



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**NATHALIA SILVEIRA DE OLIVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DA COR DA MADEIRA DE QUATRO  
ESPÉCIES DOS GÊNEROS *Eucalyptus* E *Corymbia* E SUA  
CORRELAÇÃO COM A DENSIDADE**

**Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> ROSILEI A. GARCIA**  
Orientadora

**SEROPÉDICA, RJ**  
**Julho-2011**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**NATHALIA SILVEIRA DE OLIVEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO DA COR DA MADEIRA DE QUATRO  
ESPÉCIES DOS GÊNEROS *Eucalyptus* E *Corymbia* E SUA  
CORRELAÇÃO COM A DENSIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheira Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> ROSILEI A. GARCIA**  
Orientadora

**SEROPÉDICA, RJ**  
**Julho-2011**

**CARACTERIZAÇÃO DA COR DA MADEIRA DE QUATRO  
ESPÉCIES DOS GÊNEROS *Eucalyptus* E *Corymbia* E SUA  
CORRELAÇÃO COM A DENSIDADE**

Comissão Examinadora

Monografia aprovada em 01 de julho de 2011.

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Rosilei A. Garcia  
UFRRJ/IF/DPF  
Orientadora

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento  
UFRRJ/IF/DPF  
Membro

Prof<sup>a</sup> M.Sc. Natália Dias de Souza  
UFRRJ/IF/DPF  
Membro

*“Plante árvores. Elas nos dão dois dos mais cruciais  
elementos para nossa sobrevivência: oxigênio e livros”  
(A. Whitney Brown)*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, por me permitir tantas vitórias e alegrias, pela oportunidade de estudar, por não me deixar desistir perante as dificuldades, por cuidar de mim nesses cinco anos aqui sozinha, por me tornar Engenheira Florestal.

À minha orientadora, Professora Rosilei, pelo apoio, pela dedicação, pelos ensinamentos e pelo grande exemplo de profissional.

Aos meus queridos e tão amados pais, Salvador e Rosemere pelo incentivo desde muito cedo aos estudos, por toda a assistência prestada por vocês para que eu pudesse concluir essa etapa tão importante da minha e também de suas vidas. Obrigada pelo amor sempre recebido, pela vida, pela família.

À minha irmã Monique, pelo amor e amizade, que este trabalho seja para você mais uma forma de incentivo.

Ao meu Luiz Fabiano, pelo amor, por estar sempre presente e cuidar de mim, pela amizade, dedicação, compreensão na minha ausência, carinho, maravilhosa companhia e por me fazer muito feliz. Eu amo muito você.

Aos meus grandes e eternos amigos, Ana Helena, Flávia, Gabriela e Vinicius pela amizade sincera, pelo companheirismo, irmandade e pelos momentos de felicidade ao lado de vocês.

## RESUMO

Os objetivos deste estudo foram caracterizar a cor da madeira *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden; e determinar sua correlação com a densidade da madeira. Amostras de 30 x 30 x 50 mm foram confeccionadas para a determinação da densidade aparente à 12% de umidade e da cor da madeira. As análises colorimétricas foram realizadas através do sistema CIE-L\*a\*b\* com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d da Konica Minolta. Os resultados indicaram diferenças significativas entre as densidades das espécies estudadas, sendo a madeira de *Eucalyptus paniculata* a mais densa e a madeira de *Eucalyptus grandis* a menos densa. Cada espécie apresentou um padrão de cor, mostrando o potencial da colorimetria na identificação de madeiras. As madeiras mais densas, para as espécies do gênero *Eucalyptus*, são mais escuras (menor L\*) e apresentam mais pigmento vermelho (a\*) e amarelo (b\*). Entretanto, o comportamento foi diferente para o *Corymbia citriodora*, cuja madeira apresentou alta densidade, cor clara e pouco pigmento vermelho. As madeiras mais densas de *Eucalyptus pellita* são mais escuras na seção radial, enquanto que as madeiras mais densas de *Eucalyptus paniculata* apresentaram mais pigmento amarelo (b\*) na seção tangencial.

**Palavras-chave:** colorimetria, *Corymbia citriodora*, densidade da madeira, *Eucalyptus* spp., sistema CIE-L\*a\*b\*.

## ABSTRACT

The objectives of this study were to characterize the wood color of *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. and *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden; and to determine its relationship with wood density. Samples of 30 x 30 x 50 mm were produced in order to determine the wood density at 12% moisture and color. Color analysis were performed on the CIE-L\*a\*b\* system by using the CM 2600d spectrophotometer from Konica Minolta. The results indicated significant differences between wood densities of all species. *Eucalyptus paniculata* wood presented the highest density while *Eucalyptus grandis* wood presented the lowest density. Each species presented a color pattern, showing the potential of colorimetry for wood identification. The denser woods, to the *Eucalyptus* genus, are darker (lower L\*) and present redder (a\*) and more yellow (b\*) hues. However, the behavior was different for *Corymbia citriodora*, whose wood had high density, light color and little red hue. The denser woods of *Eucalyptus pellita* are darker in radial section, while denser woods of *Eucalyptus paniculata* presented more yellow hue (b\*) in tangential section.

**Keywords:** colorimetry, *Corymbia citriodora*, wood density, *Eucalyptus* spp., CIE-L\*a\*b\* system.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo geral.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3.1 Espécies estudadas .....	2
3.1.1 <i>Corymbia citriodora</i> (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson.....	2
3.1.2 <i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.....	3
3.1.3 <i>Eucalyptus paniculata</i> Sm.....	4
3.1.4 <i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden.....	5
3.2 Cor da madeira.....	6
3.2.1 Importância da cor da madeira.....	6
3.2.2 Fatores que afetam a cor da madeira.....	7
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4.1 Material.....	8
4.2 Determinação da densidade aparente.....	9
4.3 Determinação da cor no sistema CIE-L*a*b*.....	9
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
5.1 Densidade da madeira.....	10
5.2 Caracterização colorimétrica da madeira.....	12
5.3 Correlações entre a densidade e as coordenadas de cor da madeira.....	14
6. CONCLUSÕES.....	18
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L.A.S. Johnson (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).....3
- Figura 2.** Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).....4
- Figura 3.** Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus paniculata* Sm. (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).....5
- Figura 4.** Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).....6
- Figura 5.** (A) Amostras de *Eucalyptus paniculata*<sup>(1)</sup>, *Eucalyptus pellita*<sup>(2)</sup>, *Corymbia citriodora*<sup>(3)</sup> e *Eucalyptus grandis*<sup>(4)</sup>. (B) Dimensões das amostras de madeira utilizadas para a determinação da densidade aparente e das coordenadas de cor.....8
- Figura 6.** Diagrama de cromaticidade a\* (eixo verde-vermelho) e b\* (eixo azul-amarelo) no espaço de cor CIE-L\*a\*b\* (Fonte: KONICA MINOLTA SENSING Inc., 1998)...9
- Figura 7.** Densidade aparente das madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.....10
- Figura 8.** Coordenadas de cor para as madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente.....13
- Figura 9.** Correlação entre a densidade e as coordenadas de cor (L\*-radial, L\*-tang., a\*-radial e b\*-radial) para as quatro espécies estudadas.....15
- Figura 10.** Correlação entre a luminosidade (L\*) e a coordenada a\* nas seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente, para as quatro espécies estudadas.....15
- Figura 11.** Correlação entre a densidade e as coordenadas de cor. (A) Correlação entre a densidade e L\*-radial para a madeira de *Eucalyptus pellita*. (B) Correlação entre a densidade e b\*-tang. para a madeira de *Eucalyptus paniculata*.....16
- Figura 12.** Correlação entre as coordenadas cromáticas a\* e b\*, nas seções radial e tangencial. (A) *Eucalyptus paniculata*. (B) *Corymbia citriodora*.....18

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) e valor F obtido pela análise de variância (ANOVA) para a densidade aparente e as coordenadas de cor no sistema CIE-L\*a\*b\* das madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.....11
- Tabela 2.** Análises de correlação linear de Pearson entre a densidade e as coordenadas de cor no sistema CIE-L\*a\*b\* para as quatro espécies.....14
- Tabela 3.** Análises de correlação linear de Pearson entre a densidade e as coordenadas de cor no sistema CIE-L\*a\*b\* para cada espécie.....17

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização das madeiras de reflorestamento, principalmente do gênero *Eucalyptus*, vem crescendo devido ao melhor conhecimento de suas propriedades, à maior divulgação e à crescente preocupação com a preservação das florestas nativas (FERREIRA *et al.*, 2004). Além disso, essas madeiras possuem valor comercial competitivo, comparado às madeiras nativas (VALENÇA *et al.*, 2002).

O gênero *Eucalyptus*, descrito por L'Héritier, pertence à família das Mirtáceas e conta com cerca de seiscentas espécies e grande número de variedades e híbridos. Com exceção de algumas poucas espécies, a grande maioria é originária da Austrália, onde formam densas e vastas florestas (ANDRADE, 1961). Atualmente, as espécies encontram-se bastante disseminadas por quase todas as regiões tropicais e sub-tropicais, encontrando condições extremamente propícias na região centro-sul do Brasil.

O eucalipto apresenta como características gerais do gênero, alburno estreito (menos de 3 cm) e coloração clara. A madeira do cerne pode variar desde um amarelado a bege (*Eucalyptus dunni*, *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*) até tons variando de pardo-avermelhados à vermelhos (*Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus resinifera*), apresentando pouco brilho, grã direita e reversa, textura fina a média; é macia a moderadamente dura ao corte tendo massa específica aparente variando de 0,40 a 1,20 g cm<sup>-3</sup> (MUÑIZ, 2002).

Recentemente, o gênero *Eucalyptus* foi reclassificado devido à estudos baseados na análise filogenética e nas características morfológicas e moleculares. Assim, algumas espécies foram incluídas no gênero *Corymbia* (HILL & JOHNSON, 1995). Neste gênero foram incluídas 113 espécies, entre elas o *Eucalyptus citriodora* Hook., atualmente denominado *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson. NEVES (2008) observou através de estudos de ressonância magnética nuclear de Carbono 13 (RMN de <sup>13</sup>C) que a madeira de *Corymbia citriodora* apresenta estruturas moleculares diferentes daquelas encontradas no gênero *Eucalyptus*, o que confirma a necessidade dessa nova reclassificação para a espécie.

De acordo RIBEIRO (2009), a colorimetria pode ser utilizada para a identificação, caracterização e qualificação da madeira já que a cor está correlacionada com suas propriedades.

