

## RESISTÊNCIA AO INTEMPERISMO ARTIFICIAL DE QUATRO MADEIRAS TROPICAIS: O EFEITO DOS EXTRATIVOS

### RESISTANCE TO ARTIFICIAL WEATHERING OF FOUR TROPICAL WOODS: THE EFFECT OF THE EXTRACTIVES

Cynara Caroline Kern Barreto<sup>1</sup> Tereza Cristina Monteiro Pastore<sup>2</sup>

#### RESUMO

As madeiras tropicais: garapeira (*Apuleia leiocarpa*), tauari (*Couratari stellata*), itaúba (*Mezilaurus itauba*) e marupá (*Simarouba amara*) foram selecionadas para examinar o efeito da presença dos extrativos na variação de cor e no processo de fotodecomposição das suas superfícies. Amostras com e sem extrativos foram submetidas a ciclos de radiação ultravioleta (350 nm) e água até totalizar 2.000 horas de irradiação e 400 horas de lixiviação. A mudança da cor natural das madeiras foi monitorada por espectrocolorimetria de reflexão difusa. Amostras de marupá e tauari com teores de extrativos menores que 2% exibiram variação de cor com o aumento do tempo de tratamento quase iguais às amostras sem extrativos. A resistência anormal do tauari à alteração de cor não pode ser atribuída aos seus extrativos. Para a garapeira e para a itaúba, a presença de 11,7 e 7,42% de extrativos respectivamente acelerou a velocidade de variação de cor. A análise dessas variações de cor indica que os extrativos, nesse caso, agiram acentuando a cor natural da madeira. Adicionalmente, verificou-se que o tauari foi a madeira mais resistente à variação de cor do grupo estudado, seguido pela garapeira, marupá e itaúba todas com extrativos.

**Palavras-chave:** cor; sistema CIE-L\*a\*b\*; fotodegradação; madeiras tropicais.

#### ABSTRACT

The tropical woods *Apuleia leiocarpa*, *Couratari stellata*, *Mezilaurus itauba* and *Simarouba amara* were selected to examine the effect of the presence of the extractives in the color variation and in the photodecomposition process of their surfaces. Samples with and without extractives were submitted to cycles of ultraviolet radiation (350 nm) and immersion in water until totalizing 2,000 hours of irradiation and 400 hours of water leaching. Changings in the natural wood colors were monitored by diffuse reflectance spectroscopy. Samples of *Simarouba amara* and *Couratari stellata* with extractives content of 2% or less showed color variation with time of treatment almost similar to the samples without extractives. The abnormal resistance of *Couratari stellata* to color changing can not be attributed to extractives. For the *Apuleia leiocarpa* and *Mezilaurus itauba* woods, the presence of 11,7% and 7,42% of extractives compounds, respectively, accelerated the color variation rate. Analysis of the color variation indicated that the extractives, in this case, acted by intensifying the natural wood color. Additionally, it was verified that *Couratari stellata* was the more resistant wood to color variation in this studied group of woods, followed by *Apuleia leiocarpa*, *Simarouba amara* and *Mezilaurus itauba*, all with extractives.

**Keywords:** color; CIE-L\*a\*b\* system; photodegradation; tropical woods.

#### INTRODUÇÃO

A exposição de madeiras ao ar livre dá início a um processo complexo de decomposição física, química e mecânica denominado de intemperismo (FEIST e HON, 1984). Esse processo é causado pela ação combinada do oxigênio, da fração ultravioleta da radiação solar, umidade, poluição atmosférica e vento, que induzem a descoloração e a deterioração física da superfície. Apesar de ser considerado um fenômeno superficial, ocorrendo até 2,0 mm abaixo da superfície (HON, 2001), constituiu um problema para os consumidores de madeira porque, além de modificar a textura, a cor e o brilho (ISHIGURI *et al.*, 2003), também afeta o desempenho dos produtos de proteção aplicados sobre esta (PANDEY e PITMAN, 2002; SILVA e PASTORE, 2007).

1. Bacharel em Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Caixa Postal 4479, CEP 70904-970, Brasília (DF).

2. Bacharel em Química, Dr<sup>a</sup>., Laboratório de Produtos Florestais – LPF, Serviço Florestal Brasileiro, Ministério do Meio Ambiente, Setor de Clubes Esportivo Norte SCEN, Trecho 02, CEP 70818-900, Brasília (DF).  
tereza.pastore@florestal.gov.br

A cor é um fator preponderante no mercado da madeira, muitas vezes, determinando o seu preço final, sobretudo quando servirá de matéria-prima para a manufatura de móveis (GONÇALEZ, 1993) que requer uniformidade e reprodutibilidade do produto final. A cor da madeira não é estável, quando exposta à luz geralmente escurece e, em casos mais raros, clareia (ISHIGURI *et al.*, 2003). Por outro lado, a técnica de modificar a cor natural de madeiras por fotoirradiação deve ser considerada pela indústria moveleira como uma maneira de reduzir o uso de produtos de acabamento com base em compostos orgânicos voláteis (PANDEY, 2005).

