, para o dormente —D9 —, resultou em variação máxima de 56,4% (máximo para  $x= 10,5$  cm e  $y= 53$  cm —  $f_{H90}= 54,87$  MPa e mínimo para  $x=93$  cm e  $y=2,5$  cm —  $f_{H90}=35,08$  MPa).

Analisando a “nuvem de pontos” para o dormente de espécie nativa, constatou-se a variação de 56,4% na dureza.

Igual análise conduzida para o dormente da espécie reflorestada levou a variação de 40,6% na dureza.

Os valores intermediários apresentam pequenas variações de dureza ao longo dos dormentes. Nos dois dormentes constatou-se maiores variações nas extremidades ao longo do comprimento dos dormentes.

Pelos resultados observados reforçou-se a idéia — já apresentada por diversos pesquisadores — de que a dureza é um ensaio puntual, ou seja, avalia desempenhos

localizados no material, em uma pequena região, não podendo, portanto, ser assumida como parâmetro característico de um elemento estrutural como um todo.

A partir desta constatação, na produção de corpos-de-prova para a obtenção de correlações da dureza com outras propriedades mecânicas, pareceu justificável a retirada de corpos-de-prova para esses ensaios de uma mesma região dos elementos que já tivessem sido ensaiados preliminarmente.

### **6.3 Ensaios em corpos-de-prova**

O quadro 19 apresenta os resultados gerais— médias de 3 corpos-de-prova — obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras e dureza paralela e normal às fibras.

Quadro 19 – Dados gerais médios obtidos nos corpos-de-prova representativos dos dormentes

Dorm.	Identificação	Código	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	U (%)	$f_{H0}$ (MPa)	$f_{H0-12}$ (MPa)	$f_{H90}$ (MPa)	$f_{H90-12}$ (MPa)	$f_{c0}$ (MPa)	$f_{c0-12}$ (MPa)
1	Lauraceae	S1	0,79	26,57	39,16		36,27		40,64	
2	Lauraceae	S2	0,80	39,55	34,87		35,51		37,18	
3	Vochysiaceae	S3	0,78	16,84	55,89	65,36	48,39	56,59	28,42	33,23
4	Vochysiaceae	S4	0,82	16,53	61,19	70,89	55,99	65,47	53,16	62,17
5	Vochysiaceae	S5	0,82	16,64	67,14	78,04	54,94	64,25	38,44	44,95
6	Vochysiaceae	S6	0,89	17,27	80,29	95,10	72,25	84,49	53,90	63,03
7	Vochysiaceae	S7	0,82	17,28	54,68	64,78	54,24	63,43	45,80	53,56
8	Vochysiaceae	S8	0,81	17,57	68,89	82,32	62,48	73,06	26,79	31,33
9	Vochysiaceae	S9	0,78	16,69	62,59	72,86	55,72	65,16	48,86	57,14
10	Vochysiaceae	S10	0,77	15,27	63,35	70,60	61,81	72,28	23,51	27,49
11	Vochysiaceae	S11	0,85	18,48	53,84	66,05	52,41	61,29	38,57	45,10
12	Vochysiaceae	S12	0,77	17,40	57,27	68,09	49,67	58,08	42,10	49,23
13	Vochysiaceae	D1	0,81	15,30	63,39	70,71	55,27	64,63	57,36	67,08
14	Vochysiaceae	D2	0,82	16,76	66,31	77,36	55,92	65,39	42,57	49,78
15	Lauraceae	D3	0,76	24,12	35,32		35,67		40,98	
16	Lauraceae	D4	0,69	17,63	37,75	45,19	37,27	43,58	41,44	48,46
17	Lauraceae	D6	0,73	33,48	30,09		28,01		33,94	
18	Lauraceae	D7	0,76	28,69	35,99		41,28		35,99	
19	Vochysiaceae	D8	0,80	17,00	62,31	73,21	55,46	64,85	46,76	54,68
20	Vochysiaceae	D9	0,94	17,59	75,24	89,96	74,20	86,77	48,08	56,22
21	Lauraceae	D10	0,79	32,63	34,28		33,19		39,93	
22	Lauraceae	D11	0,83	30,63	39,43		37,31		41,64	
23	Vochysiaceae	D12	0,79	15,13	61,76	68,53	52,99	61,97	52,94	61,91
24	E. citriodora	E1	1,10	21,75	83,88		79,93		64,32	
25	E. citriodora	E2	1,02	29,37	70,84		62,12		56,57	
26	E. citriodora	E3	1,06	21,88	82,87		77,03		65,12	
27	E. citriodora	E4	1,13	18,12	92,33	112,11	91,49	106,99	68,97	80,65
28	E. citriodora	E5	0,99	19,69	70,73	89,77	73,87	86,38	61,35	71,74
29	E. citriodora	E6	0,99	20,04	72,92		61,20		56,55	
30	E. citriodora	E7	1,06	16,36	88,62	102,14	92,28	107,91	71,78	83,94
31	E. citriodora	E8	1,12	20,80	75,65		77,18		61,31	
32	E. citriodora	E9	1,07	23,22	88,75		76,30		59,48	
33	E. citriodora	E10	1,15	21,10	82,87		82,03		65,42	
34	E. citriodora	E11	1,06	22,50	78,33		74,05		55,85	
35	E. citriodora	E12	1,10	20,02	95,67		89,75		79,46	
36	E. citriodora	E13	0,94	19,94	64,70	82,68	58,08	67,92	52,10	60,93
37	E. citriodora	E14	1,01	26,85	70,79		64,45		64,64	
38	E. citriodora	E15	1,15	19,87	76,85	98,02	95,85	112,09	64,80	75,78
39	E. citriodora	E16	1,08	20,30	85,92		78,70		63,54	
40	E. citriodora	E17	1,04	22,05	79,86		79,78		65,70	
41	E. citriodora	E18	1,1	18,68	88,97	109,77	89,10	104,19	75,35	88,11
42	E. citriodora	E19	1,16	21,74	90,11		76,49		62,56	
43	E. citriodora	E20	1,01	19,16	81,01	101,31	71,83	84,00	66,85	78,17
44	E. citriodora	E21	0,99	20,80	61,08		61,08		54,48	
45	E. citriodora	E22	1,10	28,85	79,54		76,24		66,89	
46	E. citriodora	E23	0,99	19,77	70,15	89,23	66,60	77,88	54,74	64,01
47	E. citriodora	E24	1,16	21,34	95,37		93,07		75,71	
<b>geral</b>	mínimo		0,69	15,13	30,09		28,01		23,51	
	máximo		1,16	39,55	95,67		95,85		79,46	
	médio		0,94	21,26	67,42		63,72		53,03	
	D. padrão		0,15	5,39	18,09		17,97		13,67	
	C.V. (%)		15,54	25,37	26,83		28,20		25,77	

A umidade de ensaio desses corpos-de-prova (utilizados nos ensaios de dureza paralela e normal às fibras e compressão paralela às fibras) variou de 15% a 25% para a grande maioria dos exemplares ensaiados, sendo, contudo, sempre constante em um lote (3 exemplares representativos de um dormente para ensaios de compressão paralela às fibras e durezas normal e paralela). Somente 10 dormentes tiveram seus corpos-de-prova representativos com umidades superiores a 25%. Salienta-se aqui, novamente, a importância inicial de estabelecer correlações entre as propriedades estudadas no intervalo de umidades de 15% a 25%, por ser ele representativo das situações de campo dos dormentes.

As propriedades tiveram seus valores inferidos para a umidade de referência usando-se a equação (4).

Analisando-se os dados de umidade por conjuntos, observa-se que a família Vochysiaceae apresentou umidade variando de 15% a 18,5%, e densidade aparente variando de 0,77 g/cm<sup>3</sup> a 0,94 g/cm<sup>3</sup>. Os corpos-de-prova de *Eucalypto citriodora* apresentaram-se mais úmidos, com valores de 16% a 29%, e densidades aparentes variando de 0,94 g/cm<sup>3</sup> a 1,16 g/cm<sup>3</sup>. O grupo das Lauraceas apresentou corpos-de-prova mais úmidos.

### 6.3.1 Dureza paralela às fibras

As Figuras 29, 30 e 31, apresentam os valores de dureza paralela às fibras para o *Eucalypto citriodora*, Lauraceas e Vochysiaceas, respectivamente.

Para o *Eucalypto citriodora* o valor máximo da dureza paralela às fibras ( $f_{H0}$ ) foi de 95,61 (série E12) e o valor mínimo foi de 63,05 MPa (série E21), com valor médio para o grupo de 81,06 MPa.

Para a família Lauracea os valores máximo e mínimo dessa propriedade foram 39,55 MPa (série S2) e 17,63 MPa (série D4). O valor médio foi de 35,86 MPa.

Igual análise para o grupo Vochysiacea resultou valor médio da dureza paralela às fibras de 63,61 MPa (valores individuais variando de 53,84 – série S11 a 80,29 – série S6).