O sistema CIE-L\*a\*b\* é o mais utilizado para medição da cor da madeira devido à sua facilidade de interpretação e cálculo de cores diferentes. Segundo HUNTER (1975), o sistema de cor CIE-L\*a\*b\* estima a cor de madeira em três coordenadas: L\* (luminosidade), representando a posição no eixo preto-branco, a qual varia de zero (preto) à 100 (branco); a\*, coordenada cromática, definindo a posição no eixo verde-vermelho; e b\*, coordenada cromática, definindo a posição no eixo azul-amarelo, ambas variando de -60 à +60.

A cor é um dos componentes da estética, que se associa à superfície e ao desenho de uma peça de madeira e sua análise final garante um padrão de qualidade de mercado, exigido mundialmente. Por esta razão, esta propriedade deve ser incorporada à caracterização tecnológica da madeira, para atender aos usos mais nobres desse material (MORI *et al.*, 2005). Segundo MÖTTÖNEN *et al.* (2002), as características da madeira e a homogeneidade da cor tem desempenhado um importante papel para estabelecer os preços da madeira serrada.

A cor pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais tais como espécie, densidade, teor de umidade, composição química, anatomia, tratamentos silviculturais, método de derrubada da árvore, posição da amostra na árvore, altura, diâmetro e idade da árvore (GONÇALEZ, 1993; KLUMPERS *et al.*, 1993; MOSEDALE *et al.*, 1996).

Entre os fatores afetando a cor da madeira está a densidade, propriedade física utilizada como indicador da qualidade da madeira. BURGER & RICHTER (1991) afirmam que, geralmente, as madeiras mais escuras são mais densas e mais resistentes que as madeiras mais claras. Portanto, a colorimetria poderia ser utilizada como uma ferramenta no controle de qualidade da madeira.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar a cor da madeira de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden; e determinar sua correlação com a densidade da madeira.

### 2.2 Objetivos específicos

- Determinar a densidade aparente das quatro espécies estudadas;
- Caracterizar a cor da madeira dessas espécies, através do sistema CIE-L\*a\*b\*, e determinar a sua variação entre as espécies visando verificar o potencial da colorimetria como uma ferramenta para a identificação da madeira;
- Determinar as correlações existentes entre a densidade e as coordenadas de cor (L\*, a\* e b\*) da madeira visando verificar o potencial da colorimetria como uma ferramenta na qualificação da madeira.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Espécies estudadas

#### 3.1.1 *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson

A espécie *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson (ex *Eucalyptus citriodora* Hook.) ocorre naturalmente na região central e norte de Queensland (Austrália), estando presente em altitudes variáveis e tolerando períodos secos, não apresentando geadas na zona natural da espécie. A variabilidade de sítios de ocorrência da espécie, em termos de solo e topografia, é constatada observando o desenvolvimento em solos montanhosos, ocasionalmente rasos e com declive acentuado, que apesar da baixa condição de retenção de umidade, possuem nível de fertilidade satisfatório (BARROS & NOVAIS, 1990).

A espécie apresenta tronco ereto com casca lisa e decídua, cinza, branca ou rósea, com porte entre 15 e 30 m de altura. A Figura 1 apresenta o aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Corymbia citriodora* (LORENZI *et al.*, 2003).

A espécie é amplamente cultivada para reflorestamentos e para extração de óleo essencial das folhas para a indústria de perfumaria e desinfetantes. Sua madeira é dura, de fácil trabalhabilidade, de cor marrom, sendo utilizada na fabricação de móveis e na construção civil (LORENZI *et al.*, 2003).

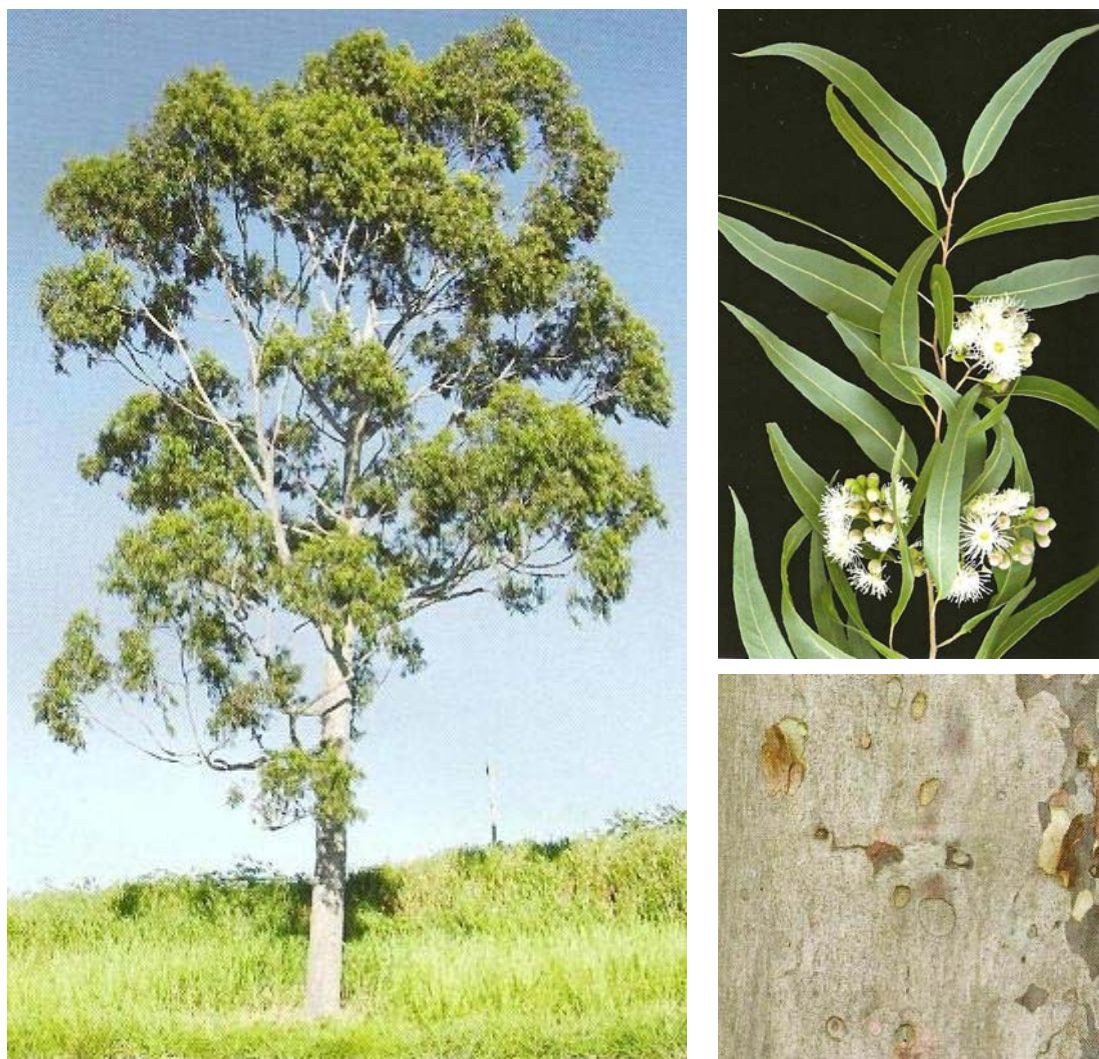


Figura 1. Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L.A.S. Johnson (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).

### 3.1.2 *Eucalyptus pellita* F. Muell

A espécie *Eucalyptus pellita* F. Muell, é originária da Austrália. As condições de ocorrência natural variam em altitude, do nível do mar até 800 m, apresentando temperatura e umidade relativamente elevadas, não havendo período de seca severo e a presença de geadas é rara ou inexistente (FERREIRA, 1979; LORENZI *et al.*, 2003).

As plantas são muito rústicas com rápido crescimento, alcançando alturas que variam de 10 a 30 m, com tronco ereto e casca espessa, fibrosa e persistente, de cor cinza ou marrom avermelhada. A Figura 2 apresenta o aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus pellita* (LORENZI *et al.*, 2003).

Segundo LORENZI *et al.* (2003), a madeira é vermelha-escura, resistente, sendo apropriada para a construção civil e também para o reflorestamento de áreas degradadas por mineração.



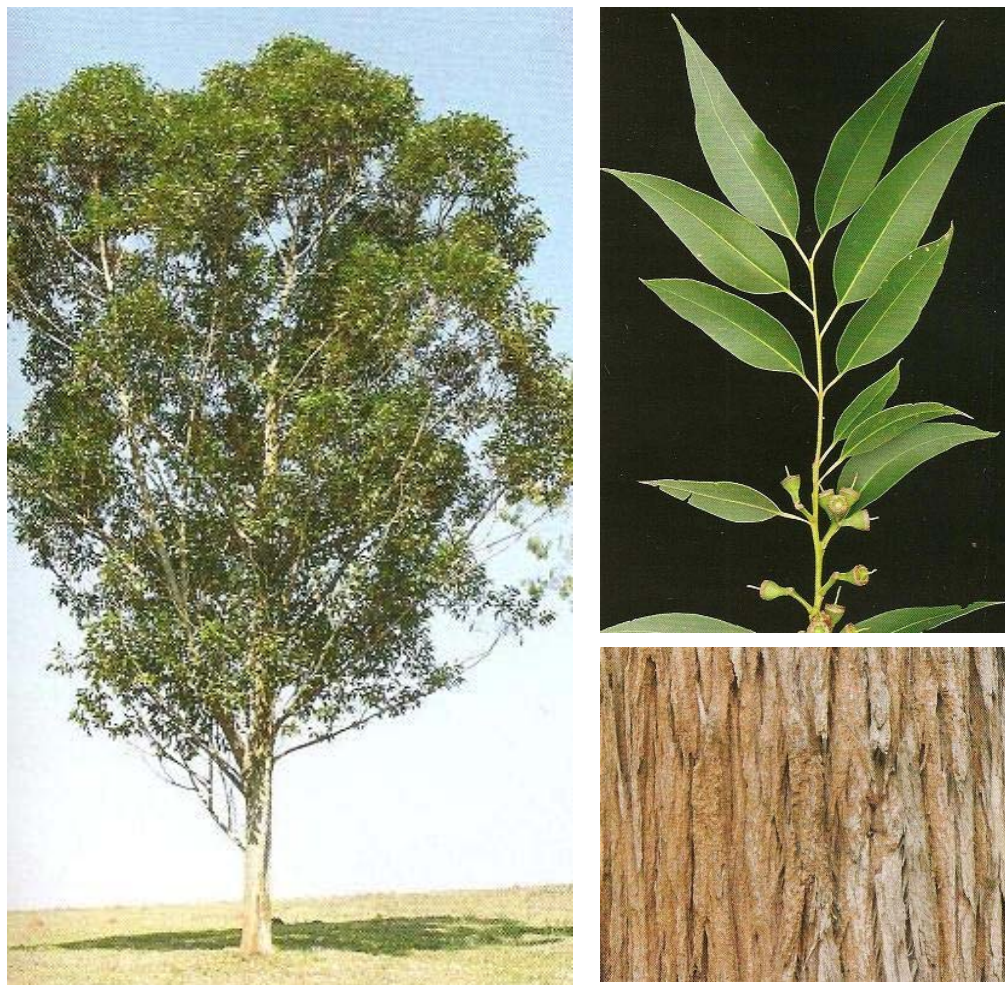


Figura 2. Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).

