

## 4

# Métodos e Normas Aplicáveis para Verificação e Avaliação da Qualidade da Iluminação

Neste capítulo são apresentados os métodos e normas utilizadas para verificar e avaliar simuladores de luz do dia e também outras fontes luminosas utilizadas para avaliar visualmente cores de diferentes materiais.

### 4.1.

#### Métodos utilizados para classificar simuladores de luz do dia

Devido as dificuldades em produzir fontes de luz que reproduzam a distribuição espectral de potência definida para os iluminantes padrão CIE D, foram desenvolvidos alguns métodos para verificar as discrepâncias entre as fontes e o iluminante padrão.

#### 4.1.1.

##### British Standard 950: Parte 1 (1967)

O padrão britânico 950 Parte 1, Especificação da Luz do Dia Artificial para Avaliação de Cor, foi desenvolvido em 1967 (BS950, 1967).

Ele quantifica a composição espectral das fontes de luz correspondendo às mesmas fases da luz do dia. Este padrão especifica o simulador de luz do dia representando a fase do iluminante luz do dia com uma temperatura de cor correlata de 6500K para matização de cor e para avaliação de cor. Esta especificação exige que o simulador de luz do dia obedeça as tolerâncias de cromaticidade e de distribuição de potência espectral.

A tolerância de cromaticidade foi definida pela figura de 12 lados no sistema CIE 1931 (figura 38). Os valores das coordenadas de cromaticidade estão apresentados na tabela 2. O objetivo da tolerância de cromaticidade é de fornecer uma referência para a simulação do simulador de luz do dia.

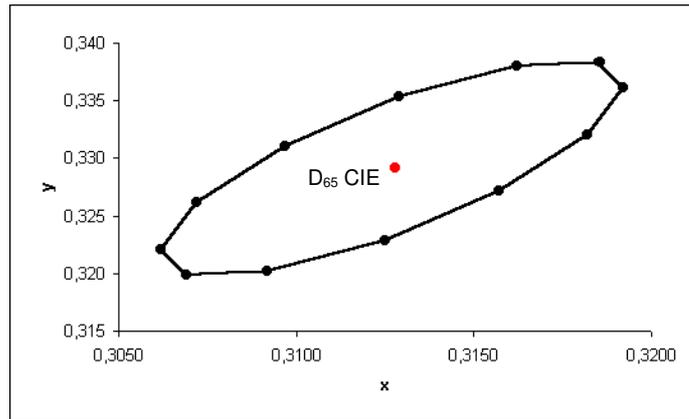


Figura 38. Tolerância de Cromaticidade do padrão BS 950 para simulador D65 no Sistema CIE 1931

Tabela 2. Coordenadas de Cromaticidade

x	y
0,3185	0,3383
0,3192	0,3361
0,3182	0,3320
0,3157	0,3272
0,3125	0,3228
0,3092	0,3202
0,3069	0,3199
0,3062	0,3221
0,3072	0,3262
0,3097	0,3310
0,3129	0,3354
0,3162	0,3380

A análise da distribuição espectral não é feita a cada comprimento de onda, mas sim através de faixas de comprimento de onda. Para cada faixa há um valor especificado e há uma tolerância definida.

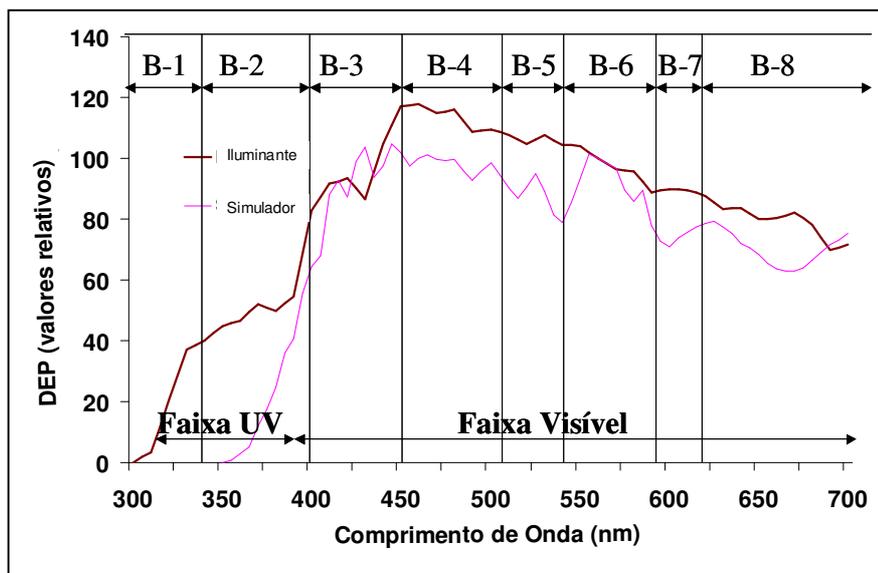


Figura 39. Divisão das faixas da BS 950

As tabelas 3 e 4 apresentam as faixas estabelecidas para D65, com seus valores especificados e suas tolerâncias:

Tabela 3. Composição espectral de cada banda na faixa UV e suas tolerâncias

BS 950 – Parte 1 (Faixa Ultravioleta)			
Faixa Espectral	Comprimento de onda (nm)	Resultado por 100 lúmen (mW)	Tolerância em percentual (%)
UV a	300 a 340	11,2	$\pm 30$
UV b	340 a 400	43,2	$\pm 30$

Tabela 4. Composição espectral de cada banda na faixa visível e suas tolerâncias

BS 950 – Parte 1 (Faixa Visível)			
Faixa Espectral	Comprimento de onda (nm)	Resultado por 100 lúmen (lm)	Tolerância em percentual (%)
1	400 a 455	0,79	$\pm 15$
2	455 a 510	11,2	$\pm 15$
3	510 a 540	23,1	$\pm 15$
4	540 a 590	43,7	$\pm 15$
5	590 a 620	14,4	$\pm 15$
6	620 a 760	6,8	$\pm 15$

A tolerância da distribuição de potência espectral tem que estar dentro de  $\pm 30\%$  na faixa ultravioleta de 300nm a 400nm (tabela 3), e de  $\pm 15\%$  na faixa visível de 400nm a 700nm (tabela 4). Para analisar as faixas, a DEP é normalizada com  $Y=100$ , e o valor de cada faixa é comparado com o do iluminante padrão da CIE, respeitando sempre as tolerâncias. Como exemplo,

analisando uma DEP já normalizada de um determinado simulador D65, o valor correspondente à faixa 1, de 400 a 455 é igual a equação 48.

$$\left[ \sum_{\lambda=405}^{450} S(\lambda) + \frac{S(400) + S(455)}{2} \right] \quad \text{eq. (48)}$$

O valor encontrado tem que estar entre 0,68 e 0,92, que corresponde ao limite de tolerância de  $\pm 15\%$ , o qual está especificado na tabela de faixas do método BS 950: Part1. O Hunt (1975) definiu um método para graduar as variações entre os simuladores utilizando o BS 950. Neste método, é calculado o desvio percentual de cada faixa (Desvio da Faixa) e em seguida a média aritmética dos desvios de cada par de faixas contíguo (Desvio de Duas Faixas). A tolerância para os desvios de cada faixa é dada na tabela de faixas da norma. A tolerância para as médias é a metade da tolerância das faixas. Calcula-se o quanto cada um desses valores excede ao seu respectivo limite (valores absolutos) e em seguida, soma-se estes excessos. Este somatório dos excessos corresponde a figura de demérito de um simulador. A figura de mérito pode ser obtida subtraindo a figura de demérito encontrada por 1024 ou 914 (Hunt 1975 – p.172 e 173). Na tabela 5, está apresentada aplicação desse método num simulador de luz do dia.

Tabela 5. Método de graduação da Norma BS 950 proposto pelo Hunt (1975) para simuladores de luz do dia

Faixa Espectral	Luminância do simulador	Luminância do iluminante CIE D65	Desvio da Faixa	Desvio de Duas Faixas	Excesso	
400 a 455	0,86	0,79	9	-2	0	0
455 a 510	9,78	11,2	-13	-13	0	5
510 a 540	20,2	23,1	-13	-1	0	0
540 a 590	48,6	43,7	11	2	0	0
590 a 620	13,4	14,4	-7	-1	0	0
620 a 760	7,12	6,8	5		0	
					Soma = 5	

Figura de Mérito=  
1024 - 5= **1019** ou 914 - 5= **909**

Esse padrão BS950 também recomenda a condição visual para matização de cor incluindo o nível de iluminação, o qual deve estar entre 750lx e 3200lx e a cor próxima da cor neutra.

#### 4.1.2. SCF (Source Conformance Factor)

Este método, Fator de Conformidade da Fonte, descrito na ASTM E991-98, é simplesmente a raiz quadrada do somatório da diferença entre as curvas de distribuição relativa espectral de irradiância de uma fonte analisada e do iluminante D<sub>65</sub>, a equação 49 é utilizada para se determinar este fator.