A fotodecomposição da madeira tem sido estudada por vários pesquisadores (FEIST e HON, 1984; HON, 2001; NZOKOU e KAMDEM, 2002; MÜLLER *et al.*, 2003; SILVA e PASTORE, 2004). A lignina é tida como primeiro componente polimérico principal a decompor-se e o processo pode ser acompanhado pela diminuição do teor de lignina e pela formação de grupos carbonílicos da superfície (PASTORE, 2004). A degradação da celulose é indicada pela perda de peso e pela redução do grau de polimerização (PANDEY, 2005).

Além dos componentes poliméricos principais presentes na madeira, existe um grupo de compostos variados denominados genericamente de extrativos. Do ponto de vista químico, os extrativos são compostos cromóforos responsáveis por algumas propriedades como cor e odor. Como são altamente absorvedores da radiação solar causam variação de cor da madeira exposta externamente (PANDEY, 2005). Exemplos de compostos extraíveis presentes nas madeiras de folhosas são os terpenos, fenóis, lignanas, taninos, flavonóides, etc. Ishiguri *et al.* (2003) relataram que os compostos fenólicos presentes nos extratos da madeira seriam os responsáveis pela sua foto-descoloração.

Os extrativos das madeiras tropicais brasileiras são muito diversificados, tanto em quantidade como na natureza química. Assim, são encontradas madeiras brancas (marupá: *Simarouba amara*), pretas (pau-santo: *Zollernia parensis*), amarelas (guariúba: *Clarisia racemosa*), marron (castanha-de-cotia : *Acioa edulis*); róseas (quaruba: *Vochysia maxima*) e roxas (roxinho: *Peltogyne paniculata*). Das quase 300 espécies arbóreas caracterizadas pelo Laboratório de Produtos Florestais – LPF (2007), a cor marron prevalece (58%) e as restantes dividem-se em amarelas (14%), brancas (8%), cinzas (8%), vermelhas (5%), rosas (3,7%), sendo as matizes preta, oliva e roxa mais raras (< 1% cada).

A literatura, que correlaciona as cores das madeiras tropicais e a quantidade de extrativos, geralmente localizados na parede celular do cerne, é escassa. Para espécies cultivadas como o *Eucalyptus*, Mori *et al.* (2004) desenvolveram estudo detalhado com diferentes clones e puderam verificar alta correlação entre a quantidade de polifenóis e a coloração das madeiras.

A colorimetria de refletância difusa tem sido a ferramenta mais utilizada para avaliar e acompanhar as mudanças de cor de madeiras causadas pelo intemperismo, secagem, modificação química, etc. (CASTELLAN *et al.*, 1996; GRELEIER *et al.*, 1997; GONÇALEZ *et al.*, 2001; NZOKOU e KAMDEM, 2002; ISHIGURI *et al.*, 2003; PASTORE *et al.*, 2004; SILVA e PASTORE, 2004). Essa técnica se caracteriza especialmente por sua rapidez e por ser não destrutiva, permitindo o monitoramento de processos como o da fotodegradação.

Todas as quatro madeiras selecionadas para serem estudadas são comercializadas no Brasil (LENTINI *et al.*, 2005) e, exceto o marupá, são recomendadas para utilização em ambientes externos, tais como construções civil e naval, pontes, etc. (IBDF, 1983; SOUZA, 1997). Um segundo fator que determinou a seleção da garapeira, do tauari e da itaúba foi o alto teor de sílica encontrado nessas madeiras (RODRIGUES e SANTANA, 2005; RODRIGUES e SANTANA, 2008), o que lhes confere maior rigidez estrutural e maior resistência ao ataque de micro-organismos e insetos (RODRIGUES e SANTANA, 2008).

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito dos extrativos das madeiras garapeira (*Apuleia leiocarpa*), tauari (*Couratari stellata*), itaúba (*Mezilaurus itauba*) e marupá (*Simarouba amara*) quando submetidas ao intemperismo artificial.