### 3.1.3 *Eucalyptus paniculata* Sm.

A área de ocorrência natural do *Eucalyptus paniculata* Sm. estende-se pela costa sul de Queensland e Nova Gales do Sul (Austrália). As árvores crescem formando povoamentos puros ou associados com *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus resinifera* Smith e *Eucalyptus maculata* Hook. A espécie necessita de 800 a 1200 mm de precipitação anual e adapta-se em países de clima quente e úmido, tal como o Brasil, com desenvolvimento satisfatório. Ela adapta-se à uma grande variedade de solos, desde os mais férteis aos mais pobres, arenosos ou argilosos. A espécie apresenta crescimento rápido, com 40 m<sup>3</sup>/ha/ano, sendo mais cultivada nas regiões sul e sudeste do Brasil (GALVÃO, 1982; LORENZI *et al.*, 2003; MANGIERI & DIMITRI, 1958).

A espécie apresenta tronco ereto e cilíndrico revestido por casca grossa, rugosa e profundamente fendida, com cor cinza-escura. A Figura 3 apresenta o aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus paniculata*. As árvores apresentam altura variando entre 25 e 35 m (LORENZI *et al.*, 2003). Sua madeira é dura, resistente e pesada, de cor castanho-clara a vermelho-escuro, flexível e de difícil trabalhabilidade, sendo usada para obras de marcenaria, postes, estacas e na construção em geral (LORENZI *et al.*, 2003).



Figura 3. Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus paniculata* Sm. (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).

### 3.1.4 *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden

As áreas de ocorrência natural dessa espécie ficam no sudeste da Austrália, regiões central e costeira, onde a precipitação pluviométrica é predominante no verão, não ultrapassando 3 meses secos e com geadas esporádicas nas regiões mais interiores. É encontrada, geralmente em baixadas ou nas partes baixas de vales associados às florestas pluviais, em solos com capacidade de armazenamento boa, geralmente férteis, profundos e bem drenados (BARROS & NOVAIS, 1990).

A espécie apresenta um tronco retilíneo com casca pulverulenta, desprendendo-se em tiras longas deixando aparecer em baixo uma superfície lisa de cor branca, acinzentada, esverdeada ou salmão, e sua altura varia de 20 a 30 m de altura. A Figura 4 apresenta o aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus grandis* (LORENZI *et al.*, 2003).

A madeira é marrom-rosada, sendo considerada leve, de fácil trabalhabilidade, amplamente utilizada para celulose em muitos estados do Brasil, construção e caixotaria. A espécie é adequada para reflorestamento, plantio em lugares inundados e fixação de barrancos de rios devido as suas raízes profundas (GOLFARI & MOOSMAYER, 1980; LORENZI *et al.*, 2003).



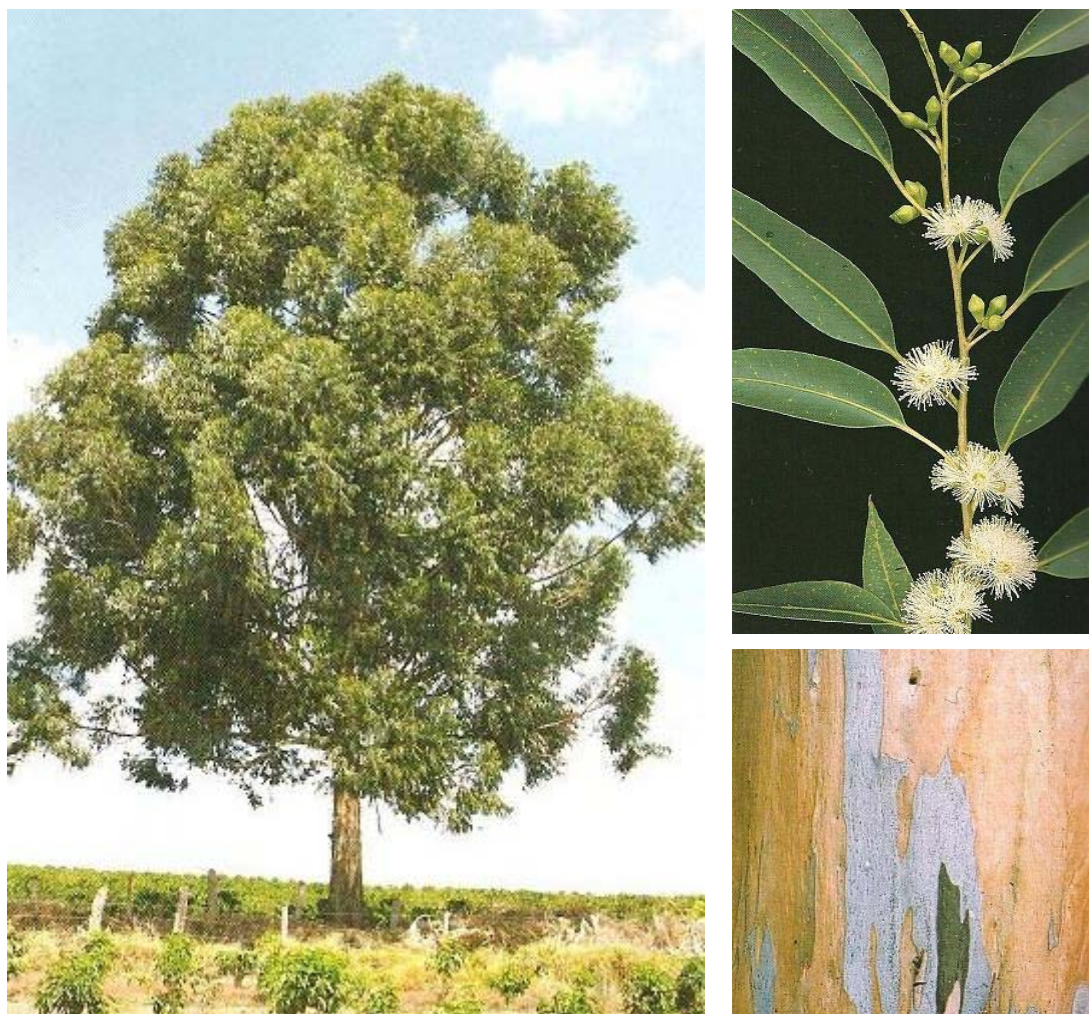


Figura 4. Aspecto da árvore, das folhas e da casca de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (Fonte: LORENZI *et al.*, 2003).

## 3.2 Cor da madeira

### 3.2.1 Importância da cor da madeira

A cor da madeira é uma característica importante para a comercialização de diversos produtos tais como móveis e laminados decorativos (JANIN *et al.*, 2001). GONÇALES & MACEDO (2003) afirmam que a cor é o atributo de maior impacto visual, se sobrepondo às demais características de um produto, já que é o primeiro elemento de contato que se tem de uma matéria, podendo indicar de forma imediata sua finalidade e aceitação. Quando associada à outras características organolépticas tais como textura e desenho, a cor da madeira facilita a identificação da espécie e indica a melhor forma de utilização da madeira.

Apesar da cor ser uma característica tão importante quanto às propriedades físicas e mecânicas da madeira, ela não tem sido freqüentemente discutida em relação às demais características tais como propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas. Segundo NISHINO *et al.* (2000), conhecimentos sobre a relação da cor com outras características físicas da madeira, pode contribuir para a compreensão do comportamento da cor. Essas relações podem ser aplicadas para determinar uma utilização mais adequada para determinadas espécies.



### 3.2.2 Fatores que afetam a cor da madeira

A cor da madeira pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais, sendo este o mais importante em termos de impacto na variação da cor (RINK, 1987). A cor natural da madeira depende de vários fatores tais como espécie, densidade, teor de umidade, teor de extrativos, taxa de crescimento, idade da árvore e tratamentos silviculturais (KLUMPERS *et al.*, 1993; MOSEDALE *et al.*, 1996; RINK & PHELPS, 1989; SOTELO MONTES *et al.*, 2008).

Segundo MADY (2000) e PANSWIN & ZEEUW (1970), a cor da madeira deriva da composição química das substâncias presentes no xilema: taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas, resinas e óleos entre outros, depositados principalmente no cerne. Essas substâncias conferem cores diferenciadas ao lenho. DESH & DINWOODIE (1993) também afirmam que as cores da madeira são causadas pela quantidade e natureza dos extrativos presentes na parede celular. Por exemplo, a variação da cor da madeira de cerne e alborno pode ser explicada pela variação no teor ou na composição de extrativos produzidos pelas diferentes propriedades do solo ou diferentes condições de crescimento (LIU *et al.*, 2005). GIERLINGER *et al.* (2004) afirmam que a diferença de cor entre cerne e alborno é devido à síntese e ao acúmulo de extrativos durante a formação do cerne, isto é, a cor do cerne é em parte devido às reações de oxidação e polimerização que ocorrem com o envelhecimento da árvore.

Estudos realizados por GIERLINGER *et al.* (2004) mostraram que a cor da madeira está relacionada à presença de extrativos e à composição química da lignina em algumas espécies. Estes autores observaram que a cor vermelha ( $a^*$ ) e a luminosidade ( $L^*$ ) da madeira de *Larix decicua* Mill. estavam correlacionadas com o teor de extrativos, enquanto que o amarelo ( $b^*$ ) estava relacionado à fotoquímica dos principais produtos químicos componentes da madeira, principalmente a lignina.

Algumas dessas substâncias que conferem à madeira uma cor escura são tóxicas para insetos e fungos, o que confere uma maior durabilidade à madeira (BURGER & RITCHER, 1991). OLIVEIRA *et al.* (2005) afirmam que os extrativos que conferem durabilidade natural à madeira são normalmente formados durante a transformação do alborno em cerne, sendo de caráter fenólico e polifenólico, que se acumulam nos lumes e nas paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração mais escura do cerne. Como o teor de extrativos afeta a densidade da madeira, supõe-se que as madeiras mais escuras são mais densas e mais duráveis que as madeiras mais claras.