O fator de conformidade da fonte (SCF) da faixa ultravioleta (SCF<sub>UV</sub>) de 300nm a 380nm não pode ultrapassar de 15,0 e o da faixa visível de 380nm a 700nm não pode ultrapassar de 10,0.

$$SCF = \left[ \frac{1}{n} \sum_{\lambda(1)}^{\lambda(2)} (S_{D65} - S_{INST})^2 \right]^{1/2} \quad \text{eq. (49)}$$

Nesta equação,

$\lambda(1)$  = comprimento de onda mínimo da faixa analisada;

$\lambda(2)$  = comprimento de onda máximo da faixa analisada;

$n$  = número de pontos de amostras;

$S_{D65}$  = distribuição espectral do iluminante D<sub>65</sub> da CIE, normalizada para 100,0 o comprimento de onda de 560nm;

$S_{INST}$  = distribuição espectral da do simulador D<sub>65</sub>, determinada pelo espectralradiômetro e normalizada para 100,0 o comprimento de onda de 560nm.

#### 4.1.3. Comissão Internacional de Iluminação – Método CIE 51.2 (1999)

A Publicação nº 51.2 (CIE, 1999), Método para Avaliação da Qualidade de Simuladores de Luz do Dia para Colorimetria, foi apresentada primeiramente em 1981. Esta publicação mencionou um método para quantificar a qualidade dos simuladores de luz do dia da CIE, D55, D65 ou D75. Em 1999, o iluminante CIE D50 foi acrescentado na lista de iluminante da luz do dia.

Este método é dividido em 5 etapas:

- Determinação da distribuição espectral de potência da fonte testada;
- Cálculo da cromaticidade da fonte testada;
- Cálculo do índice MI<sub>VIS</sub> da parte visível do espectro;
- Cálculo do índice MI<sub>UV</sub> da parte ultravioleta do espectro;
- Interpretação dos índices MI<sub>VIS</sub> e MI<sub>UV</sub>.

O método nº51.2 da CIE requer a determinação da DEP (Distribuição Espectral de Potência) relativa do simulador de luz do dia entre a faixa de 300nm a 780nm.

A distribuição espectral de potência é uma especificação de um iluminante pela composição espectral de uma quantidade radiométrica, tal como radiância ou fluxo radiante, como uma função de comprimento de onda. Segundo a CIE nº 15.2 (1986) as distribuições dos iluminantes padrão da luz do dia da CIE, D<sub>50</sub>, D<sub>55</sub>, D<sub>65</sub> e D<sub>75</sub>, com a faixa de comprimento de 300nm a 780nm e intervalo de medição de 5nm podem ser vistas na figura 40.

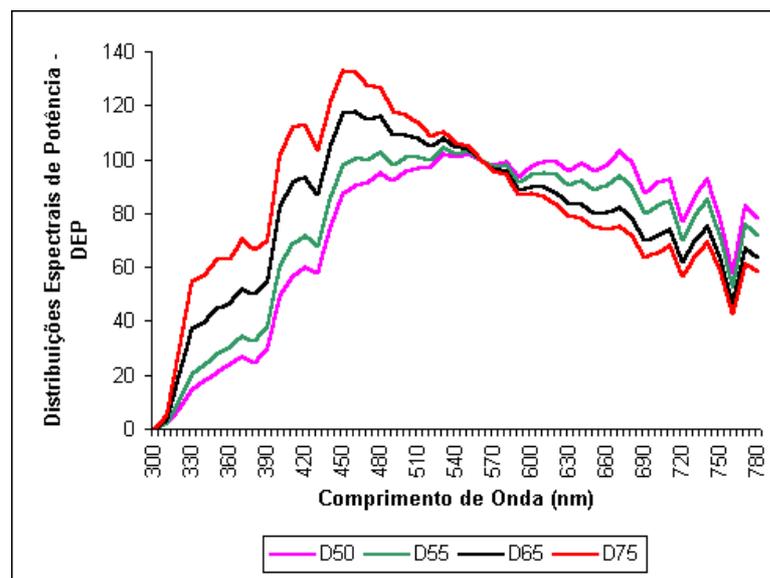


Figura 40. Distribuições espectrais de potência relativa dos iluminantes padrão da luz do dia da CIE

As coordenadas de cromaticidade do simulador de luz do dia são calculadas usando a DEP relativa medida. Estas coordenadas são utilizadas para verificar se existe uma diferença significativa de cor entre a luz do simulador e do iluminante da CIE. A diferença entre as coordenadas de cromaticidade  $u'_{10}$  e  $v'_{10}$  do simulador de luz do dia e do iluminante padrão da CIE não pode exceder 0,015.