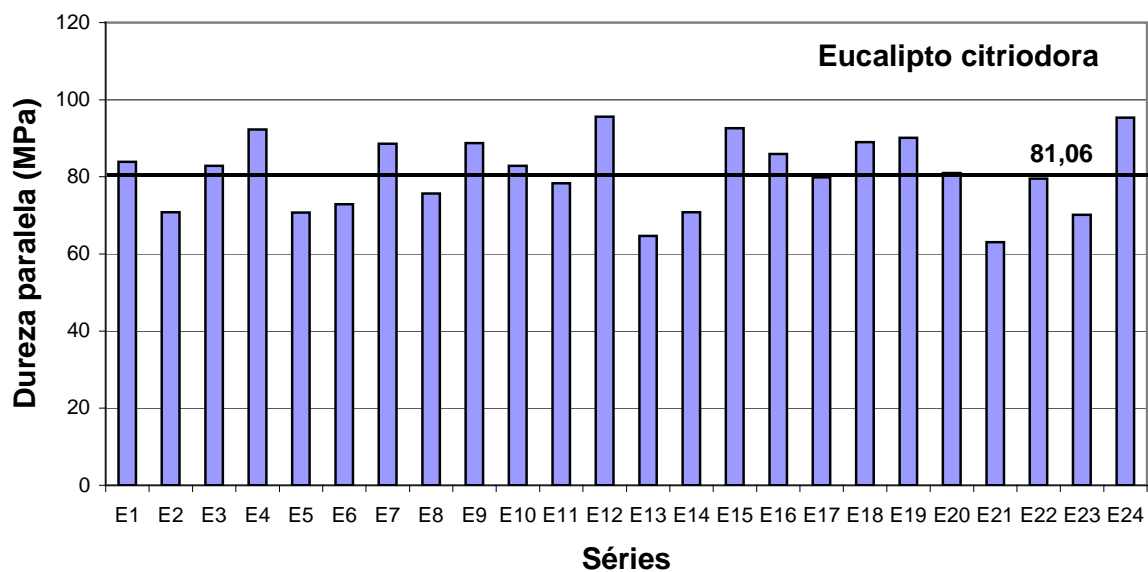


Figura 29 –Dureza paralela às fibras – valores das séries - Eucalypto citriodora

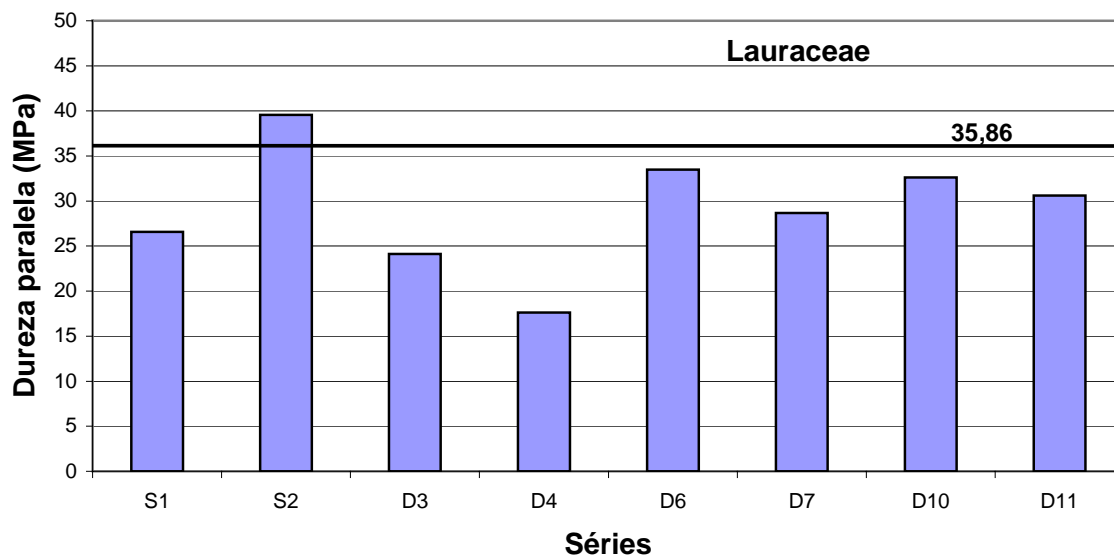


Figura 30 –Dureza paralela às fibras – valores das séries - Lauraceae

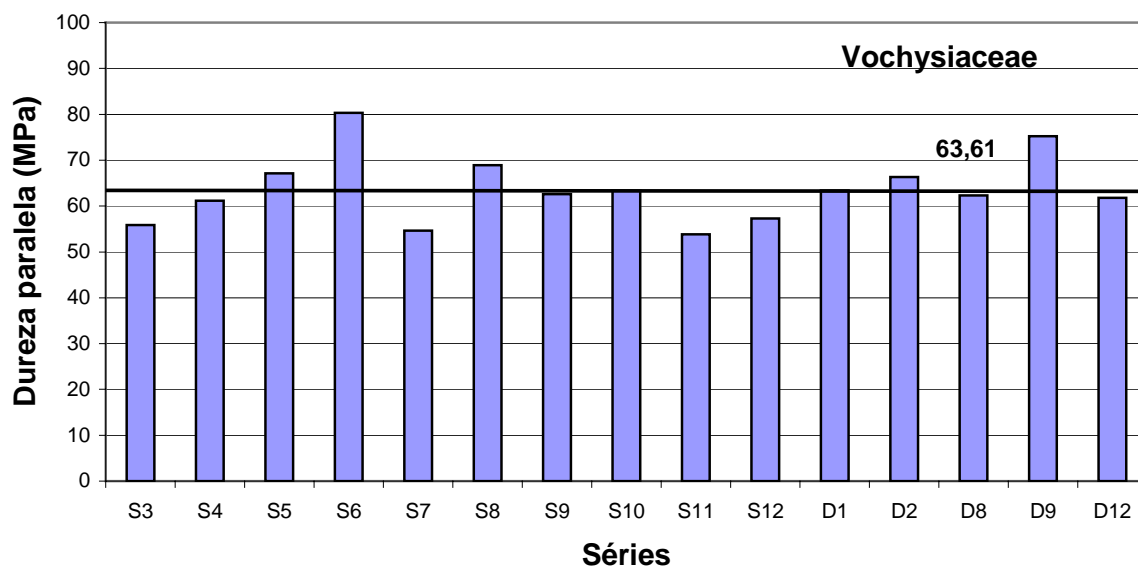


Figura 31 –Dureza paralela às fibras – valores das séries - Vochysiaceae

### 6.3.2 Dureza normal às fibras

As Figuras 32, 33 e 34 apresentam os valores de dureza normal às fibras ( $f_{H90}$ ) para o Eucalipto citriodora e as famílias Lauraceae e Vochysiaceae.

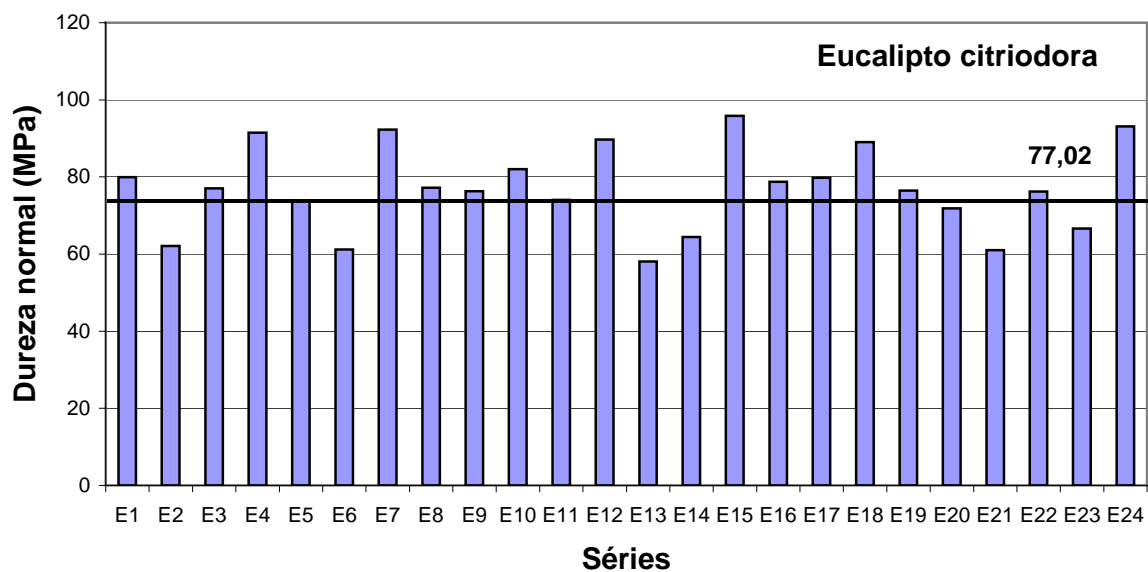


Figura 32 –Dureza normal às fibras – valores das séries – Eucalipto citriodora

O valor máximo obtido para o *Eucalypto citriodora* ocorreu na série E15 — 95,85 Mpa; para o grupo Lauraceae ocorreu na série D7 — 41,28 Mpa; e para o grupo Vochysiaceae ocorreu na série D9 — 74,20MPa.