A cor da madeira, entretanto, não é estável, podendo ser alterada após exposição ao meio ambiente (luz, temperatura, umidade, etc) e após às operações de secagem, usinagem e acabamento entre outros fatores. A cor da madeira tende a alterar-se com o passar do tempo, escurecendo devido à oxidação causada principalmente pela luz, que reage com os componentes químicos presentes na parede celular. ROWELL (1990) afirma que a alteração da cor é resultante da ação de múltiplos agentes externos, principalmente das radiações ultravioletas, nos componentes estruturais e nos extrativos da madeira, que provocam a deterioração dos seus elementos constitutivos, destacando-se a lignina. WEBB & SULLIVAN (1964) afirmam que o contato da madeira com a luz pode alterar a sua cor devido à oxidação de certos extrativos.

Quanto ao teor de umidade e à ação do calor, TOVAR *et al.* (2009) verificaram que após a secagem, a cor da madeira variou dependendo das condições climáticas do local de crescimento da árvore, do cronograma de secagem aplicada e da presença de cerne. TOVAR *et al.* (2009) observaram que a coordenada cromática  $a^*$  foi significativamente afetada pela

umidade final da madeira enquanto que a coordenada  $b^*$  foi afetada pelas condições climáticas do local de crescimento da árvore e pelo tipo de secagem. Esses autores observaram que as árvores que cresceram em locais secos produziram uma madeira com menos pigmento amarelo que as árvores provenientes de locais úmidos.

KREBER & HASLETT (1997) relataram que a variação da cor da madeira, após a secagem em *Vochysia guatemalensis* D. Smith pode ser causada pela migração de diferentes precursores de cor tal como os extrativos fenólicos.

RAYMOND & BRADLEY (2002) observaram também que os pigmentos vermelho ( $a^*$ ) e amarelo ( $b^*$ ) diminuíram com o aumento da altura das árvores de *Eucalyptus nitens* H. Deane & Maiden, e que uma estimativa de amarelo ( $b^*$ ) de uma única amostra do cerne pode fornecer uma indicação confiável da cor da árvore inteira.

Além disso, a cor da madeira serrada varia de acordo com os planos de corte transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. BECKWITH (1979) observou que a madeira serrada nos planos radial e tangencial apresentaram uma cor indistinguível, enquanto que no plano transversal, a cor da madeira foi significativamente diferente dos planos longitudinais. RIBEIRO (2009) observou diferenças significativas de cor entre as faces radial e tangencial para a madeira de *Eucalyptus grandis*.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

As espécies utilizadas neste estudo foram *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson (17 anos de idade), *Eucalyptus pellita* F. Muell. (17 anos de idade), *Eucalyptus paniculata* Sm. (65 anos de idade) e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden (23 anos de idade). Foram utilizadas quatro árvores, sendo uma de cada espécie, as quais foram coletadas em um plantio localizado no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) em Seropédica, RJ. Utilizou-se um total de 24 amostras do cerne, sendo 6 de cada espécie, com dimensões de 30 x 30 x 50 mm perfeitamente orientadas nos planos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial (Figura 5). As amostras foram pesadas com o auxílio de uma balança eletrônica e mensuradas com um paquímetro digital Starrett® a fim de determinar a densidade aparente das amostras da madeira.

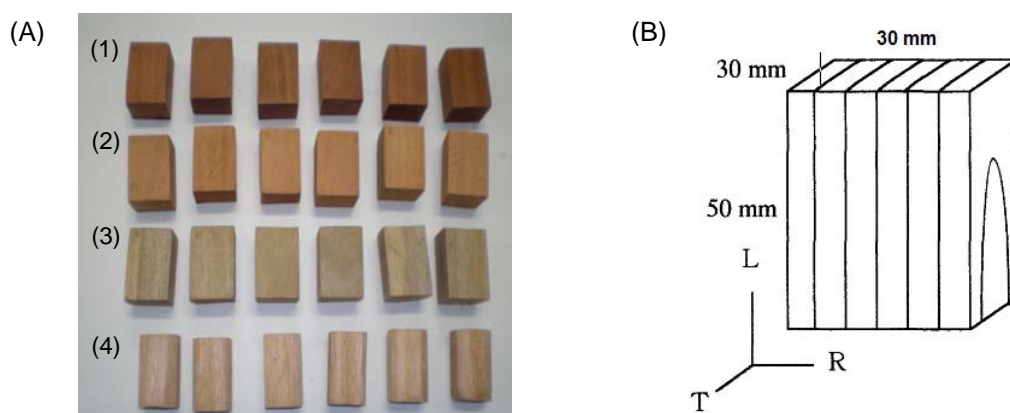


Figura 5. (A) Amostras de *Eucalyptus paniculata*<sup>(1)</sup>, *Eucalyptus pellita*<sup>(2)</sup>, *Corymbia citriodora*<sup>(3)</sup> e *Eucalyptus grandis*<sup>(4)</sup>. (B) Dimensões das amostras de madeira utilizadas para a determinação da densidade aparente e das coordenadas de cor.

#### 4.2 Determinação da densidade aparente

A densidade aparente da madeira das quatro espécies estudadas foi determinada através da seguinte equação:

$$DENS = M/V \quad (1)$$

onde: *DENS*: densidade aparente da madeira à 12% de umidade ( $\text{g cm}^{-3}$ ), *M*: peso da amostra à 12% de umidade (g) e *V*: volume da amostra à 12% de umidade ( $\text{cm}^3$ ).

#### 4.3 Determinação da cor no sistema CIE-L\*a\*b\*

A cor da madeira foi determinada através do sistema CIE-L\*a\*b\*, o qual trabalha com a norma CIE “*Comission International de l’Éclairage*” (1976) e é composto por três coordenadas: L\*, a\* e b\*. A coordenada L\* (luminosidade) representa a posição no eixo preto-branco, variando de zero (preto) à 100 (branco). A coordenada a\* representa a cromaticidade no eixo verde-vermelho, variando entre -60 e +60. Os valores negativos (-a\*) indicam um aumento na cor verde, enquanto que os valores positivos de a\* (+a\*) indicam um aumento na cor vermelha. A coordenada b\* representa a cromaticidade no eixo azul-amarelo, variando também entre -60 e +60, onde os valores negativos e positivos indicam um aumento na cor azul e amarela, respectivamente (Figura 6).

As medições das coordenadas L\*, a\* e b\* foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d (Konica Minolta Sensing, Inc.) disponível no Departamento de Produtos Florestais (Instituto de Florestas, UFRRJ). As medições de cor foram efetuadas através do contato direto da área de visão do aparelho e a superfície da amostra. As condições do equipamento foram: diâmetro de abertura de 3 mm (SAV), iluminante D65 e ângulo de observador de 10°.

Para cada amostra foram efetuadas 10 medições, em pontos equidistantes, sendo 5 medições na seção longitudinal radial (L\*-radial, a\*-radial e b\*-radial) e 5 na seção longitudinal tangencial (L\*-tang., a\*-tang. e b\*-tang.), para cada coordenada. Antes das medições, as amostras foram lixadas com uma sequência de lixas de granulometria de 120 e 220. Os dados coletados pelo espectrofotômetro foram transferidos ao software SpectraMagic NX™ (Konica Minolta) e então exportados para o software Microsoft Office EXCEL para as análises posteriores.

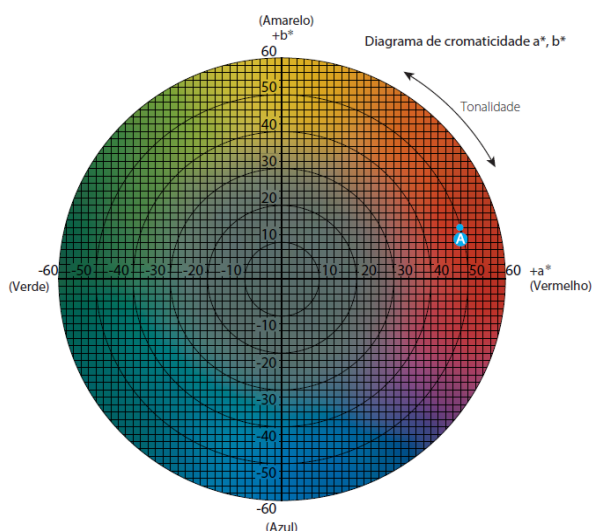


Figura 6. Diagrama de cromaticidade a\* (eixo verde-vermelho) e b\* (eixo azul-amarelo) no espaço de cor CIE-L\*a\*b\* (Fonte: KONICA MINOLTA SENSING Inc., 1998).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Densidade da madeira

Os resultados obtidos para a densidade aparente das madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden são apresentados na Tabela 1. Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa SAS<sup>®</sup> System a fim de determinar as diferenças significativas entre as densidades e as coordenadas L\*, a\* e b\* nas seções radial e tangencial das quatro espécies estudadas.

Para a densidade aparente da madeira, as análises estatísticas indicaram diferenças altamente significativas ( $F = 538,48$ ,  $Pr > F = < 0,0001$ ) entre as médias das quatro espécies (Tabela 1). A madeira de *Eucalyptus paniculata* apresentou a maior densidade ( $1,060 \text{ g cm}^{-3}$ ), seguida das madeiras de *Corymbia citriodora* ( $0,840 \text{ g cm}^{-3}$ ), *Eucalyptus pellita* ( $0,804 \text{ g cm}^{-3}$ ) e *Eucalyptus grandis* ( $0,508 \text{ g cm}^{-3}$ ), respectivamente (Figura 7). Estes resultados são próximos aos valores encontrados por outros autores. De acordo com a literatura, as densidades aparentes (à 15% de umidade) das madeiras de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus grandis* são de  $1,040$  e  $0,500 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente, enquanto que para a madeira de *Eucalyptus pellita*, a densidade aparente (à 12% de umidade) é de  $0,995 \text{ g cm}^{-3}$  (DOMBRO, 2010; IPT, 2003). Para a madeira de *Eucalyptus paniculata*, a densidade básica é de  $1,120 \text{ g cm}^{-3}$  (NEVES *et al.*, 2004).

Apesar dos valores de densidade encontrados neste estudo serem similares aqueles encontrados na literatura, é importante mencionar que a idade das espécies estudadas pode ter influência nos valores de densidade. A maior densidade obtida para a madeira de *Eucalyptus paniculata*, principalmente quando comparada ao *Eucalyptus citriodora*, pode ter sido afetada pela presença de madeira adulta já que esta espécie apresentava uma idade de aproximadamente 65 anos, enquanto que as demais espécies apresentavam idades entre 17 e 23 anos, com predominância de madeira juvenil.