## MATERIAL E MÉTODOS

Nos experimentos, foram utilizados discos das madeiras, coletados na base do tronco comercial das árvores, da garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vog) Macchr.), tauari (*Couratari stellata*), itaúba (*Mezilaurus itauba*) e marupá (*Simarouba amara* Aubl.) provenientes da Floresta Nacional do Tapajós (PA), que se encontravam armazenados no LPF/Serviço Florestal Brasileiro/Brasília. A garapeira, itaúba e tauari foram

selecionadas por serem indicadas para uso exterior (IBDF,1983; SOUZA, 1997), e o marupá serviu como padrão de referência por ser de cor branca.

Seis amostras medindo 5,0 x 2,0 x 0,3 cm foram retiradas do cerne do mesmo disco, em sequência da casca para a medula, sendo o comprimento no sentido longitudinal, a largura no sentido tangencial e a espessura no sentido radial. As superfícies de maiores dimensões da amostra, a que foi tratada com radiação UV e a superfície oposta a ela, foram aplainadas e polidas com lixas.

Das seis amostras de cada espécie, três serviram como testemunha, e três foram extraídas com solventes na seguinte sequência: etanol-tolueno 1:2 (v/v), etanol e água, por tempo variável até que o solvente se apresentasse incolor. Em seguida, os corpos de prova foram secos ao ar livre por 20 dias.

O procedimento de simulação ao intemperismo encontra-se descrito em Silva e Pastore (2004), consistindo basicamente de ciclos de 10 horas de irradiação UV, 2 horas de lixiviação em água e secagem ao ar livre das amostras. O tempo total de irradiação foi de 2.000 horas e o de lixiviação foi de 400 horas.

As medidas da cor foram feitas no espectrofotômetro “Datacolor International Microflash 200D” como descrito por Silva e Pastore (2004). O espectro final representa o valor médio de nove medições realizadas em pontos diferentes da superfície das três amostras. As diferenças entre os parâmetros colorimétricos do sistema CIE-L\*a\*b\* de 1976 (BILLMEYER e SATZMAN, 1981) foram usadas para quantificar a mudança total de cor  $\Delta E^*$  por meio da Equação 1.

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (1)$$

Em que:  $\Delta L^*$  = variação da luminosidade (amostra tratada menos testemunha);  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  = variação das coordenadas cromáticas (amostra tratada menos testemunha).

Os sinais positivo e negativo significam:  $+\Delta L^*$  aumento da luminosidade;  $-\Delta L^*$  redução da luminosidade;  $+\Delta a^*$  aumento na cor vermelha;  $-\Delta a^*$  aumento na cor verde;  $+\Delta b^*$  aumento na cor amarela e  $-\Delta b^*$  aumento na cor azul.

Cui *et al.* (2004) utilizaram os valores de variação de cor ( $\Delta E^*$ ) da Tabela 1 para classificar a diferença da cor. Esta tabela foi elaborada por Hikita *et al.* (2001) que se baseou em níveis de percepção.

TABELA 1: Classificação da variação total da cor ( $\Delta E^*$ ) de madeiras.

TABLE 1: Total color variation ( $\Delta E^*$ ) classification of woods.

Variação da cor ( $\Delta E^*$ )	Classificação
0,0 – 0,5	Desprezível
0,5 – 1,5	Ligeiramente perceptível
1,5 – 3,0	Notável
3,0 – 6,0	Apreciável
6,0 – 12,0	Muito apreciável

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cores das espécies relacionadas nas Tabela 2 estão descritas pelo sistema CIE-L\*a\*b\* que determina a cor numericamente, e pelo sistema Munsell que designa o nome da cor (Laboratório de Produtos Florestais, 2007). Ademais, há uma coluna contendo o teor de extrativos e linhas com os valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $\Delta E^*$  para as amostras livres de extrativos.

TABELA 2: Parâmetros da cor natural das amostras com e sem extrativos.

TABLE 2: Natural color parameters of the samples with and without extractives.

Espécie	L*( <sup>1</sup> )	a*( <sup>2</sup> )	b*( <sup>3</sup> )	$\Delta E^*$ ( <sup>4</sup> )	Nome da cor( <sup>5</sup> )	Extrativos ( <sup>6</sup> ) (%)
Garapeira	49,27	6,60	17,38	0,00	Amarelo	11,47
	52,33	5,10	16,73	3,47		Livre
Itaúba	42,97	6,88	17,09	0,0	Marrom-avermelhado-escuro	7,42
	41,81	6,23	13,54	3,79		Livre
Marupá	61,86	3,30	16,39	0,0	Branco-amarelado	1,91
	61,23	3,07	16,44	0,95		Livre
Tauari	47,76	4,28	14,13	0,0	Marrom-amarelado-claro	1,01
	46,82	4,74	14,45	1,04		Livre

Em que: (<sup>1</sup>)L\* = luminosidade; (<sup>2</sup>)a\* = coordenada cromática verde-vermelho; (<sup>3</sup>)b\* = coordenada cromática amarelo-azul; (<sup>4</sup>) $\Delta E^*$  = variação total da cor; (<sup>5</sup>) = Conforme o sistema Munsell de ordenamento de cor (LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2007); (<sup>6</sup>) = Porcentagem de extrativos baseado em peso seco da madeira (SANTANA e OKINO, 2004).