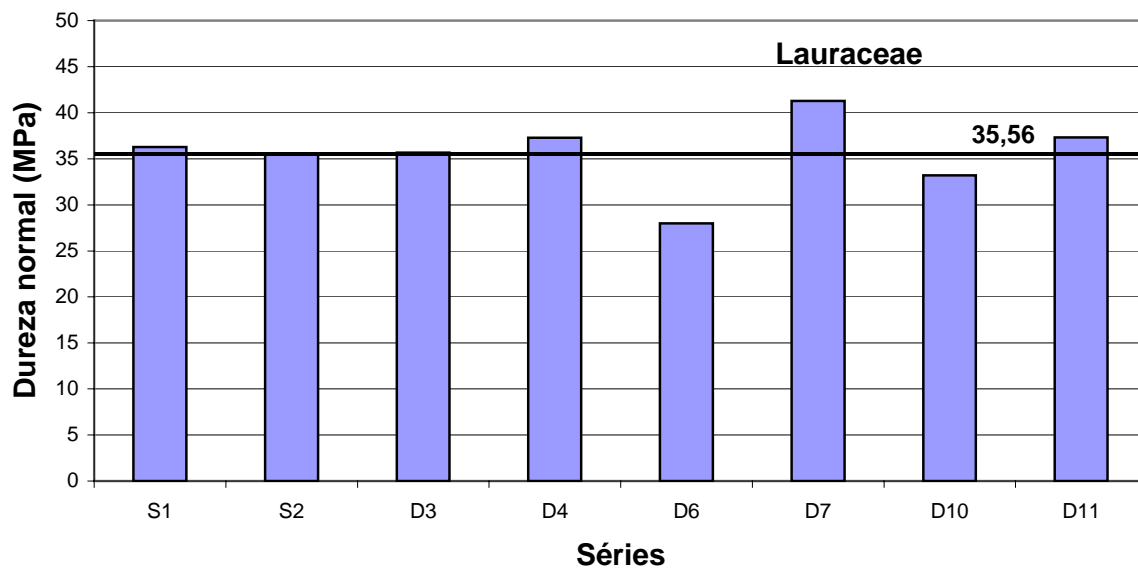


Figura 33 –Dureza normal às fibras – valores das séries – Lauraceae

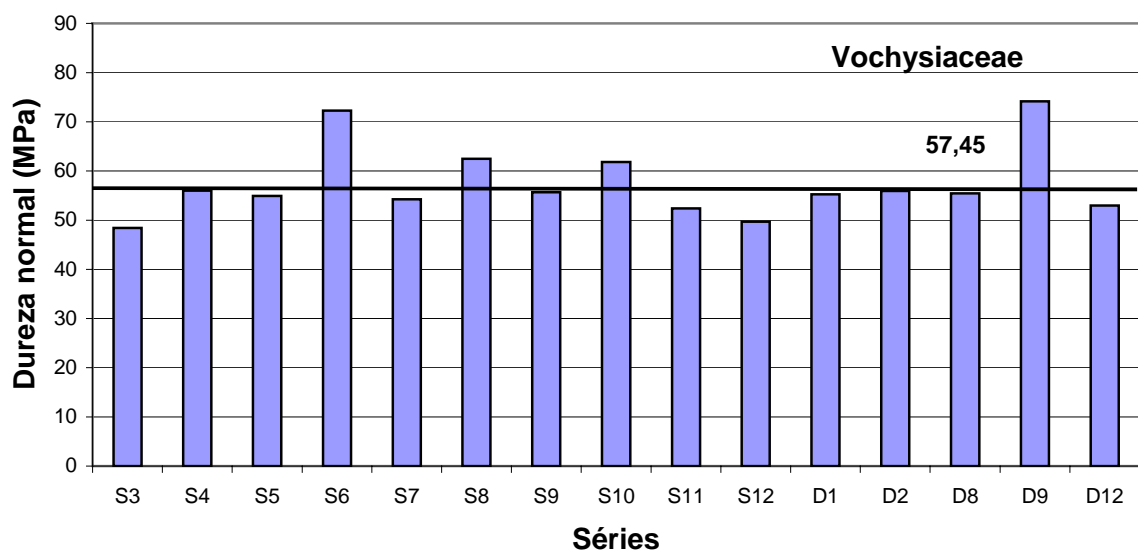


Figura 34 –Dureza normal às fibras – valores das séries – Vochysiaceae

Os valores mínimos obtidos para os três grupos (E,D e S) foram, respectivamente 58,08 MPa (série E13), 28,01 (série D6) e 48,39 MPa (série S3), com valores médios de 77,02 MPa, 35,56 MPa e 57,45 MPa.

Da análise dos resultados individuais dos corpos-de-prova ensaiados para avaliação das duas durezas (paralela e normal) observou-se que a relação  $f_{H0}/f_{H90}$  teve média 1,07, com valor mínimo de 0,75 e máximo de 1,37. Essa constatação, que indica semelhança de resistência na dureza, independentemente da direção de aplicação do carregamento, facilitaria o diagnóstico dessa propriedade em condições de campo.

### **6.3.3 Compressão paralela às fibras**

As Figuras 35, 36 e 37 apresentam os valores médios da resistência à compressão paralela às fibras para as séries representativas do Eucalipto citriodora e das famílias das Vochysiaceae e Lauraceae. Conforme já comentado na metodologia, os ensaios de compressão paralela às fibras foram realizados nos mesmos corpos-de-prova dos ensaios de dureza, com eliminação de 5 cm de seus comprimentos — região onde havia sido realizado o ensaio de dureza. Dessa forma, os teores de umidade destes corpos-de-prova são idênticos àqueles já reportados para os ensaios de dureza.

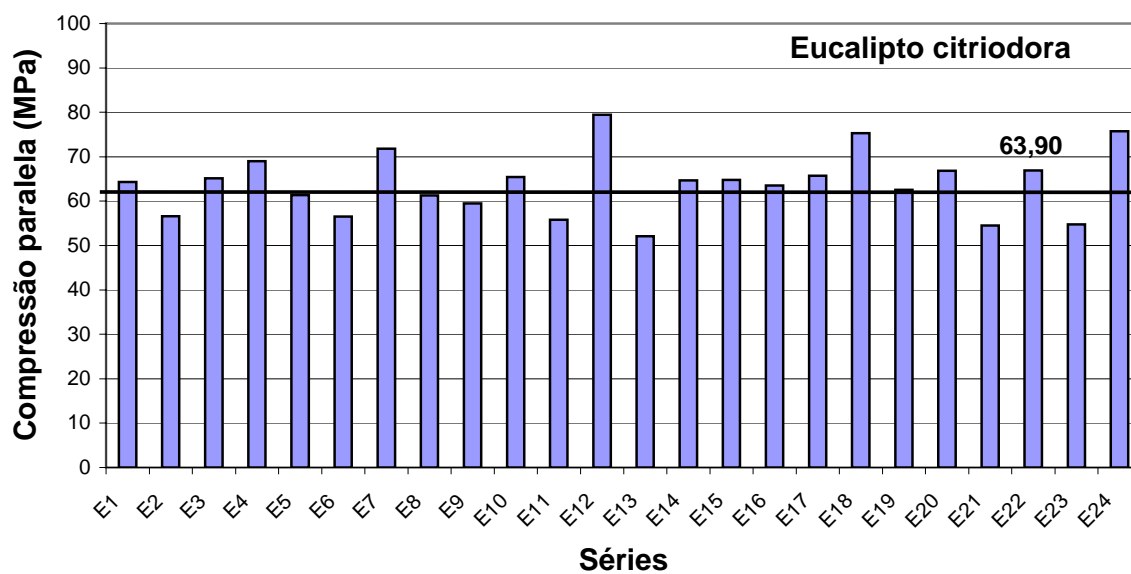


Figura 35 – Compressão paralela às fibras – valores das séries - Eucalypto citriodora

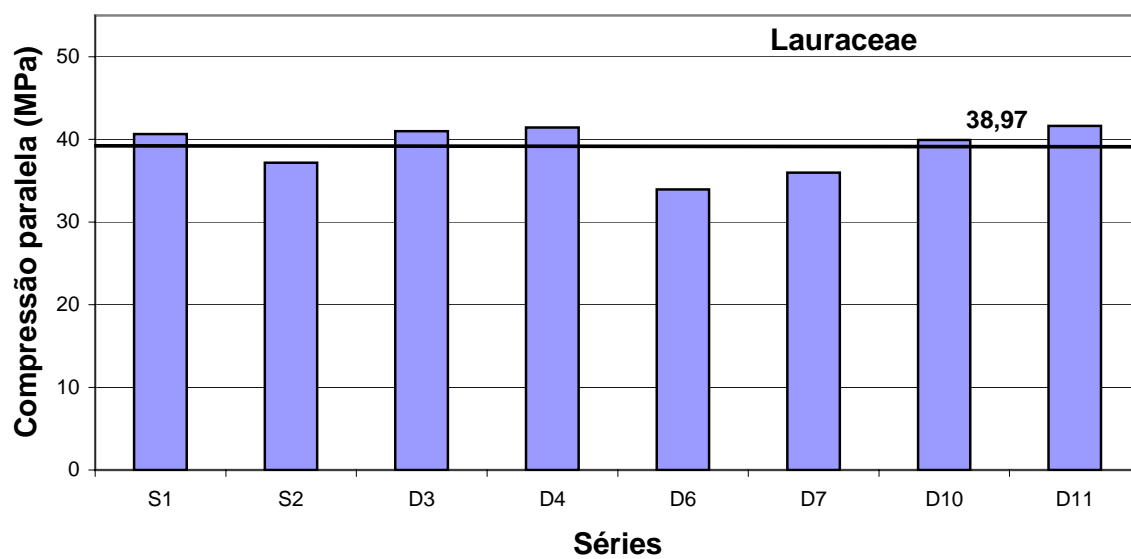


Figura 36 – Compressão paralela às fibras – valores das séries – Lauraceae

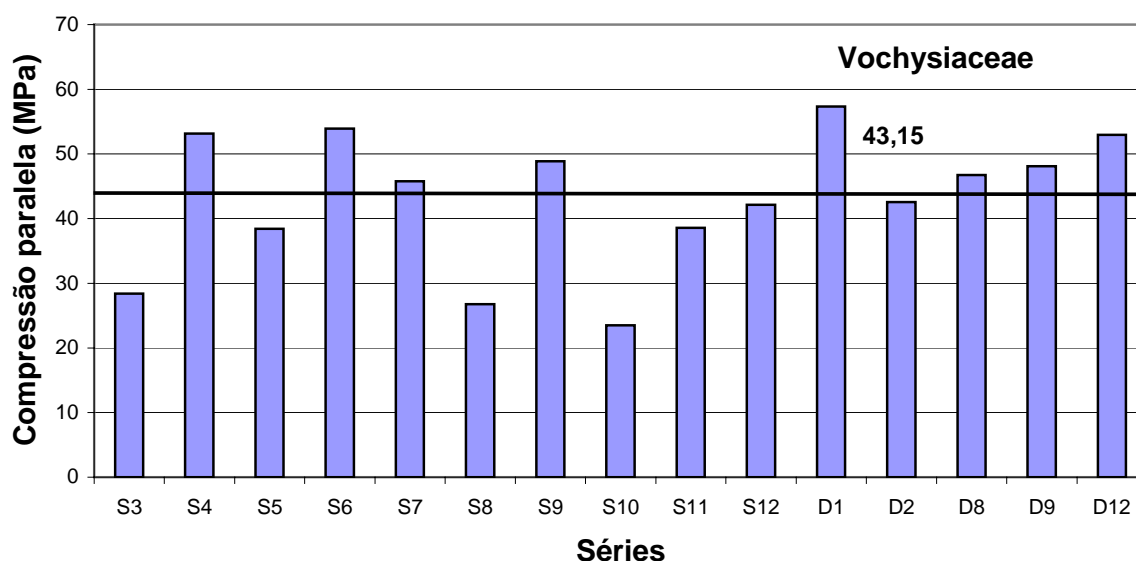


Figura 37 – Compressão paralela às fibras – valores das séries - Vochysiaceae

Para o *Eucalypto citriodora* verificou-se valor máximo da resistência na série E12 ( $f_{c0} = 79,46$  MPa) e mínimo na série E13 ( $f_{c0} = 52,10$  MPa), com variação de 52,1% entre esses extremos. Igual análise para a família Lauraceae, indicou variação entre extremos de 22,7% (valor máximo na série D11 – 41,64 MPa e mínimo na série D6 – 33,94 MPa).