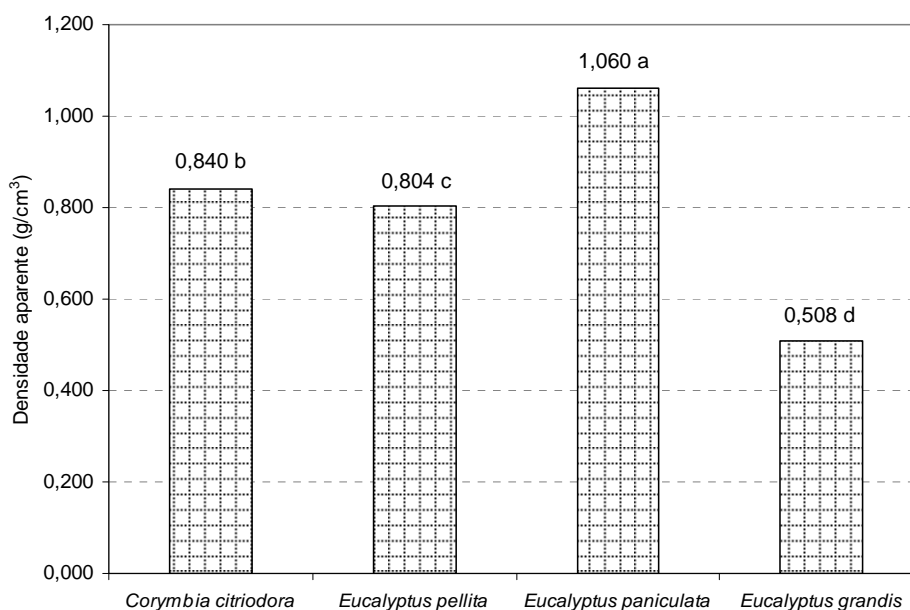


Figura 7. Densidade aparente das madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

Tabela 1. Estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) e valor F obtido pela análise de variância (ANOVA) para a densidade aparente e as coordenadas de cor no sistema CIE-L\*a\*b\* das madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden.

Espécie	DENS (g cm <sup>-3</sup> )	Longitudinal Radial			Longitudinal Tangencial			Cor da madeira <sup>1</sup>
		L*-radial	a*-radial	b*-radial	L*-tang.	a*-tang.	b*-tang.	
<i>Corymbia citriodora</i>	0,840 b (0,02) [2,38]	67,62 b (2,11) [3,12]	6,11 d (0,40) [6,54]	19,95 b (0,49) [2,45]	65,84 b (2,69) [4,08]	5,98 c (1,00) [16,72]	19,07 b (0,55) [2,88]	Cinza-rosada
<i>Eucalyptus pellita</i>	0,804 c (0,02) [2,48]	68,24 b (1,72) [2,52]	15,68 b (0,72) [4,59]	22,28 a (0,39) [1,75]	63,57 b (2,21) [3,47]	16,37 a (0,65) [3,97]	21,23 a (0,60) [2,82]	Rosada
<i>Eucalyptus paniculata</i>	1,060 a (0,01) [0,94]	54,46 c (2,02) [3,71]	17,63 a (0,54) [3,06]	19,79 b (0,65) [3,28]	51,25 c (2,41) [4,70]	16,48 a (0,66) [4,00]	18,09 b (0,66) [3,64]	Marrom- avermelhada
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,508 d (0,01) [1,97]	72,39 a (1,49) [2,06]	10,80 c (0,24) [2,22]	18,03 c (0,82) [4,55]	69,69 a (2,19) [3,14]	10,97 b (1,22) [11,12]	18,63 b (2,66) [14,27]	Rosa- acinzentada
Valor F	538,48** Pr>F <0,0001	33,89** Pr>F <0,0001	413,83** Pr>F <0,0001	37,68** Pr>F <0,0001	22,01** Pr>F <0,0001	97,26** Pr>F <0,0001	2,56* Pr>F <0,0552	-

DENS: densidade aparente à 12% de umidade. L\*: luminosidade variando entre zero (preto) e 100 (branco). a\* e b\*: variáveis cromáticas representando o vermelho (a\*) e o amarelo (b\*), respectivamente. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão e os valores em colchetes ao coeficiente de variação. \*\* Significativo à 99% de probabilidade. \* Significativo à 95% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si segundo o teste de Duncan. <sup>1</sup> Classificação de cor proposta por CAMARGOS (1999).

## 5.2 Caracterização colorimétrica da madeira

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para as análises colorimétricas. Os valores médios de  $L^*$  (luminosidade), apresentados na Tabela 1, mostram que, para ambas as seções radial e tangencial, a madeira de *Eucalyptus grandis* é a mais clara (maior  $L^*$ ), enquanto que a madeira de *Eucalyptus paniculata* é a mais escura (menor  $L^*$ ). As espécies de *Eucalyptus pellita* e *Corymbia citriodora* apresentaram valores de  $L^*$  estatisticamente iguais com valores de 68,24 e 67,62 na seção radial e 63,57 e 65,84 na seção tangencial, respectivamente. Comparando os valores de  $L^*$  entre as seções radial e tangencial para todas as espécies estudadas, os menores valores foram observados na seção tangencial (Tabela 1). Estes resultados estão de acordo com aqueles observados por RIBEIRO (2009) para a madeira de *Eucalyptus grandis*, indicando que na face tangencial a madeira é mais escura (menor  $L^*$ ).

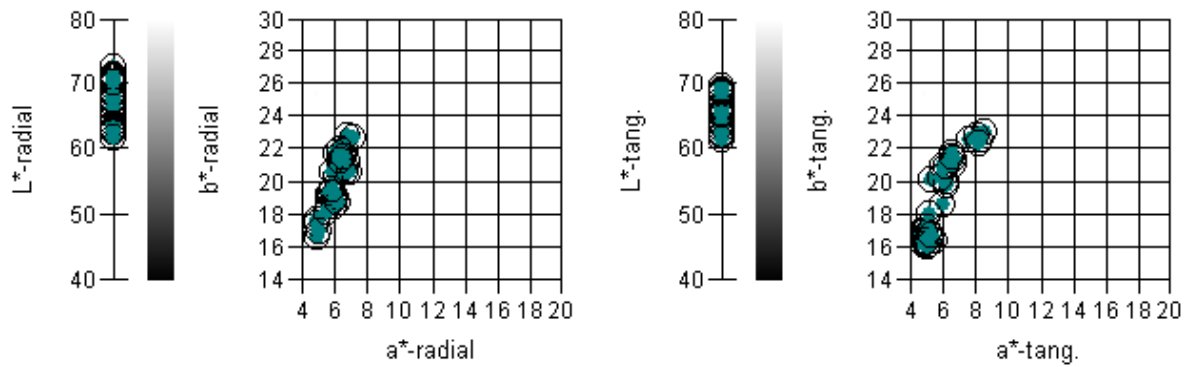
Para a coordenada  $a^*$ , os valores encontrados foram todos positivos e variaram entre 6,11 e 17,63 na seção radial e entre 5,98 e 16,48 na seção tangencial (Tabela 1). Esses valores são encontrados no primeiro quadrante do diagrama de cromaticidade (Figura 6), indicando uma tendência ao vermelho. A coordenada  $a^*$  (vermelho), na seção radial, apresentou valores estatisticamente diferentes para as quatro espécies estudadas, enquanto que, na seção tangencial, a madeiras de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata* apresentaram valores similares (Tabela 1). A madeira de *Eucalyptus paniculata* foi a espécie que apresentou mais pigmento vermelho (maior  $a^*$ ), enquanto que a madeira de *Corymbia citriodora* foi a espécie que apresentou menos pigmento vermelho (menor  $a^*$ ).

Para a coordenada  $b^*$ , os valores variaram entre 18,03 e 22,28 na seção radial e entre 18,09 e 21,23 na seção tangencial, sendo todos positivos e tendendo ao amarelo tal como apresentado no diagrama de cromaticidade (Figura 6). A coordenada  $b^*$  (amarelo) apresentou menores variações entre as espécies estudadas que a coordenada  $a^*$  (vermelho). Na seção radial, a madeira de *Eucalyptus pellita* apresentou mais pigmento amarelo ( $b^*$ -radial = 22,28) quando comparada às demais espécies, enquanto que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou menos pigmento amarelo ( $b^*$ -radial = 18,03). As espécies de *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus paniculata* apresentaram valores de  $b^*$ -radial similares. Na seção tangencial, somente a madeira de *Eucalyptus pellita* apresentou um valor de  $b^*$ -tang. estatisticamente diferente das demais, sendo também a madeira com mais pigmento amarelo (maior valor de  $b^*$ -tang.). Estes resultados indicam que as maiores variações de  $a^*$  e  $b^*$  entre as espécies ocorreram na seção radial.

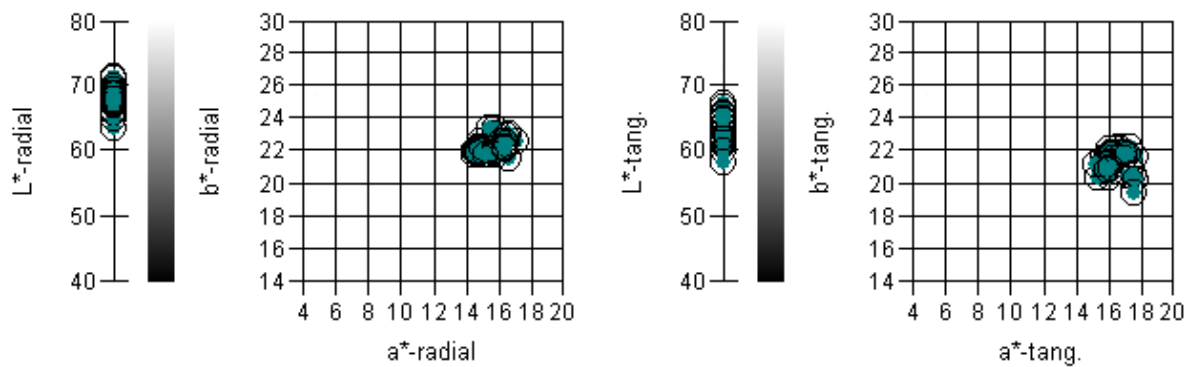
Segundo a classificação proposta por CAMARGOS (1999), as cores das madeiras de *C. citriodora*, *E. pellita*, *E. paniculata* e *E. grandis* podem ser descritas como cinza-rosada, rosada, marrom-avermelhada e rosa-acinzentada, respectivamente.