É interessante observar que o processo de extração com solventes e água causou à garapeira, a espécie com maior teor de substâncias extraíveis entre as estudadas, clareamento ou aumento da luminosidade L\* ( $\Delta L^* = +3,06$ ) e também uma diminuição dos valores de a\* ( $\Delta a^* = -1,5$ ) e b\* ( $\Delta b^* = -0,65$ ), que indicam reduções dos teores dos cromóforos vermelhos e amarelos. A mudança da cor da garapeira ( $\Delta E^* = +3,47$ ) causada pela retirada dos extrativos foi classificada como apreciável de acordo com os critérios da Tabela 1.

A mudança total de cor da itaúba ( $\Delta E^* = 3,79$ ) ocorreu sobretudo pela perda do croma amarelo ( $\Delta b^* = -3,55$ ) e também foi classificada como apreciável. Nas outras, duas espécies, com baixos teores de extrativos marupá e tauari, as variações cromáticas e da luminosidade, após a extração, classificaram-se como ligeiramente perceptíveis.

Na Tabela 3, estão contidos os resultados da luminosidade ( $\Delta L^*$ ), após ciclos de tratamento de radiação UV e lixiviação, com o objetivo de acompanhar a evolução das variações.

TABELA 3: Variação da luminosidade ( $\Delta L^*$ ) com o tempo de exposição.TABLE 3: Change in luminosity ( $\Delta L^*$ ) with the exposure time.

Espécie	Candição da amostra	Tempo de irradiação UV (h)										
		0	6	12	20	50	100	200	500	1000	1500	2000
Garapeira	com extrativo	0,00	-0,53	-1,73	-2,00	-2,10	-2,72	-2,66	-3,49	-0,35	1,27	1,30
	sem extrativo	0,00	-0,70	-1,12	-1,24	-1,04	-2,23	-2,87	-3,66	-2,23	-0,71	0,47
Itaúba	com extrativo	0,00	-3,99	-5,67	-5,97	-6,59	-7,36	-7,73	-8,28	-8,37	-7,87	-6,87
	sem extrativo	0,00	-2,32	-3,20	-3,51	-3,81	-4,16	-4,93	-6,05	-5,71	-5,40	-4,51
Marupá	com extrativo	0,00	-2,11	-2,65	-3,10	-3,80	-5,25	-6,29	-7,16	-7,13	-3,34	-3,72
	sem extrativo	0,00	-1,91	-2,20	-2,50	-3,31	-4,59	-5,60	-5,88	-4,37	-2,94	-2,96
Tauari	com extrativo	0,00	-0,92	-1,93	-2,06	-2,06	-3,09	-3,46	-4,18	-3,63	-2,20	-1,56
	sem extrativo	0,00	-1,62	-2,18	-2,13	-2,01	-2,66	-2,87	-3,99	-3,50	-2,32	-3,61

É possível verificar na Tabela 3, por meio dos valores negativos de  $\Delta L$ , que inicialmente ocorreu uma fase de escurecimento de todas as superfícies, independente da espécie, atingindo seus valores máximos após cerca de 500 horas de irradiação UV. Com maior tempo de tratamento, as superfícies das madeiras iniciaram a segunda fase de clareamento, quando a luminosidade começa a aumentar gradativamente. As Figuras 1(A) e (B) ilustram o comportamento da garapeira e da itaúba respectivamente, ambas com e sem extrativos. Ao acompanhar a evolução da curva da garapeira com extrativos essas duas fases ficam bem evidenciadas, pois ocorre inversão na direção da curva. Comparativamente, o processo de clareamento para a itaúba é mais lento (Figura 1B), sendo que o padrão de comportamento das madeiras do marupá e do tauari foi o mesmo que o da itaúba (não mostrado). Curvas de perda de luminosidade semelhantes às mostradas nas Figuras 1(A) e 1(B) foram encontradas por Nzokou e Kamdem (2002) para as madeiras de *Pterocarpus*

*soyauxii* (african padauk) e para a *Acer rubrum* (red maple).