Por fim, para a família Vochysiaceae constatou-se valor máximo na série D1 ( $f_{c0} = 57,36$  MPa) e mínimo para a série S10 ( $f_{c0} = 23,51$  MPa), com variação entre extremos de 143%, valor esse considerado excessivamente elevado. Tal fato pôde ser facilmente constatado na observação da Figura 37, onde destacam-se os baixos valores obtidos nas séries S3, S8 e S10.

Os valores médios de resistência à compressão paralela às fibras de cada uma das séries estudadas dentro do grupos foram corrigidos para a unidade de referência de 12% — equação apresentada no Quadro 19. Nessas novas condições, a família Vochysiaceae apresentou resistência média a 12% de umidade ( $f_{c0,médio}$ ) de 50,46 MPa (madeira da classe C30, de acordo com a NBR 7190, 1997) e o *Eucalypto citriodora* apresentou essa mesma resistência média igual a 75,42 MPa (madeira classe C40). A família das Lauraceae apresentou poucos corpos-de-prova com umidade abaixo de 20%, ficando comprometida a avaliação da resistência na umidade de 12%.

### 6.3.4 Compressão normal às fibras

Os resultados gerais da resistência à compressão normal às fibras, calculados de acordo com as prescrições normativas da NBR 7190 — avaliação da resistência à compressão normal através de um valor de referência — estão apresentados nas figuras 38, 39 e 40.

Nessa nova seqüência de ensaios, conforme já descrito na metodologia, foi utilizado novo lote de corpos-de-prova. A umidade média dos corpos-de-prova ensaios foi de 14,03%, 16,41% e 12,59%, respectivamente para os grupos do Eucalipto citriodora, Lauraceae e Vochysiaceae. Como somente para uma das séries de Lauraceae foi realizado o ensaio com umidade superior a 20% (série D6), na grande maioria dos casos foi possível a obtenção dos valores da propriedade na umidade de referência, com uso da equação (4), tomando-se  $\alpha=3,5$ , de acordo com sugestão de Logsdon (1998).

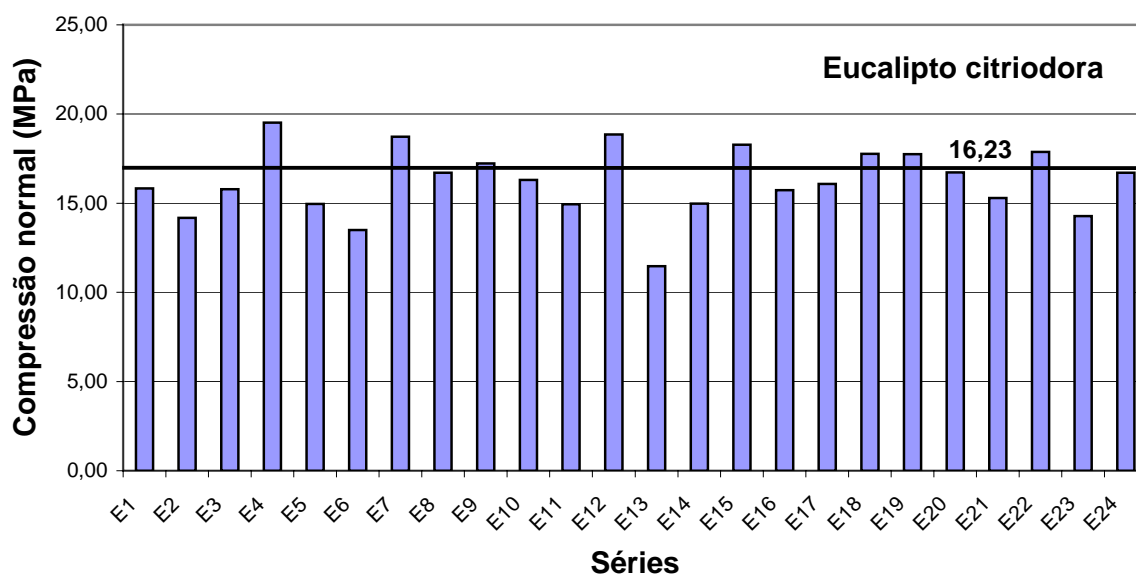


Figura 38 – Compressão normal às fibras – valores das séries - Eucalipto citriodora

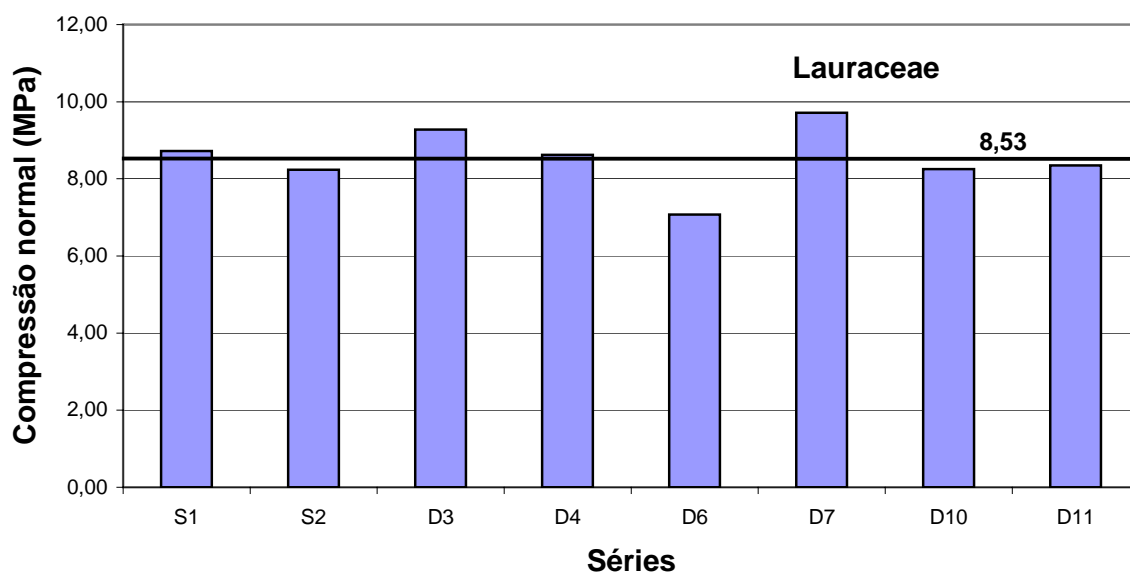


Figura 39 – Compressão normal às fibras – valores das séries - Lauraceae

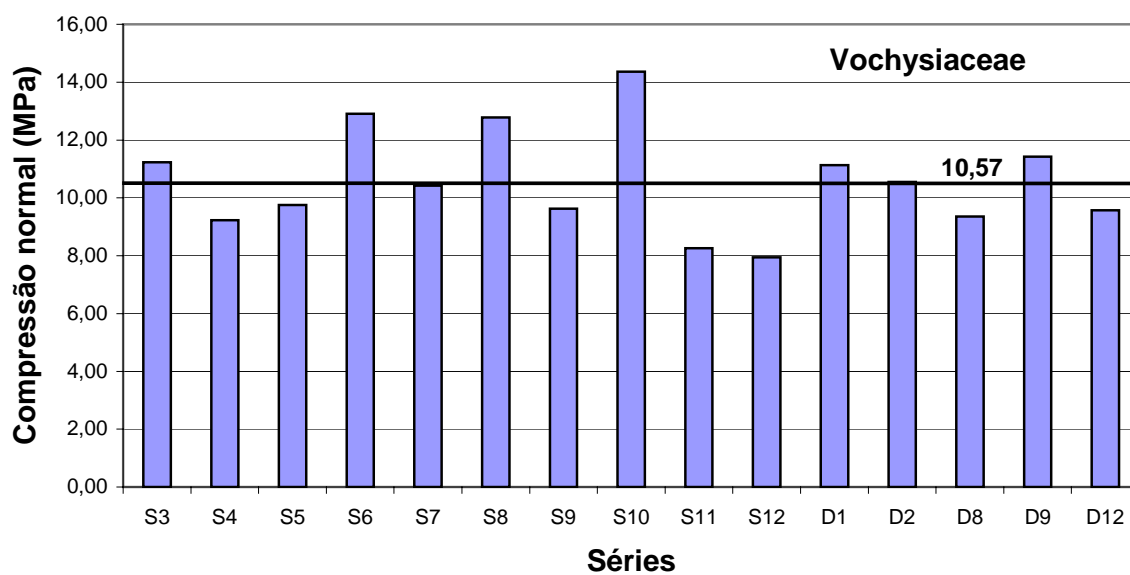


Figura 40 – Compressão normal às fibras – valores das séries – Vochysiaceae

Para o *Eucalypto citriodora*, com valor médio do grupo igual a 16,23 MPa, o valor máximo foi obtido na série E4 ( $f_{c90}=19,52$  MPa) e o mínimo na série E13 ( $f_{c90}=11,48$  MPa). Para a família das Lauraceae, com resistência convencional média à compressão normal às fibras de 8,53 MPa, os valores máximo e mínimo foram

respectivamente 9,71 MPa (série D7) e 7,08 MPa (série D6). Para a família das Vochysiaceae, igual análise conduziu a valores médio, máximo e mínimo de 10,57 MPa, 14,36 MPa (série S10) e 8,53 MPa (série S12).