A Figura 8 apresenta a combinação das coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) nas seções radial e tangencial para as espécies de *C. citriodora*, *E. pellita*, *E. paniculata* e *E. grandis*, respectivamente. Pode-se observar que cada espécie apresentou um padrão de cor diferente, indicando que a colorimetria pode ser utilizada como uma ferramenta de suporte para a identificação das espécies. Entretanto, estas comparações devem ser realizadas com precaução, pois a cor pode variar de acordo com as condições climáticas do local de crescimento, densidade, teor de umidade, teor de extrativos, taxa de crescimento, idade da árvore e tratamentos silviculturais (KLUMPERS *et al.*, 1993; MOSEDALE *et al.*, 1996; SOTELO MONTES *et al.*, 2008). Apesar do grande número de fatores afetando a cor, um estudo realizado por VANCLAY *et al.* (2008) sobre a variação da cor da madeira de *E. dunnii* Maiden, mostrou pouca variação entre árvores e dentro da mesma árvore. Estes autores também não encontraram diferenças significativas entre as seções radial e tangencial.

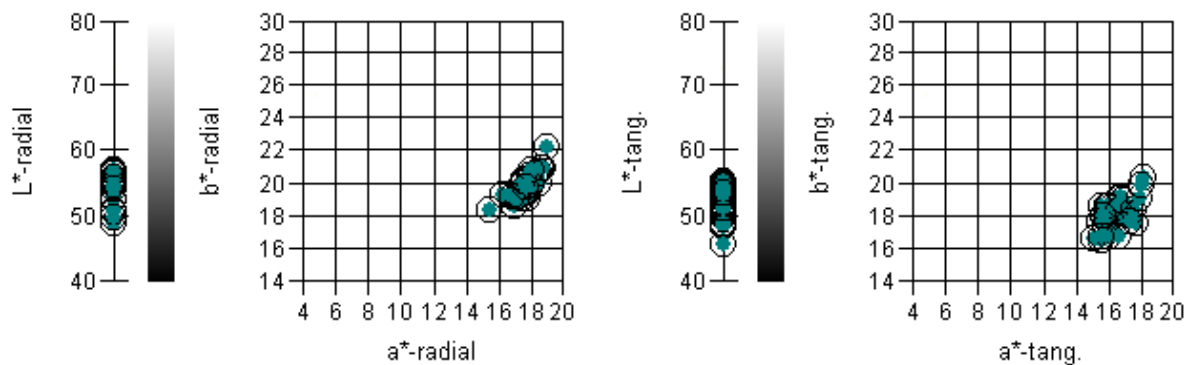
(A) *Corymbia citriodora*



(B) *Eucalyptus pellita*



(C) *Eucalyptus paniculata*



(D) *Eucalyptus grandis*

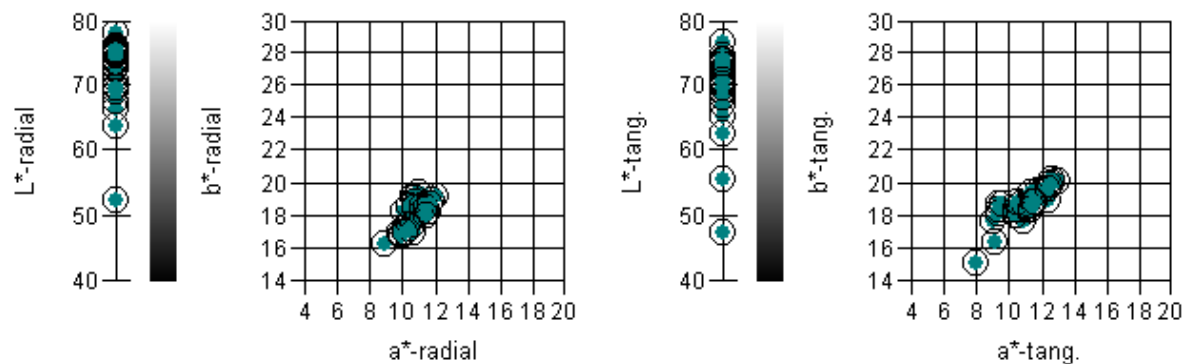


Figura 8. Coordenadas de cor para as madeiras de *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson, *Eucalyptus pellita* F. Muell, *Eucalyptus paniculata* Sm. e *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente.

### 5.3 Correlações entre a densidade e as coordenadas de cor da madeira

A Tabela 2 apresenta as análises de correlação linear de Pearson entre a densidade aparente da madeira e as coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) nas seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, para todas as espécies.

Para a análise de correlação linear de Pearson entre a densidade e as coordenadas de cor, foram observadas significâncias entre: (a) DENS x  $L^*$ -radial: uma correlação negativa significativa ( $r = -0,8857$ ) foi observada entre a densidade e a luminosidade na face radial, isto é, a densidade aumentou à medida que o valor de  $L^*$ -radial diminuiu indicando que, as madeiras mais densas são também as mais escuras (Figura 9A); (b) DENS x  $L^*$ -tang.: uma correlação negativa significativa ( $r = -0,8606$ ) também foi observada entre a densidade e a luminosidade na seção tangencial (Figura 9B); (c) DENS x  $b^*$ -radial: uma correlação positiva significativa ( $r = 0,4074$ ) foi observada entre a densidade e  $b^*$ -radial, indicando que as madeiras mais densas apresentam mais pigmento amarelo (Figura 9C); e (d) DENS x  $a^*$ -radial: uma correlação positiva significativa ( $r = 0,4479$ ) foi observada entre a densidade e  $a^*$ -radial, indicando que as madeiras mais densas apresentam mais pigmento vermelho (Tabela 2). Entretanto, após verificar a dispersão dos dados de densidade em função de  $a^*$ -radial na Figura 9D, observou-se que o modelo de regressão polinomial fornecia uma melhor correlação ( $R^2 = 0,9246$ ). A não-linearidade dos dados ocorreu devido à inclusão do *Corymbia citriodora* na análise, o qual apresentou alta densidade ( $0,840 \text{ g cm}^{-3}$ ) e pouco pigmento vermelho ( $a^*$ ), destacando-se das demais espécies do gênero *Eucalyptus*, nas quais a densidade aumentou à medida que  $a^*$  (vermelho) aumentou.

Para as análises de correlação linear entre as coordenadas de cor, foram observadas significâncias entre  $L^*$  e  $a^*$  para ambas as seções radial e tangencial (Tabela 2). Entretanto, após a análise do gráfico de dispersão (Figura 10A-B), verificou-se que modelo de regressão polinomial fornecia uma melhor correlação com  $R^2 = 0,8437$  e  $R^2 = 0,5480$  para as seções radial e tangencial, respectivamente.

Estes resultados indicam que as madeiras mais densas, para as espécies do gênero *Eucalyptus*, são mais escuras (menor  $L^*$ ) e apresentam mais pigmento vermelho ( $a^*$ ) e amarelo ( $b^*$ ). Entretanto, isso não se aplica a espécie de *Corymbia citriodora*, cuja madeira é densa, de cor clara e com menos pigmento vermelho.

Os resultados obtidos para as análises de correlação também mostraram que, na seção radial, as correlações entre a densidade e as coordenadas de cor são melhores que na seção tangencial, quando se compara todas as espécies. RIBEIRO (2009) também observou que, na face radial, as correlações entre cor e densidade para a madeira de *Eucalyptus grandis* foram melhores.

Tabela 2. Análises de correlação linear de Pearson entre a densidade e as coordenadas de cor no sistema CIE- $L^*a^*b^*$  para as quatro espécies.

		DENS	$L^*$ -radial	$a^*$ -radial	$b^*$ -radial
Longitudinal Radial	$L^*$ -radial	<b>-0,8857**</b>	1		
	$a^*$ -radial	<b>0,4479*</b>	<b>-0,5924**</b>	1	
	$b^*$ -radial	<b>0,4074*</b>	-0,1105	0,3589	1
		DENS	$L^*$ -tang.	$a^*$ -tang.	$b^*$ -tang.
Longitudinal Tangencial	$L^*$ -tang.	<b>-0,8606**</b>	1		
	$a^*$ -tang.	0,3527	<b>-0,5845**</b>	1	
	$b^*$ -tang.	-0,1025	0,2252	0,2649	1

DENS: densidade aparente à 12% de umidade.  $L^*$ : luminosidade variando entre zero (preto) e 100 (branco).  $a^*$  e  $b^*$ : variáveis cromáticas representando o vermelho ( $a^*$ ) e o amarelo ( $b^*$ ). \*\* Significativo à 99% de probabilidade. \* Significativo à 95% de probabilidade.