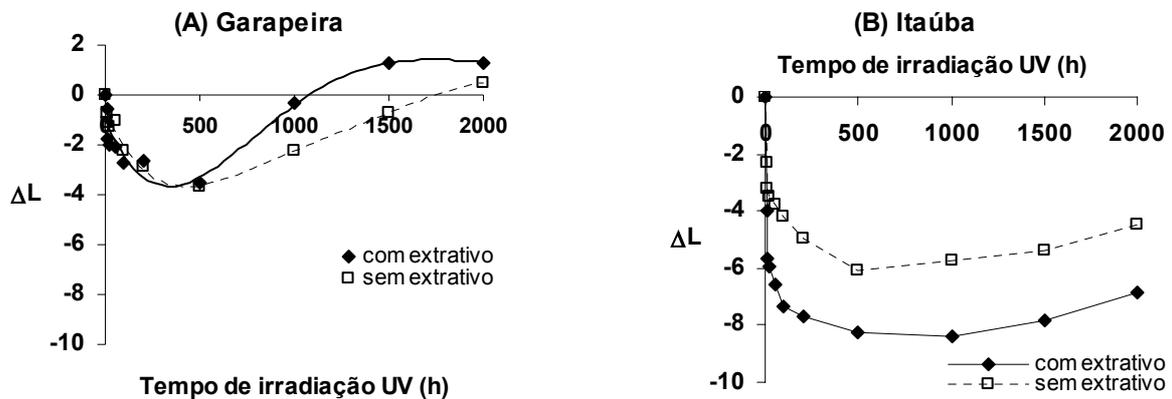


FIGURA 1: Curvas de variação de luminosidade ( $\Delta L^*$ ) da garapeira (A) e da itaúba (B) provocada pelo intemperismo artificial.

FIGURE 1: Curves of luminosity changing ( $\Delta L^*$ ) of *Apuleia leiocarpa* (A) and *Mezilaurus itaúba* (B) woods with and without extractives, caused by artificial weathering.

Dos valores mostrados na Tabela 3, também pode ser observado que as madeiras itaúba, marupá e tauri com extrativos provocaram escurecimento maior do que as amostras sem extrativos. A itaúba ( $\Delta L^* = -8,28$ ) e o marupá ( $\Delta L^* = -7,16$ ) foram as espécies que mais escureceram com a irradiação UV.

Nas Figuras 2(A) e 2(B), estão ilustradas para a itaúba e o marupá respectivamente as variações das coordenadas de cor  $\Delta a^*$  (vermelho-verde) e  $\Delta b^*$  (amarelo-verde), após os ciclos de radiação UV e lixiviação.

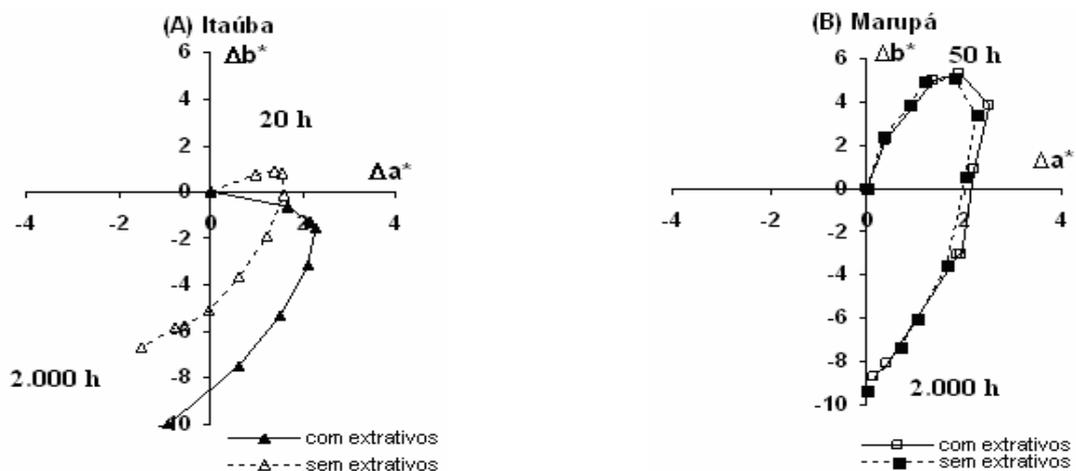


FIGURA 2: Curvas de variação das coordenadas de cor  $\Delta a^*$  versus  $\Delta b^*$  provocada pelo intemperismo artificial da itaúba (A) e do marupá (B) com e sem extrativos.

FIGURE 2: Curves of color coordinates changing,  $\Delta a^*$  versus  $\Delta b^*$  due to the artificial weathering of *Mezilaurus itauba* (A) and *Simaruba amara* (B) with and without extractives.