Analogamente ao procedido para o ensaio de compressão paralela às fibras, no caso da compressão normal às fibras os resultados individuais dos corpos-de-prova foram reportados também para a umidade de referência de 12% (exceto série D6).

As relações finais médias obtidas para a resistência convencional à compressão normal às fibras em relação à compressão paralela às fibras — as duas propriedades com valores reportados à umidade de referência de 12% — foram 0,22, 0,18 e 0,24, respectivamente para os grupos E. citriodora, Lauraceae e Vocysiaceae. O valor teórico médio dessa relação é contabilizado pela NBR 7190 (1997) como 0,25. Assim, nota-se que os valores experimentais obtidos confirmam a relação teórica da norma. Para a família Lauraceae o número excessivamente reduzido de corpos-de-prova pode ter comprometido os resultados experimentais.

### 6.3.5 Tração normal às fibras

As Figuras 41, 42 e 43 apresentam os valores de tração normal às fibras para os três grupos de madeiras estudadas.

O valor máximo obtido para o Eucalipto citriodora ocorreu na série E21 ( $f_{t,90}=11,43$  MPa), para as Lauraceae ocorreu na série D4 ( $f_{t,90}= 6,77$  MPa) e para as Vochysiaceae ocorreu na série S4 ( $f_{t,90}= 7,59$  MPa).

O valor mínimo obtido para o Eucalipto citriodora ocorreu na série E10 ( $f_{t,90}=4,73$  MPa), para as Lauraceae ocorreu na série S2 ( $f_{t,90}= 2,56$  MPa) e para as Vochysiaceae ocorreu na série S5 ( $f_{t,90}= 2,86$  MPa).

Os valores médios obtidos foram 7,52 MPa, 4,31 MPa e 5,43 MPa respectivamente para o Eucalipto citriodora, Lauraceae e Vochysiaceae.

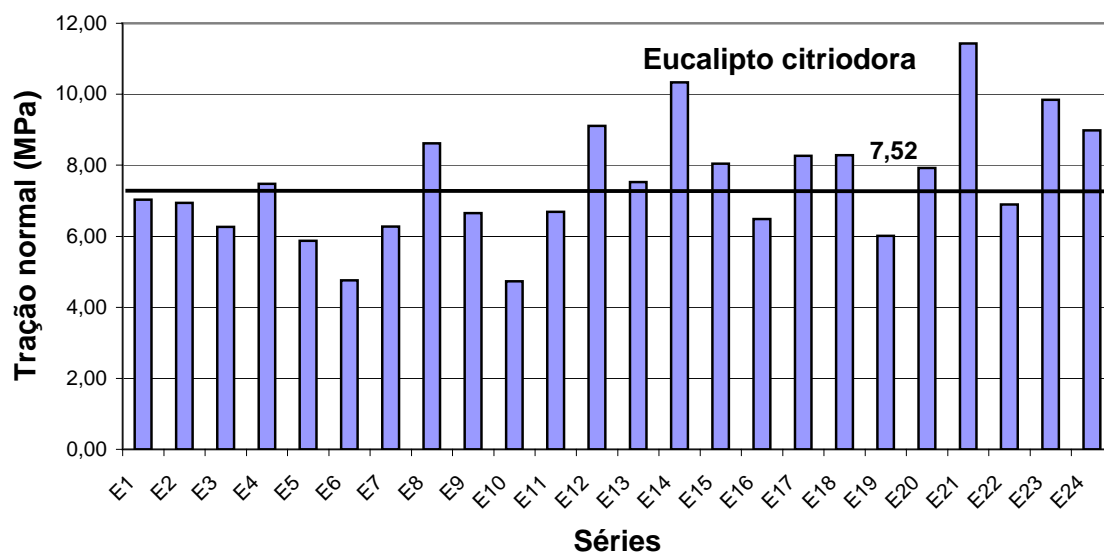


Figura 41 – Tração normal às fibras – valores das séries - Eucalypto citriodora

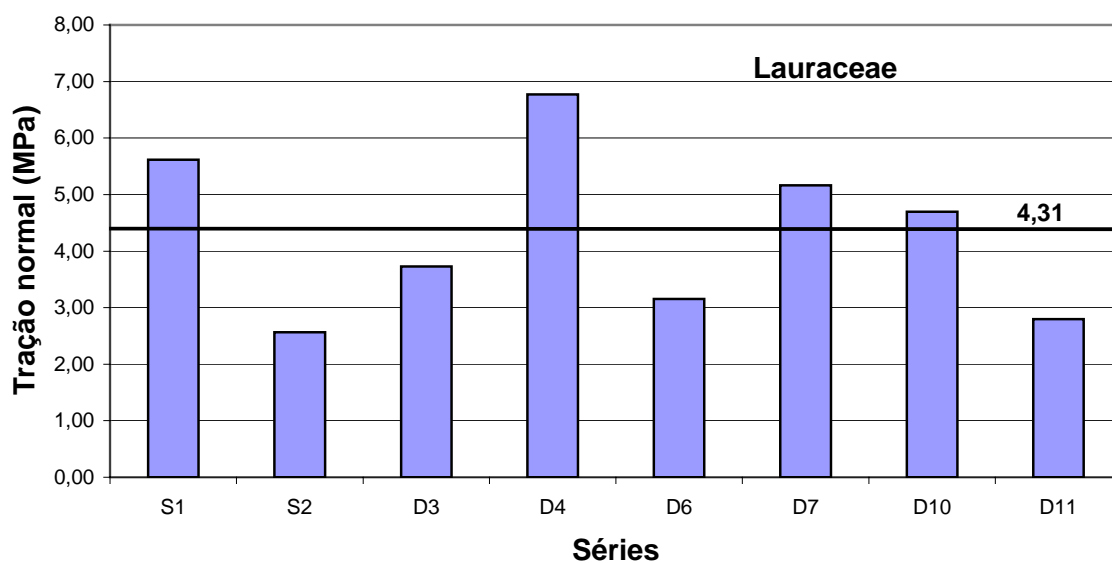


Figura 42 – Tração normal às fibras – valores das séries - Lauraceae

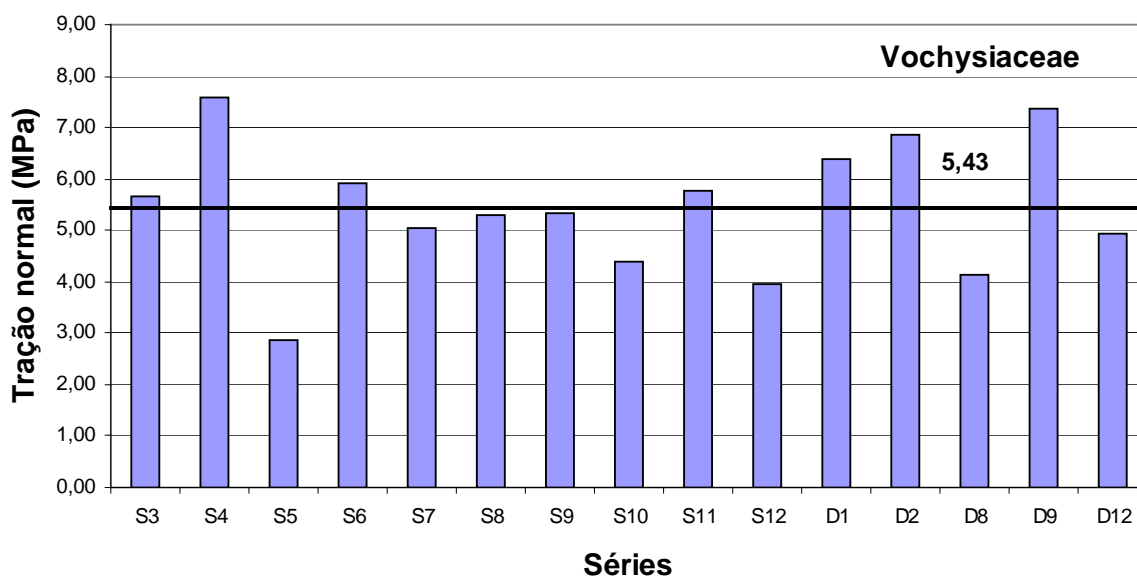


Figura 43 – Tração normal às fibras – valores das séries - Vochysiaceae

### 6.3.6 Estabilidade dimensional

Conforme já comentado, a estabilidade dimensional da madeira dos dormentes foi avaliada através de ensaio de retratibilidade, partindo-se da condição de saturação completa dos corpos-de-prova, com posterior secagem em estufa, seguindo-se procedimento detalhado no capítulo anterior. Com ele, evitou-se a perda de grande número de corpos-de-prova nesse ensaio. Mesmo adotando-se esse procedimento alternativo, os corpos-de-prova das séries S3, S4, S8 e S10 foram descartados por apresentarem deformações ou rachaduras durante a secagem.

O Quadro 20 apresenta os valores médios de retratibilidade nas direções longitudinal ( $\epsilon_{r,l}$ ), radial ( $\epsilon_{r,r}$ ), tangencial ( $\epsilon_{r,t}$ ) e volumétrica ( $\epsilon_v$ ), obtidos para as séries estudadas.