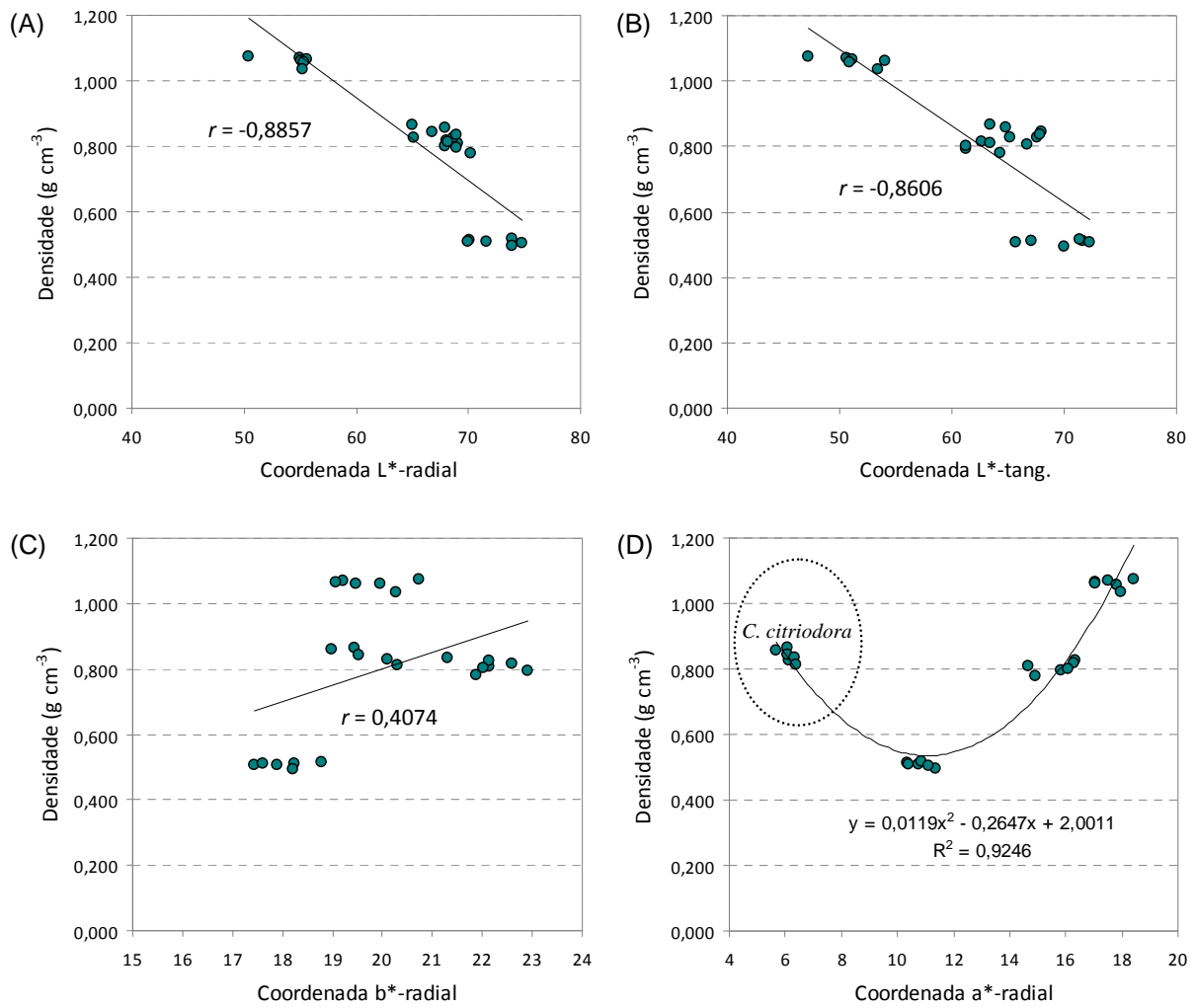


Figura 9. Correlação entre a densidade e as coordenadas de cor (L\*-radial, L\*-tang., b\*-radial e a\*-radial) para as quatro espécies estudadas.

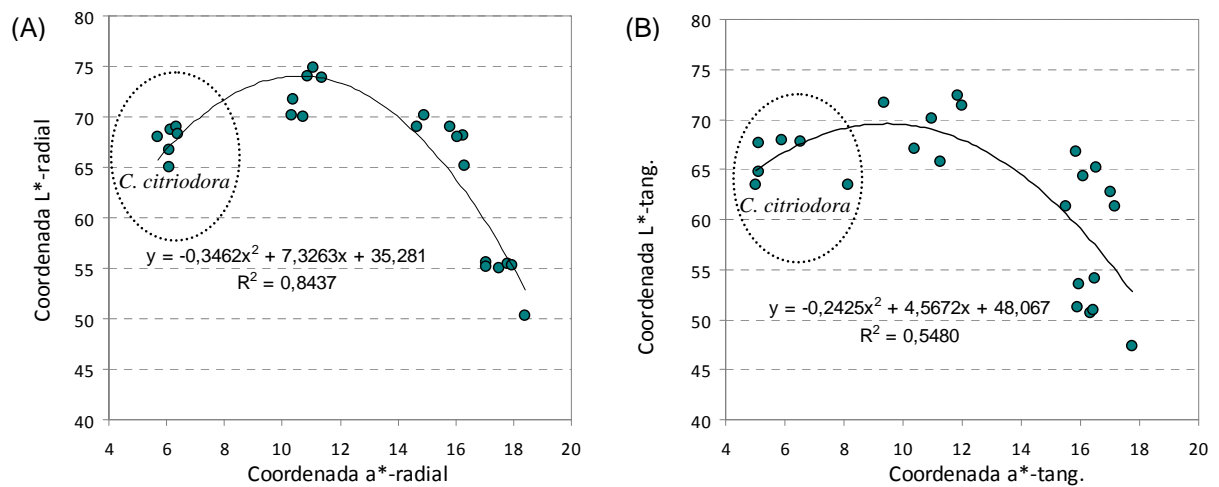


Figura 10. Correlação entre a luminosidade (L\*) e a coordenada a\* nas seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente, para as quatro espécies estudadas.

A Tabela 3 apresenta as análises de correlação linear de Pearson entre a densidade aparente da madeira e as coordenadas de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) nas seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, para cada espécie.

A densidade apresentou uma correlação linear significativa com as coordenadas de cor somente para as espécies de *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata* (Tabela 3). Para o *Eucalyptus pellita*, a densidade da madeira apresentou uma correlação negativa significativa com  $L^*$ -radial ( $r = -0,8629$ ), indicando que as madeiras mais densas dessa espécie são mais escuras (menor  $L^*$ ) na seção radial (Figura 11A).

Para o *Eucalyptus paniculata*, a densidade da madeira apresentou uma correlação positiva significativa com a variável  $b^*$ -tang ( $r = 0,8158$ ), indicando que as madeiras mais densas dessa espécie apresentam mais pigmento amarelo ( $b^*$ ) na seção tangencial (Figura 11B). Estudos realizados por VANCLAY *et al.* (2008) também mostraram correlações significativas entre a densidade e a coordenada  $b^*$  da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden, ou seja, a coordenada  $b^*$  (amarelo) foi inversamente proporcional a densidade da madeira, indicando que as madeiras mais densas dessa espécie apresentavam menos amarelo. As diferentes correlações obtidas entre a densidade e  $b^*$  podem ser explicadas pela cor característica de cada espécie, por exemplo, os resultados obtidos para o *Eucalyptus paniculata* caracterizam uma madeira marrom-avermelhada (Tabela 1), enquanto que a madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden apresenta uma cor bege (LOPES, 2007).

As análises de correlação entre a densidade e as coordenadas de cor indicam que a colorimetria pode ser utilizada como uma ferramenta no controle de qualidade da madeira já que a densidade é um indicador importante da resistência, da dureza e da durabilidade da madeira. Entretanto, cada espécie de madeira terá correlações específicas com as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  devido à cor característica de cada uma.

As diferentes correlações observadas entre as seções radial e tangencial poderiam ser explicadas pela estrutura anatômica da madeira, tais como anéis de crescimento e proporção de cada tipo de célula (vasos, fibras, parênquimas axial e radial). Portanto, estudos anatômicos são recomendados visando um melhor entendimento para estas variações.

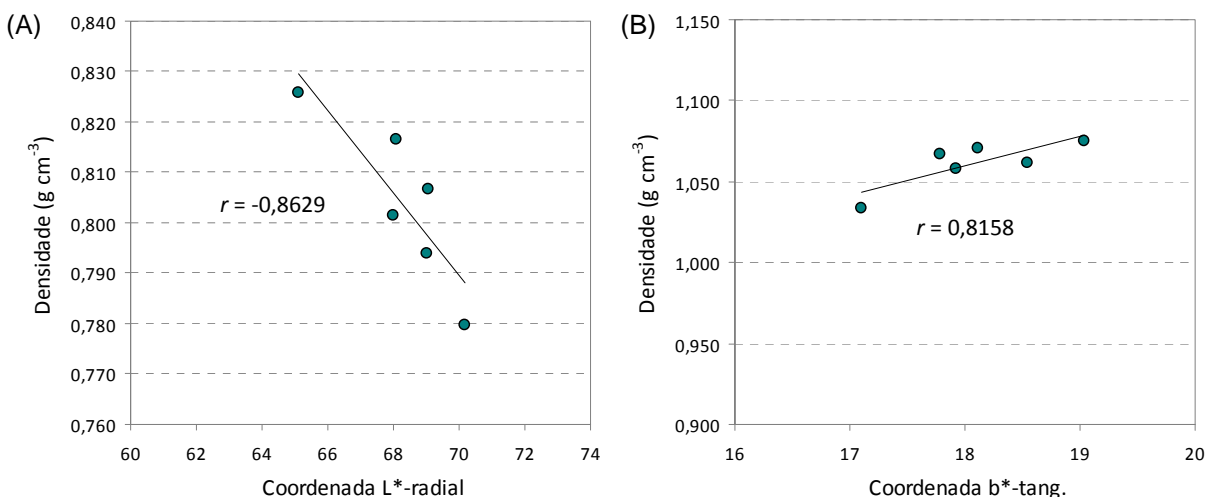


Figura 11. Correlação entre a densidade e as coordenadas de cor. (A) Correlação entre a densidade e  $L^*$ -radial para a madeira de *Eucalyptus pellita*. (B) Correlação entre a densidade e  $b^*$ -tang. para a madeira de *Eucalyptus paniculata*.

Tabela 3. Análises de correlação linear de Pearson entre a densidade e as coordenadas de cor no sistema CIE-L\*a\*b\* para cada espécie.

Espécies	Longitudinal Radial			Longitudinal Tangencial				
		L*-radial	a*-radial	b*-radial	L*-tang.	a*-tang.	b*-tang.	
<i>Corymbia citriodora</i>	DENS	-0,6905	-0,7212	-0,6252	DENS	-0,1639	-0,7771	-0,7752
	L*-radial	1	0,2517	0,5820	L*-tang.	1	-0,1956	0,1513
	a*-radial		1	0,8339*	a*-tang.		1	0,9331**
<i>Eucalyptus pellita</i>	DENS	-0,8629*	0,5901	0,1587	DENS	0,2410	0,4454	0,5762
	L*-radial	1	-0,7122	-0,0030	L*-tang.	1	-0,2705	0,6846
	a*-radial		1	0,3921	a*-tang.		1	-0,1676
<i>Eucalyptus paniculata</i>	DENS	-0,4657	-0,1069	-0,2215	DENS	-0,6765	0,5689	0,8158*
	L*-radial	1	-0,7177	-0,7142	L*-tang.	1	-0,7537	-0,5772
	a*-radial		1	0,9248**	a*-tang.		1	0,8563*
<i>Eucalyptus grandis</i>	DENS	-0,3120	-0,6628	0,2251	DENS	0,0715	-0,0043	-0,0026
	L*-radial	1	0,7501	0,3954	L*-tang.	1	0,1044	0,5681
	a*-radial		1	0,2822	a*-tang.		1	0,7982

DENS: densidade aparente à 12% de umidade. L\*: luminosidade variando entre zero (preto) e 100 (branco). a\* e b\*: variáveis cromáticas representando o vermelho (a\*) e o amarelo (b\*), respectivamente.  
 \*\* Significativo à 99% de probabilidade. \* Significativo à 95% de probabilidade.