No início do tratamento das duas espécies, observa-se um aumento da coloração amarela ( $\Delta b^*$  positivo) e vermelha ( $\Delta a^*$  positivo), que significa produção de cromóforos dessas cores causada pela radiação UV. Porém, com o aumento do número de ciclos, ocorre uma inversão na direção das curvas no sentido negativo de  $\Delta b^*$ , indicando que a velocidade de produção de cromóforos amarelos foi menor do que a velocidade com que estavam sendo lixiviados pela água. Para ambas as madeiras, itaúba e marupá a perda da cor vermelha é feita gradativamente como está descrito pelas curvas. Cerca de 1.000 horas de radiação UV e 400 horas de lixiviação foram suficientes para que a itaúba eliminasse todos os pigmentos vermelhos da superfície e adquirisse um tom verde-azulado. Também o marupá verificou-se esta mesma tendência,

porém foram necessárias mais 1.000 horas de tratamento para que atingisse esse estágio.

É importante ressaltar que a quantidade de cromóforos amarelos e vermelhos formados na superfície do marupá, uma madeira caracterizada pela cor branca e pelo baixo teor de extrativos (1,91%), é muito superior do que na itaúba, que possui cor marrom-avermelhada escura e teor de extrativos de 7,24% (Tabela 1). Provavelmente, os extrativos da itaúba estejam exercendo função de proteção, fotodegradando-se prioritariamente e evitando a degradação da lignina. Corrobora com essa afirmação, observar que, no estágio inicial da curva da Figura 2(A), há maior formação de cromóforos amarelos e vermelhos nas amostras sem extrativos do que nas amostras com extrativos. As duas curvas do marupá (Fig. 2B) tiveram evolução quase-idênticas. Isso indica uma menor resistência do marupá à ação dos raios UV. As madeiras da garapeira e tauari apresentaram curvas similares à da itaúba (não ilustrado).

A variação total de cores ( $\Delta E^*$ ), determinada pela Equação 1 exibida na metodologia, leva em consideração as diferenças das coordenadas cromáticas e de luminosidade, fornecendo assim, uma visão mais ampla sobre o desempenho das madeiras sob intemperismo. A Figura 3 ilustra o comportamento das quatro espécies madeireiras estudadas.