Quadro 20 – Valores médios de retratibilidades longitudinal ( $\epsilon_{r,l}$ ), radial ( $\epsilon_{r,r}$ ), tangencial ( $\epsilon_{r,t}$ ) e volumétrica ( $\epsilon_v$ )

Grupo	Série	Retratibilidade média (%)			
		$\epsilon_{r,l}$	$\epsilon_{r,r}$	$\epsilon_{r,t}$	$\epsilon_v$
Lauraceae	S1	0,37	6,39	12,48	22,50
	S2	0,41	5,83	12,20	21,46
	D3	0,43	3,19	7,04	11,60
	D4	0,58	3,41	7,81	12,97
	D6	0,32	3,31	7,94	12,70
	D7	0,33	3,24	7,36	11,92
	D10	0,42	2,15	7,58	11,04
	D11	0,16	3,95	8,39	13,83
média		0,38	3,93	8,85	14,75
d. padrão		0,12	1,44	2,19	4,55
C.V.		31,59	36,60	24,77	30,85
Vochysiaceae	S5	0,50	7,01	14,56	26,51
	S6	0,16	8,22	15,17	28,64
	S7	0,21	8,08	14,63	27,70
	S9	0,21	8,42	13,91	27,12
	S11	0,34	8,38	15,46	29,57
	S12	0,44	7,35	14,59	26,93
	D1	0,36	5,78	9,52	17,73
	D2	0,20	4,62	10,16	16,94
	D8	0,59	3,87	9,93	16,19
	D9	0,47	6,54	11,81	21,91
	D12	0,21	5,33	8,82	16,10
	média		0,34	6,69	12,60
d. padrão		0,15	1,60	2,57	5,49
C.V.		44,00	23,91	20,38	23,63
E. citriodora	E12	0,08	8,47	9,51	20,84
	E13	0,23	8,48	8,80	20,09
	E14	0,14	7,15	8,35	17,68
	E15	0,10	6,67	8,87	17,71
	E16	0,18	9,02	9,89	22,19
	E17	0,21	7,06	10,26	20,16
	E18	0,06	8,18	9,69	20,66
	E19	0,21	6,23	7,67	15,75
	E20	0,10	7,74	9,01	19,26
	E21	0,07	6,92	9,00	18,16
	E22	0,06	5,82	9,36	17,22
	E23	0,25	11,36	11,46	27,75
	E24	0,06	6,70	8,81	17,61
	média		0,13	7,68	9,28
d. padrão		0,07	1,46	0,94	3,03
C.V.		53,45	19,04	10,10	15,45

Para o grupo das Lauraceae e Vochysiaceae observou-se elevados coeficientes de variação em todas as retratibilidades avaliadas, contrastando com o grupo do *E. citriodora*.

No grupo das Lauraceae notou-se elevados valores obtidos nas séries S1 e S2, notadamente para as retratibilidades radial, tangencial e volumétrica. No grupo das Vochysiaceae evidenciou-se valores relativos à série D8, os quais, no geral, foram menores que os das demais séries.

Comparando-se, por fim, o índice de anisotropia— relação entre as os valores médios das retratibilidades tangencial e radial — observou-se que, curiosamente, o *E. citriodora* obteve o menor índice, indicativo teórico de uma menor tendência à fissuração por secagem, fato esse não constatado na prática: os dormentes de *E. citriodora* apresentavam fissuração sistemática em suas faces.

Os valores de retratibilidades das séries foram utilizados para o cômputo final dos índices de desempenho dos dormentes.

#### **6.4 Índices de desempenho para os dormentes estudados**

Os índices finais de desempenho dos dormentes ( $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$ ) estão apresentados nos quadros 21 e 22.

Numa análise inicial, nota-se que o índice de desempenho  $I_1$  resultou valores bastante variáveis para os três grupos estudados ( $28,70\% \leq C.V. \leq 45,76\%$ ). O mesmo não ocorreu para os índices  $I_2$  e  $I_3$ .

Quando da comparação entre os intervalos obtidos entre valores máximos e mínimos dos três índices de desempenho, para os três grupos analisados nota-se que, numa primeira análise, eles foram semelhantes àqueles observados quando do cômputo dos índices a partir das fichas de características de madeiras (estudos do IPT).

A análise dos índices merece estudo estatístico mais aprofundado. De qualquer forma, os três índices analisados foram sensíveis às diferenças existentes entre as séries dentro de um mesmo grupo.

Quadro 21 – Índices de desempenho das séries de dormentes  
Lauraceae e Vochysiaceae

Grupo	Série	Índices de desempenho		
		$I_1$	$I_2$	$I_3$
<i>Lauraceae</i>	S1	1,62	18,90	36,92
<i>Lauraceae</i>	S2	0,66	17,20	39,01
<i>Lauraceae</i>	D3	1,97	32,12	69,77
<i>Lauraceae</i>	D4	3,26	24,26	56,61
<i>Lauraceae</i>	D6	1,47	25,83	59,08
<i>Lauraceae</i>	D7	2,51	29,40	66,78
<i>Lauraceae</i>	D10	1,53	21,32	75,17
<i>Lauraceae</i>	D11	1,15	29,67	63,03
	máx	3,26	32,12	75,17
	min	0,66	17,20	36,92
	méd	1,77	24,84	58,30
	d. padrão	0,81	5,40	13,85
	C.V.(%)	45,76	21,75	23,76
<i>Vochysiaceae</i>	S5	0,63	15,63	32,46
<i>Vochysiaceae</i>	S6	1,26	17,78	33,62
<i>Vochysiaceae</i>	S7	1,23	17,23	31,20
<i>Vochysiaceae</i>	S9	1,53	18,50	30,56
<i>Vochysiaceae</i>	S11	1,25	16,24	29,97
<i>Vochysiaceae</i>	S12	0,96	15,24	30,26
<i>Vochysiaceae</i>	D1	2,78	30,61	49,03
<i>Vochysiaceae</i>	D2	2,19	22,76	51,69
<i>Vochysiaceae</i>	D8	1,25	20,34	52,20
<i>Vochysiaceae</i>	D9	1,97	25,05	45,24
<i>Vochysiaceae</i>	D12	2,35	31,64	52,36
	máx	2,78	31,64	52,36
	min	0,63	15,24	29,97
	méd	1,58	21,00	39,87
	d. padrão	0,66	5,84	10,03
	C.V.(%)	41,45	27,80	25,16

Quadro 22 – Índices de desempenho das séries de dormentes  
Eucalipto citriodora

Grupo	Série	Índices de desempenho		
		$I_1$	$I_2$	$I_3$
<i>Eucalipto citriodora</i>	E1	1,99	36,18	56,44
<i>Eucalipto citriodora</i>	E2	2,35	37,29	60,05
<i>Eucalipto citriodora</i>	E3	2,54	48,28	55,86
<i>Eucalipto citriodora</i>	E4	3,15	57,29	64,08
<i>Eucalipto citriodora</i>	E5	2,53	44,84	58,83
<i>Eucalipto citriodora</i>	E6	2,30	49,70	55,61
<i>Eucalipto citriodora</i>	E7	2,68	51,16	55,81
<i>Eucalipto citriodora</i>	E8	3,04	46,61	64,98
<i>Eucalipto citriodora</i>	E9	2,29	41,26	55,65
<i>Eucalipto citriodora</i>	E10	1,38	40,44	54,20
<i>Eucalipto citriodora</i>	E11	2,23	39,35	53,59
<i>Eucalipto citriodora</i>	E12	3,55	50,41	56,60
<i>Eucalipto citriodora</i>	E13	3,84	47,57	49,39
<i>Eucalipto citriodora</i>	E14	4,96	52,04	60,77
<i>Eucalipto citriodora</i>	E15	2,96	51,71	68,79
<i>Eucalipto citriodora</i>	E16	2,47	47,01	51,52
<i>Eucalipto citriodora</i>	E17	2,72	37,78	54,86
<i>Eucalipto citriodora</i>	E18	3,08	48,00	56,89
<i>Eucalipto citriodora</i>	E19	2,67	62,98	77,62
<i>Eucalipto citriodora</i>	E20	3,50	48,07	55,92
<i>Eucalipto citriodora</i>	E21	4,89	44,23	57,53
<i>Eucalipto citriodora</i>	E22	2,27	42,13	67,72
<i>Eucalipto citriodora</i>	E23	3,56	37,28	37,60
<i>Eucalipto citriodora</i>	E24	3,35	53,37	70,17
máx		4,96	62,98	77,62
min		1,38	36,18	37,60
méd		2,93	46,46	58,35
d. padrão		0,84	6,74	7,93
C.V.(%)		28,70	14,50	13,59

Finalizando a análise dos resultados apresentados e discutidos nos itens 6.3 e 6.4 (ensaios em corpos-de-prova e índices de desempenho para os dormentes), no Quadro 23 apresenta-se a classificação obtida por cada uma das séries de cada grupo, quando da consideração das propriedades mecânicas e índices de desempenho estudados.

O Quadro permite, de forma sintética, analisar a proximidade entre os parâmetros considerados, quando o objetivo é uma ordenação das séries no grupo, em ordem crescente de desempenho segundo um quesito considerado (propriedade mecânica ou índice de desempenho).