Para as análises de correlação de Pearson entre as coordenadas de cor, foram observadas significâncias somente para as madeiras de *Eucalyptus paniculata* e *Corymbia citriodora*. Para o *Eucalyptus paniculata*, foram observadas correlações positivas significativas entre a\*-radial x b\*-radial ( $r = 0,9248$ ) e a\*-tang. x b\*-tang. ( $r = 0,8563$ ), indicando que as madeiras com mais pigmento vermelho (a\*) também apresentam mais pigmento amarelo (b\*) (Figura 12A).

Para o *Corymbia citriodora*, observou-se uma correlação positiva entre as coordenadas cromáticas a\* e b\* para ambas as seções radial ( $r = 0,8339$ ) e tangencial ( $r = 0,9331$ ) (Tabela 3). Entretanto, para a seção tangencial, obteve-se uma correlação melhor entre as variáveis a\*-tang. e b\*-tang. através do modelo de regressão polinomial ( $R^2 = 0,9908$ ) (Figura 12B).

Para o *Eucalyptus grandis* não foram observadas correlações significativas entre as variáveis estudadas.

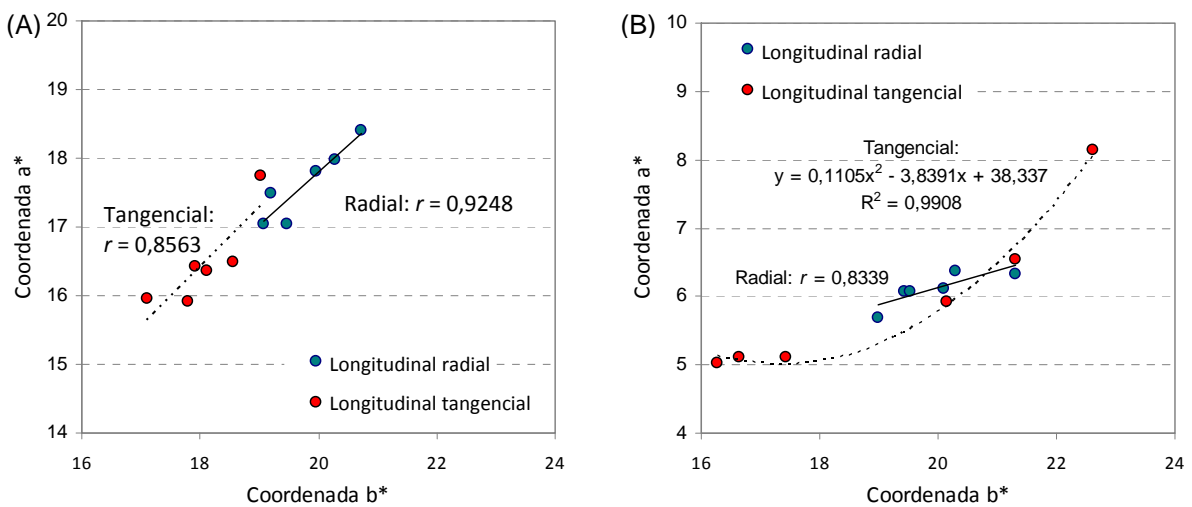


Figura 12. Correlação entre as coordenadas cromáticas a\* e b\*, nas seções radial e tangencial. (A) *Eucalyptus paniculata*. (B) *Corymbia citriodora*.

## 6. CONCLUSÕES

- As espécies estudadas apresentam densidades da madeira estatisticamente diferentes entre si;
- Cada espécie apresentou um padrão de cor, indicando que a colorimetria pode ser utilizada como uma ferramenta de suporte para a identificação de madeiras;
- As madeiras mais densas, para as espécies do gênero *Eucalyptus*, são mais escuras (menor L\*) e apresentam mais pigmento vermelho (a\*) e amarelo (b\*). Entretanto, isso não se aplica a espécie de *Corymbia citriodora*, cuja madeira é densa, de cor clara e com menos pigmento vermelho;
- As análises de correlação, para cada espécie, mostraram que:
  - As madeiras mais densas de *Eucalyptus pellita* são mais escuras (menor L\*) na seção radial;
  - As madeiras mais densas de *Eucalyptus paniculata* apresentaram mais pigmento amarelo (b\*) na seção tangencial.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, E. N. **O eucalipto**. 2 Ed., Jundiaí: Cia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 667 p.
- BARROS, N. F. de.; NOVAIS, R. F. **Relações solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, 1990. 330 p.
- BECKWITH, J. R. Theory and practice of hardwood colour measurement. **Wood Sci.**, v. 11, n. 3, p. 169-175, 1979.
- BURGER, M. B.; RITCHER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- CAMARGOS, J. A. A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de um catálogo de cores de madeiras tropicais**. 1999. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.
- DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **Timber-its structure, properties and utilization**. 6 Ed. London: McMillan, 1993. 410 p.
- DOMBRO, D. B. ***Eucalyptus pellita*: Amazonia Reforestation's red mahogany**. Planeta Verde Reforestación S.A., 2010. 8 p.
- FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **IPEF Circular técnica**, n. 47, 1979. 17 p.
- FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 10-21, 2004.
- GALVÃO, F. **Informações dendrológicas sobre alguns eucaliptos indicados para a Região Sul do Brasil**. Curitiba: Universidade Federal Paraná. 1982. 50 p.
- GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRADNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L.E. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, v. 18, p. 102-108, 2004.
- GOLFARI, L.; MOOSMAYER, H. **Manual de reflorestamento do Estado do Rio de Janeiro**. IBDF, 1980. 380 p.
- GONÇALEZ, J. C. **Caractérisation technologique de quatre espèces peu connues de la Forest Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 1993. 445 p. Tese (Doutorado) – École Nationale de Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Université de Nancy I, Nancy.
- GONÇALES, J. C.; MACEDO, D. G. Colorimetria aplicada a madeira de eucalipto. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 2003. p. 81-95.

HILL, K. D.; JOHNSON, L. A. S. **Systematic studies in eucalyptus**. 7. A revision of the bloodwoods genus *Corymbia* (Myrtaceae). **Telopea**, v. 6, p. 173-505, 1995.

HUNTER, R. S. **The measurement of appearance**. New York: A. Wiley-Interscience publication, Wiley and Sons, 1975.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/ SVMA: SindusCon-SP, 2003. 59 p.

JANIN, G.; GONÇALEZ, J.; ANANIAS, R.; CHARRIER, B.; FERNANDES, G.; DILEM, A. Aesthetics appreciation of wood colour and patterns by colorimetry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab System. **Maderas: Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 3, p. 3-13, 2001.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. **Comunicação precisa da cor: Controle de qualidade da percepção à instrumentação**. 1998. 59 p.

KREBER, B.; HASLETT, A. N. A study of some factors promoting kiln brown-stain formation in radiata pine. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 55, p. 215-220, 1997.

KUMPLERS, J.; JANIN, G.; BECKER, M. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. **Annales des Sciences Forestières**, Paris, v. 50, n. 1, p. 403- 409, 1993.

LIU, S.; LOUP, C.; GRIL, J.; DUMONCEAUD, O.; THIBAUT, A.; THIBAUT, B. Studies on European beech (*Fagus sylvatica* L.). Part 1: Variations of wood color parameters. **Annals Forest Science**, v. 62, p. 625-632, 2005.

LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria**. 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas**. São Paulo: Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2003, p. 263-291.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE-AM, 2000. 212 p.

MANGIERI, H. R.; DIMITRI, M. J. **Los eucaliptos en la silvicultura**. Buenos Aires: Ed. Acme, 1958. 226 p.

MORI, C. L. S. O. de; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; TRUGILHO, P. F.; GONCALEZ, J. C. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 137-146, 2005.

MOSEDALE, J. R.; CHARRIER, B.; JANIN, G. Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). **Forestry**, v. 69, n. 2, p. 111-124, 1996.

MÖTTÖNEN, K.; ALVILA, L.; PAKKANEN, T. CIELab Measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver Birch wood. **Scandinavian Journal Forest Research**, v. 17, p. 179-191, 2002.

MUÑIZ, G. I. B. Fatores que limitam a utilização da madeira de *Eucalyptus*. In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: AVANÇOS CIENTÍFICOS E TECNOLÓGICOS, 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 30-63.

NEVES, K. M. **Estudo comparativo de classificação da madeira de *Corymbia citriodora* por RMN de <sup>13</sup>C**. 2008. 55 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

NEVES, W. A. A.; COSTA, L. G.; BRAGA, E. P.; VIEIRA, I. G. Chave de identificação de espécies florestais (CIEF). **IPEF**, 2004, <http://www.ipef.br/identificacao/cief/> Acessado em 12/05/2011.

NISHINO, Y.; JANIN, G.; YAMADA, Y.; KITANO, D. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. **J. Wood Sci.**, v. 46, p. 267-272, 2000.

OLIVEIRA, J. T. S., SOUZA, L. C.; DELLA LÚCIA, R. M.; JÚNIOR, W. P. S. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **R. Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3 Ed. New York: McGraw-Hill, v. 1, 1970.

RAYMOND, C. A.; BRADLEY, A. D. Assessment of wood colour in *Eucalyptus nitens*. **APPITA J**, v. 55, p. 118-122, 2002.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.

RINK, G. Heartwood color and quantity variation in young black walnut progeny test. **Wood Fiber Sci.**, v. 19, p. 93-100, 1987.

RINK, G.; PHELPS, J. E. Variation in heartwood and sapwood properties among 10-year-old black walnut trees. **Wood Fiber Sci.**, v. 21, p. 177-182, 1989.

ROWELL, R. M. Chemical modification of wood: it's application to composite products. **FRI Bulletin**, Bogor, n. 153, p. 57-67, 1990.

SOTELO MONTES, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAULIEU, J.; WEBER, J. C. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of

*Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **New Forests**, v. 35, p. 57-73, 2008.

TOVAR, D. A.; MOYA, R.; TENORIO, C. Wood color variation in undried and kiln-dried plantation-grown lumber of *Vochysia guatemalensis*. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 11, n. 3, p. 207-216, 2009.

VALENÇA, A. C. V.; PAMPLONA, L. M. P.; SOUTO, S.W. Os novos desafios para a indústria moveleira no Brasil. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 15, p. 83-96, 2002.

VANCLAY, J. K.; HENSON, M.; PALMER, G. Color variation and correlations in *Eucalyptus dunnii* sawnwood. **J. Wood Sci.**, v. 54, p. 431-435, 2008.

WEBB, D. A.; SULLIVAN, J. D. Surface effect of light and water on wood. **Forest Prod. J.**, Madison, v. 14, p. 531-534, 1964.