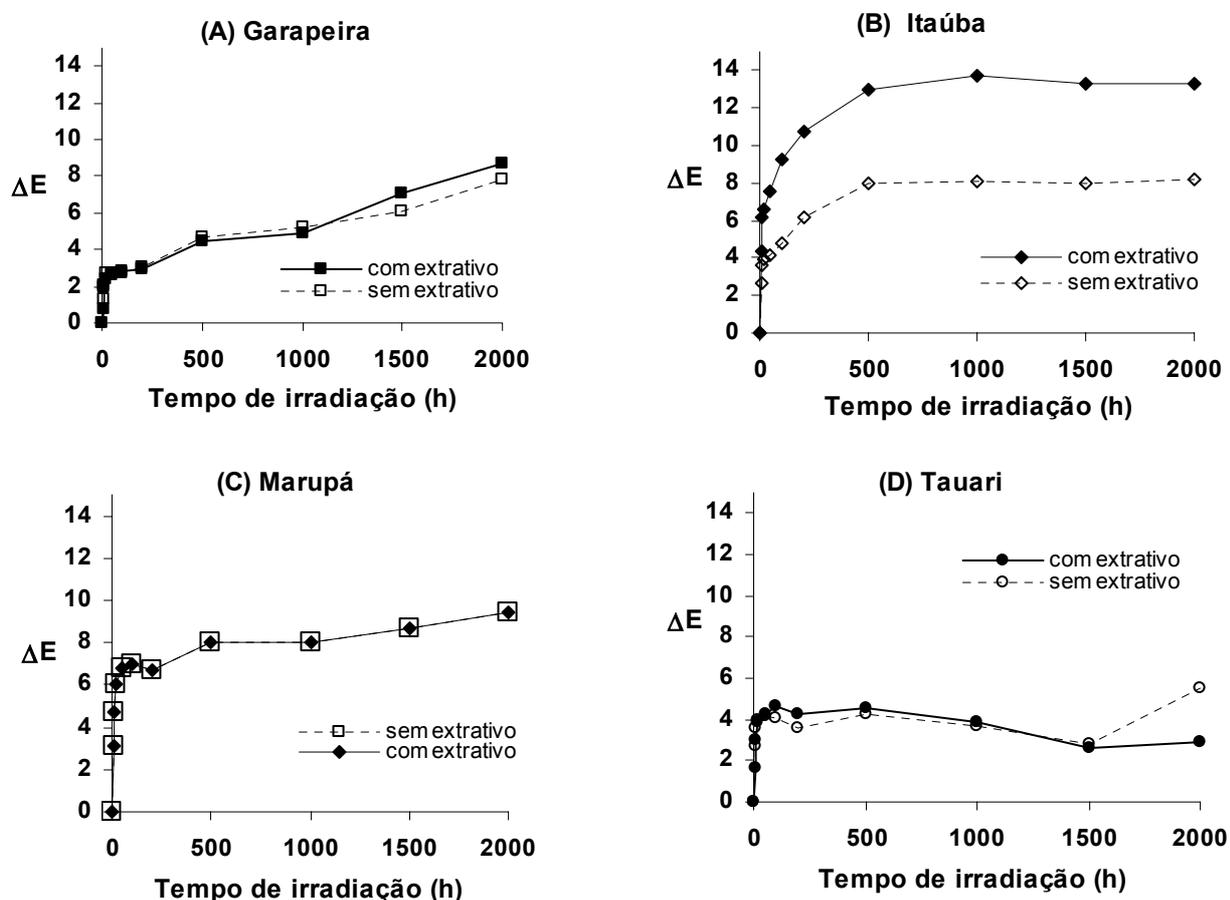


FIGURA 3: Curvas de variação total de cor  $\Delta E^*$  causada pelo intemperismo artificial da garapeira (A), itaúba (B), marupá (C) e tauari (D) com e sem extrativos.

FIGURE 3: Curves of total color changing  $\Delta E^*$  caused by artificial weathering of *Apuleia leiocarpa* (A), *Mezilaurus itauba* (B), *Simarouba amara* (C) and *Couratari stellata* (D) with and without extractives.

O comportamento inicial das quatro madeiras foi muito semelhante, durante as primeiras 20 horas de tratamento ocorreram as maiores alterações de cor. Posteriormente, as curvas tendem a estabilizar-se formando um patamar, com exceção da curva da itaúba com e sem extrativos que continua o processo crescente de mudança de coloração até cerca de 500 horas. Interessante ressaltar o papel dos extrativos na

madeira da itaúba, pois foi a única espécie estudada que apresentou curvas de evolução bem diferentes no que se refere aos valores de  $\Delta E^* = 13,3$  e  $\Delta E^* = 8,19$  para amostras com e sem extrativos respectivamente.

Conforme as curvas mostradas Figura 3 e baseando-se na Tabela 1 para classificar as diferenças de coloração, a garapeira ( $\Delta E^* = 8,73$ ), itaúba ( $\Delta E^* = 13,34$ ) e marupá ( $\Delta E^* = 9,43$ ) apresentaram variação de cor muito apreciável. A madeira do tauari ( $\Delta E^* = 2,92$ ) pode ser classificada tendo alteração de cor apreciável. Na Figura 3, fica evidente a resistência do tauari à alteração de cor, confirmando os resultados anteriores encontrados por Silva e Pastore (2007). Portanto, essa espécie é altamente recomendada para construções externas quando a alteração de cor natural da madeira não é desejada. No caso da espécie estudada *Couratari estellata*, essa resistência não pode ser atribuída à presença de extrativos.

Vale lembrar ainda que a comparação direta dos resultados deste estudo com o desempenho das mesmas madeiras sob intemperismo natural não é coerente, uma vez que, para simular a lixiviação os corpos-de-prova, foram totalmente imersos em água.

## CONCLUSÕES

Todas as quatro madeiras estudadas sofreram alteração de cor causadas pelo intemperismo simulado: a garapeira, a itaúba e o marupá foram classificadas como madeiras com variação de cor muito apreciável. Já o tauari foi caracterizada por modificar de cor de modo apreciável. A garapeira foi a espécie mais susceptível a perda de luminosidade, enquanto para a itaúba a perda de cromóforos amarelos foi a componente que mais contribuiu com a variação de coloração.