Quadro 23 – Classificações obtidas pelas séries dentro de seus grupos, de acordo com alguns quesitos (propriedade mecânica ou índice de desempenho)

Grupo	Série	f <sub>c0</sub>	f <sub>H0</sub>	f <sub>H90</sub>	f <sub>c90</sub>	f <sub>t90</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>
Lauraceae	S1	5	7	5	6	7	5	2	1
	S2	3	3	3	2	1	1	1	2
	D3	6	4	4	7	4	6	8	7
	D4	7	6	6	5	8	8	4	3
	D6	1	1	1	1	3	3	5	4
	D7	2	5	8	8	6	7	6	6
	D10	4	2	2	3	5	4	3	8
D11	8	8	7	4	2	2	7	5	
Notas:									
1	Menor valor								
8	Maior valor								
Vochysiaceae	S3	3	4	2	11	9			
	S4	13	6	11	4	15			
	S5	4	12	6	14	1			
	S6	14	15	14	7	11			
	S7	9	3	5	8	6			
	S8	2	13	13	13	7			
	S9	12	8	9	6	8			
	S10	1	9	4	15	4	(*)	(*)	(*)
	S11	5	2	12	2	10			
	S12	7	5	3	1	2			
	D1	15	10	7	10	12			
	D2	8	11	10	9	13			
D8	10	7	8	5	3				
D9	11	14	15	12	14				
D12	6	1	1	3	5				
Notas:									
(*)	Valores descartados								
1	Menor valor								
15	Maior valor								
Eucalypto citriodora	E1	12	16	17	11	12	2	1	12
	E2	6	6	4	3	11	7	3	17
	E3	15	14	13	10	5	10	16	10
	E4	20	22	21	22	13	17	23	19
	E5	9	4	8	6	3	9	10	16
	E6	5	7	3	2	2	6	17	7
	E7	21	18	22	20	6	12	19	9
	E8	8	8	14	13	19	15	11	20
	E9	7	19	11	15	8	5	4	8
	E10	16	15	18	24	1	1	6	5
	E11	4	10	9	5	9	3	5	4
	E12	24	24	20	21	21	20	18	13
	E13	1	2	1	1	14	22	13	2
	E14	13	5	5	7	23	24	21	18
	E15	14	9	24	19	16	14	20	22
	E16	11	17	15	9	7	8	12	3
	E17	17	12	16	12	17	13	4	6
	E18	22	20	19	17	18	16	14	14
	E19	10	21	12	16	4	11	24	24
	E20	18	13	7	14	15	19	15	11
	E21	2	1	2	8	24	23	9	15
	E22	19	11	10	18	10	4	8	21
	E23	3	3	6	4	22	21	2	1
	E24	23	23	23	23	20	18	22	23
Notas:									
1	Menor valor								
24	Maior valor								

Para a análise comparativa das classificações apresentadas pelos diversos quesitos (propriedades mecânicas ou índices de desempenho) do Quadro 23, foi tomada como referência maior de classificação dos dormentes a resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ), aos moldes do que é preconizado pela NBR 7190 (1997).

Ainda, estabeleceu-se que duas classificações, por diferentes quesitos para uma mesma série, seriam consideradas equivalentes quando a diferença entre os dois postos sugeridos por elas fosse, em módulo, menor ou igual a 2. Assim, por essa concepção, o número 3 (classificação 3) estaria próximo do 5 (classificação 5) e distante do 7 (classificação 7), por exemplo.

Analisando-se o panorama de classificações obtido para o grupo das Lauraceae, observa-se que as estimativas dos piores desempenhos no grupo (posição 1) foram equivalentes para as propriedades de dureza (paralela e normal às fibras) e compressão normal – o referencial adotado foi a resistência à compressão paralela ( $f_{c0}$ ). Igual análise conduzida para os melhores desempenhos no mesmo grupo (posição 8) identificou os quesitos dureza (paralela e normal) e o índice de desempenho  $I_2$  como equivalentes.

Para o grupo das Vochysiaceae, a análise ficou comprometida por conta de não estarem disponíveis os resultados para os índices de desempenho das séries. De qualquer forma, para esse grupo não houve equivalência de quesitos nos piores desempenhos (posições 1 e 2) nem no melhor desempenho. Na classificação 3 evidencia-se equivalência para as durezas (paralela e normal), em relação ao referencial de resistência à compressão paralela.

Para o grupo do Eucalipto citriodora, analisando-se as séries com pior desempenho (séries com classificação 1), houve equivalência na série quando os quesitos considerados foram novamente as durezas (paralela e normal às fibras) e a compressão normal às fibras. Para as séries com desempenho intermediário (classificações 3, 4, 21, 22 e 23, por exemplo) notou-se equivalência entre a série do referencial e aquelas sugeridas, no geral, pelos quesitos dureza paralela às fibras, compressão normal às fibras e os índices  $I_2$  e  $I_3$ . Por fim, para o melhor desempenho no grupo (classificação 24) a equivalência de séries se deu somente com a dureza paralela às fibras.

Dessa análise, considerando-se como referencial a resistência à compressão paralela, pode-se, em termos gerais, dizer que o melhor indicador para qualificação das madeiras para dormentes foi a dureza paralela às fibras.

Num segundo nível, fornecendo ainda boas aproximações na qualificação, estariam a dureza normal às fibras e a compressão normal às fibras.

Por fim, considerando-se exclusivamente os índices de desempenho nessa análise, tem-se que aquele que forneceu equivalência de classificação foi o  $I_2$  (Equação 2).

### **6.5 Correlações entre as propriedades físico-mecânicas**

A partir dos valores de resistência nas propriedades dureza (normal e paralela às fibras) e compressão paralela às fibras — reportadas tanto para as umidades de ensaio ( $15\% \leq U \leq 25\%$ ), quanto para a umidade de referência — foram estudadas correlações entre essas variáveis.

Numa análise estatística inicial dos dados, constatou-se que a hipótese básica de normalidade dos dados (Shapiro, 1972) não foi verificada na correlação entre quaisquer das propriedades estudadas e nos dois referenciais de umidade considerados.

Assim, de uma análise mais aprofundada dos dados, conduzida com auxílio de estatísticos, notou-se que o universo de dados provinha de duas populações distintas, sendo uma formada pelos valores de S3-1 a S3-3; S8-1 a S8-3; S10-1 a S10-3; S5-2 e S5-3; D2-2; D9-1 e E16-1 (14 corpos-de-prova) e a outra formada pelo restante dos valores (130 corpos-de-prova).

Dessa forma, o estudo das correlações foi conduzido para os dados da população de 130 corpos-de-prova, adotando-se um nível de significância de 5%.

As Figuras 44 e 45 apresentam as correlações entre a dureza paralela às fibras e a compressão paralela às fibras, para o intervalo de umidades total ( $15\% \leq U \leq 25\%$ ) e para a umidade de referência ( $U=12\%$ ), respectivamente.

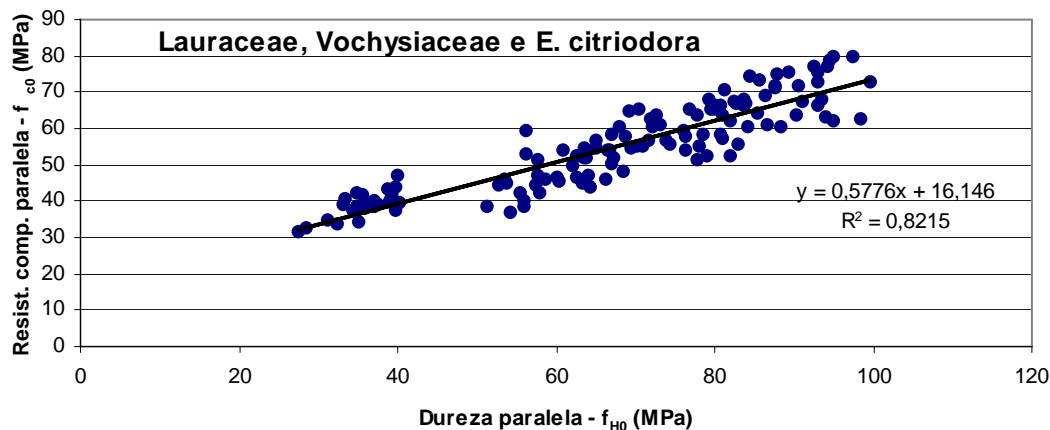


Figura 44 – Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades variáveis nos lotes

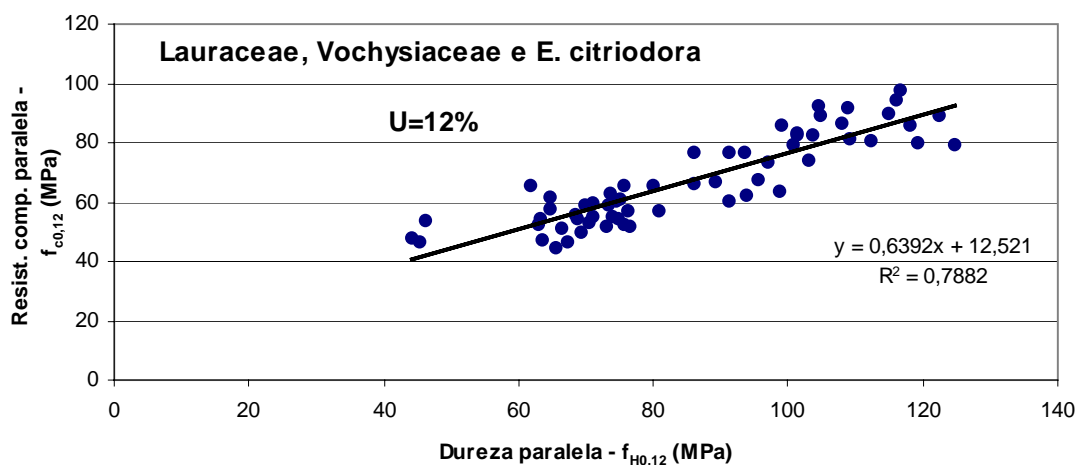


Figura 45 – Correlação entre a dureza paralela às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores corrigidos para a umidade de referência de 12%.

As regressões resultaram mais significativas ( $R^2=0,8215$ ) quando a análise foi conduzida para os 130 exemplares, ignorando-se as diferenças de umidade entre os corpos-de-prova de séries distintas. A correlação entre as propriedades, expressa no gráfico da Figura 44 é válida, portanto, para o intervalo de umidades estudado ( $15\% \leq U \leq 25\%$ ).

Contrariamente, corrigindo-se os valores das duas propriedades para a condição de referência (U=12%), observa-se um coeficiente de determinação inferior para a regressão.

Análise semelhante, conduzida na correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras, revelou os resultados expostos nas figuras 46 e 47.