A retirada dos extrativos da superfície da garapeira não modificou o comportamento dessa madeira quando submetida ao intemperismo simulado. Já, os extrativos da itaúba provocaram uma intensificação significativa na variação de cor. Isso sugere que a participação dos extrativos no processo de fotodecomposição de madeiras depende da sua natureza química. A resistência anormal do tauari não pode ser atribuída aos extrativos, pelos resultados desse trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Materiais e Combustíveis do Instituto de Química da Universidade de Brasília pelo uso do reator UV e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BILLMEYER JUNIOR, F. W.; SATZMAN, M. **Principles of colour technology**. New York: John Wiley, 1981. 240 p.
- CASTELLAN, A. *et al.* Photocoloration du bois de pin maritime em présence d'additifs protecteurs. **Cellulose Chemistry and Technology**, Bucharest, v. 30, n. 5-6, p. 431-452, Sept./Dec. 1996.
- CUI, W.; KAMDEM, P.; RYPSTRA, T. Diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 36, n. 3, p. 291-301, Jul./Sept. 2004.
- FEIST, W. C.; HON, D. N. S. Chemistry of weathering e protection. In: ROWELL, R.M. **The chemistry of solid wood**. Washington, U.S.A.: Am. Chem. Soc, 1984. 614 p.
- GONÇALEZ, J. C. **Characterisation technologique de quatre especes peu connues de la foret amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. Nancy: Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt, 1993. 445 p. Docteur thesis - Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt, 1993.
- GONÇALEZ, J.C.; JANIN, G.; SANTORO, A.C.S. *et al.* Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, ano 20, v. 72, p. 47-58, 2001.
- GRELEIER, S.; CASTELLAN, A.; DESROUSSEAU, S.; NOURMAMODE, L.; PODGORSKI, A. Attempt to protect wood colour against UV visible light by using antioxidants bearing isocyanate groups grafted to the material with microwave. **Holzforschung**, Berlin, v. 51, n. 6, p. 511-518, 1997.
- HIKITA, Y.; TOYODA, T.; AZUMA, M. Weathering testing of timber – discoloration. In: IMAMURA, Y. **High performance utilization of wood for outdoor uses**. Kyoto, Japão: Press-net, 2001.
- HON, D.N.S. Weathering and photochemistry of wood. In: HON, D.N.-S.; SHIRAIISHI, N. **Wood and cellulosic chemistry**. 2.ed. New York, U. S. A. : Marcel Dekker, 2001. 928 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL – IBDF. **Potencial madeireiro do Grande Carajás**. Brasília, Brasil: IBDF/LPF, 1983. 134 p.

- ISHIGURI, F. *et al.* Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Crytomeria japonica*) by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. **J. Wood Sci.**, Japão, v. 49, p. 135-139, 2003.
- LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS. Banco de dados de madeiras brasileiras. Disponível em (<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira>) > Acesso em: 24 de janeiro de 2007.
- LENTINI, M. *et al.* **Fatos florestais da Amazônia 2005**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005. 140 p.
- MORI, C. L. S. O. *et al.* Influência das características tecnológicas na cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.
- MÜLLER, U. *et al.* Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. **J. Photochem. Photobiol. B: Biol.**, Lausanne, v. 69, n. 2, p. 97-105, 2003.
- NZOKOU, P.; KAMDEM, D.P. Weathering of two hardwoods species: african paudak (*Pterocarpus soyauxii*) and red maple (*Acer rubum*). **J. of Tropical Forest Products**, Kuala Lumpur, v. 8, n. 2, p. 200-209, 2002.
- PANDEY, K. K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. **Polymer Degradation and Stability**, Inglaterra, v. 87, p. 375-379, 2005
- PANDEY, K. K.; PITMAN, A. J. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Birmingham, v. 52, n. 3, p. 151-160, 2002.
- PASTORE, T.C.M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias Raman (FT-Raman), de refletância difusa no infravermelho (DRIFT) e no visível (CIE-L\*a\*b\*)**. Brasília: UnB, 2004. 117f. Tese (Doutorado em Química Analítica e Inorgânica) – Universidade de Brasília, 2004.
- PASTORE, T.C.M.; SANTOS, K.O.; RUBIM, J.C. A spectrometric study on the effect of ultraviolet irradiation of four tropical hardwoods. **Bioresource Technology**. Essex, v. 93, n. 1, p. 37-42, 2004.
- RODRIGUES, A. L.; SANTANA, M. A. E. Metodologia para determinação do teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 57, n. 1, p. 57-62, 2005.
- RODRIGUES, A. L.; SANTANA, M. A. E. Determinação do teor de sílica em madeira por espectroscopia de absorção atômica de chama versus espectroscopia no Ultravioleta-visível. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 259-264, 2008.
- SANTANA, M.A.E.; OKINO, E.Y.A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, Berlim, vol. 61, p. 469- 477, 2007.
- SILVA, J.O.; PASTORE, T.C.M. Fotodecomposição e proteção de madeiras tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 2, p. 7-13, 2004.
- SILVA, J. O.; PASTORE, T.C.M.; PASTORE JR, F. Resistência natural ao intemperismo artificial e proteção de cinco madeiras tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1 e 2, p. 17-23, 2007.
- SOUZA, M. H. **Madeiras tropicais brasileiras**. Brasília, Brasil: IBAMA/LPF, 1997. 152 p.