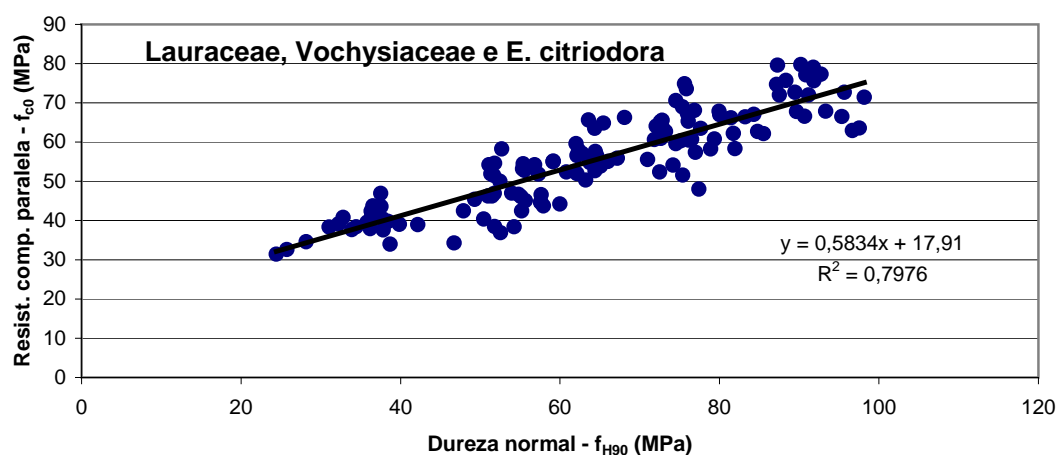


Figura 46 – Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores para umidades variáveis nos lotes

Novamente, da análise conjunta das Figuras 45 e 46, nota-se que seria injustificável a correção dos valores de resistência obtida para a umidade de 12%.

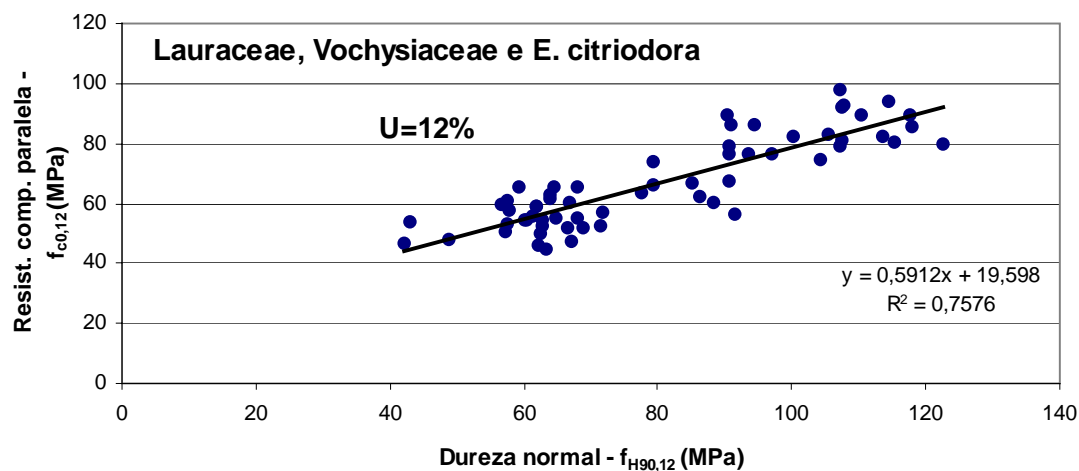


Figura 47 – Correlação entre a dureza normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras – Valores corrigidos para a umidade de referência de 12%.

As correlações obtidas entre a dureza (paralela e normal às fibras) e a resistência à compressão resultaram bastante próximas daquelas representadas nas Figuras 15 e 16. Contudo, para as condições deste estudo, a melhor correlação foi obtida quando da utilização da dureza paralela às fibras como variável independente, contrariamente ao observado no estudo do IBAMA (1993).

Considerando-se que os coeficientes de determinação obtidos resultaram superiores a 70% em todas as situações estudadas, pode-se assumir que a resistência à compressão paralela às fibras dos dormentes pode ser estimada a partir dos resultados de ensaios de dureza (normal ou paralela às fibras).

## 7 CONCLUSÕES

Estudou-se neste trabalho a qualificação mecânica de madeiras para uso como dormente ferroviário.

Atendendo ao objetivo principal da pesquisa e tomando-se como referência maior de qualificação das madeiras para esse fim a resistência à compressão paralela às fibras, a conclusão principal do trabalho é a de que o ensaio (técnica) aplicável ao nível do campo que confere maior semelhança de classificação com o referencial escolhido é o de dureza paralela às fibras. Fornecendo ainda boas aproximações no processo classificatório, poderiam ser adotados os ensaios de dureza normal às fibras e compressão normal às fibras, este último de implementação mais trabalhosa no campo.

Relativamente aos índices de desempenho dos dormentes, estudados como ferramentas de qualificação da madeira, concluiu-se que o índice  $I_2$  forneceu as classificações mais próximas daquelas sugeridas com uso da resistência à compressão paralela às fibras. Esse índice forneceu resultados bastante próximos dos sugeridos pelo índice  $I_3$ . O índice  $I_1$  apresentou-se penalizador das madeiras com densidades mais elevadas.

O trabalho forneceu ainda as seguintes conclusões:

- no tocante à análise visual dos dormentes escolhidos para ensaio os resultados evidenciaram que os defeitos visíveis encontrados com maior incidência na série D - não condicionaram os resultados gerais obtidos;

- a dureza paralela às fibras apresentou boa correlação ( $R^2=0,8215$ ) com a resistência à compressão paralela às fibras — referência maior de classificação estrutural de madeiras;
- o uso da dureza normal às fibras como ferramenta classificatória levou a uma pequena redução no coeficiente de determinação da regressão ( $R^2=0,7976$ );
- nas duas regressões estabelecidas (dureza paralela e dureza normal como variáveis independentes e resistência compressão paralela às fibras como variável dependente) os melhores resultados de correlação foram obtidos quando do uso de lotes de corpos-de-prova com umidades variáveis de 15% a 25%, não se justificando a correção dos valores para a condição de referência ( $U=12\%$ ) para o qual os coeficientes de determinação foram inferiores para a regressão;
- a relação média obtida entre as durezas paralela e normal às fibras foi igual a aproximadamente 1, indicando semelhança das resistências, independentemente da direção de aplicação do carregamento;
- a relação final média obtida entre a resistência convencional à compressão normal às fibras e a resistência à compressão paralela às fibras — no teor de umidade de 12% — foi de 0,22 e 0,24 para os grupos do *E. citriodora* e das Lauraceae, respectivamente, valores que corroboram a relação teórica sugerida entre essas propriedades pela NBR 7190, cujo valor é 0,25.

Na continuidade das pesquisas, entende-se como de fundamental importância o estudo mais aprofundado da variação da dureza paralela às fibras em um mesmo dormente, o desenvolvimento de um equipamento para avaliação dessa propriedade em condições de campo, para recebimento do lote, e a definição das classes de dureza paralela às fibras que seriam correspondentes às classes de resistência definidas pela NBR 7190.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, E.N. Dormentes. In: \_\_ *O eucalipto*. 2.ed. Jundiaí: Oficinas tipográficas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. p.617-36.
- AGUIAR, O.J.R., JANKOWSKY, I.P. *Prevenção e controle das rachaduras de topo em toras de E. grandis*. IPEF, Piracicaba, n°. 33 p.39-46, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7511: *Dormentes de madeira*. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6966: *Madeiras para dormentes* Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: *Projeto de Estruturas de Madeiras*. Rio de Janeiro, 1997.
- BALLARIN, A.W. *Dormentes de madeira: a necessidade de uma revisão normativa*. In: Congresso Internacional de Material Rodante, Via Permanente e seus Acessórios, 1996. *Anais* . CB-06/ABNT, 1996.
- BALLARIN, A.W., FRANCO, N., YOJO, T. *Calificación de maderas brasileñas nativas e de reforestaciones para durmientes*. In: CONGRESO LATINOAMERICANO IUFRO, 1, 1998, Valdivia, Chile. *Actas ...* Valdivia: IUFRO, 1998. (CD-ROM).

- BALLARIN, A.W. *Variação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira de E. citriodora com a umidade*. VI EBRAMEM, 1998, p.231-240, Florianópolis, Santa Catarina.
- BRINA, H.L. *Estradas de ferro: via permanente*. 2.<sup>a</sup> ed.. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1979.
- CVRD – Companhia Vale do Rio Doce – *Especificação técnica DEFS/GEVIS/GAIES*, Vitória, 1999, 1p.
- FERROBAN – Ferrovias Bandeirantes S/A – *Especificação técnica VP/ET/009/99*, Campinas, 1999, 13p.
- INSTITUTO BRASILEIRO do MEIO AMBIENTE e dos RECURSOS RENOVÁVEIS. *Amostragem e propriedades físico-mecânicas de madeiras amazônicas*. Brasília :IBAMA, 1993, Coleção Meio Ambiente – Série estudos floresta, n.º1.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS *Métodos de ensaios adotados no I.P.T. para o estudo de madeiras nacionais* – Boletim n.º 31, 2.ª ed. São Paulo, 1956.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS *Madeiras nacionais: Tabelas de resultados de ensaios físicos e mecânicos*.- (Tabelas em separata da 2.<sup>a</sup> ed. Boletim n.º31, 1956), IPT, 1964.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS *Fichas de características das madeiras brasileiras* 2.ed. São Paulo – Publicação IPT n.º1791, 1989.
- LOGSDON, N.B. *Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira*. Tese de Doutorado, pág.168, São Carlos, 1998.
- REDE FERROVIÁRIA FEDERAL S.A *Justificativa para elaboração de normas para dormentes de madeira* (EVA -15)- RFFSA, 1979. 175 p.
- SHAPIRO, S. S., FRANCA, R.S. An Approximate Analysis of Variance Test for Normality. *Journal of the American Statistical Association*, v.67, p.215, 1972.
- TUSET, R., TAIBO, R.G. *Producción de durmientes de eucalipto*. Montevideo: Facultad de Agronomía, 1987. 36 p. (Boletín de Investigación, 4).