As coordenadas de cromaticidade  $u'_{10}$  e  $v'_{10}$  (CIE 1976) dos iluminantes da luz do dia da CIE podem ser obtidos através da tabela 6.

Tabela 6. Coordenadas de cromaticidade  $u'_{10}$   $v'_{10}$  CIE 1976 dos iluminantes da luz do dia da CIE

Luz do dia - CIE	$u'_{10}$	$v'_{10}$
D50	0,2102	0,4889
D55	0,2051	0,4816
D65	0,1979	0,4695
D75	0,1930	0,4601

O objetivo principal de se utilizar esse método é de obter o cálculo do índice especial de metameria resultante das diferenças entre as DEPs das fontes e iluminantes.

- Fonte: luz fisicamente real, cuja DEP (distribuição espectral da potência) pode ser experimentalmente determinada. Ex.: Fonte padrão (A): lâmpada de 2856K.

- Iluminante: luz definida por uma DEP (distribuição espectral da potência) que pode ser ou não realizada fisicamente como fonte. Ex.: Iluminante padrão (A).

Dois índices metaméricos são calculados usando a DEP dentro da faixa visível do espectro (400nm - 700nm) e da faixa ultravioleta do espectro (300nm - 400nm), isto é,  $MI_{(VIS)}$  e  $MI_{(UV)}$ . Eles foram obtidos respectivamente através das equações 50 e 51.

$$MI_{(VIS)} = \sum_{i=1}^5 \frac{\Delta E_i}{5} \quad \text{eq. (50)}$$

$$MI_{(UV)} = \sum_{j=1}^3 \frac{\Delta E_j}{3} \quad \text{eq. (51)}$$

Nestas equações,

$\Delta E_i$  = a diferença de cor entre amostras de par metamérico  $i$  da faixa visível de comprimento de onda.

$\Delta E_j$  = a diferença de cor entre amostras de par metamérico  $j$  da faixa ultravioleta de comprimento de onda.

Na avaliação da faixa visível de comprimento de onda, o  $MI_{(VIS)}$  foi calculado usando cinco pares metaméricos. Os fatores de refletância dos pares metaméricos são dados na figura 41.

Cada par metamérico foi perfeitamente matizado dentro dos iluminantes padrão da luz do dia da CIE. Isto significa que a diferença de cor que cada par

apresenta quando iluminado pela fonte testada dá uma indicação da qualidade dos simuladores da luz do dia dentro do espectro visível.

Na avaliação na faixa ultravioleta, o  $MI_{(UV)}$  foi calculado usando os 3 outros pares fluorescentes metaméricos virtuais. Cada par foi perfeitamente matizado sob os iluminantes padrão da luz do dia da CIE. A diferença de cor para estes 3 pares quando iluminados pela fonte testada é uma indicação da conformidade do iluminante padrão da luz do dia da CIE dentro do espectro ultravioleta.

O fator espectral total de radiância para a amostra fluorescente de cada par metamérico foi calculado através do cálculo do  $\beta_T(\lambda)$ , apresentado nas equações 52 a 55.

$$\beta_T(\lambda) = \beta_s(\lambda) + ((N \cdot F(\lambda)) / S_n(\lambda)) \quad \text{eq. (52)}$$

$$\beta_T(\lambda) = \beta_s(\lambda) + \beta_L(\lambda) \quad \text{eq. (53)}$$

$$\beta_L(\lambda) = (N \cdot F(\lambda)) / S_n(\lambda) \quad \text{eq. (54)}$$

$$N = \sum_{300}^{460} S_n(\lambda') Q(\lambda') \cdot \Delta\lambda' \quad \text{eq. (55)}$$

No cálculo,

$S_n(\lambda')$  = os valores de  $S_n(\lambda)$  dentro da faixa de 300nm a 460nm;

$\beta_T(\lambda)$  = o fator total espectral de radiância;

$\beta_s(\lambda)$  = o fator de reflexão de radiância;

$\beta_L(\lambda)$  = o fator de fluorescência de radiância;

$F(\lambda)$  = a distribuição relativa espectral de radiância emitida pela fluorescência;

$Q(\lambda')$  = a eficiência espectral radiante externa;

$N$  = total de excitação da amostra fluorescente;

$S_n(\lambda)$  = a distribuição espectral normalizada da fonte testada;

$\lambda$  = os comprimentos de onda de reflexão e emissão;

$\lambda'$  = os comprimentos de onda de excitação.

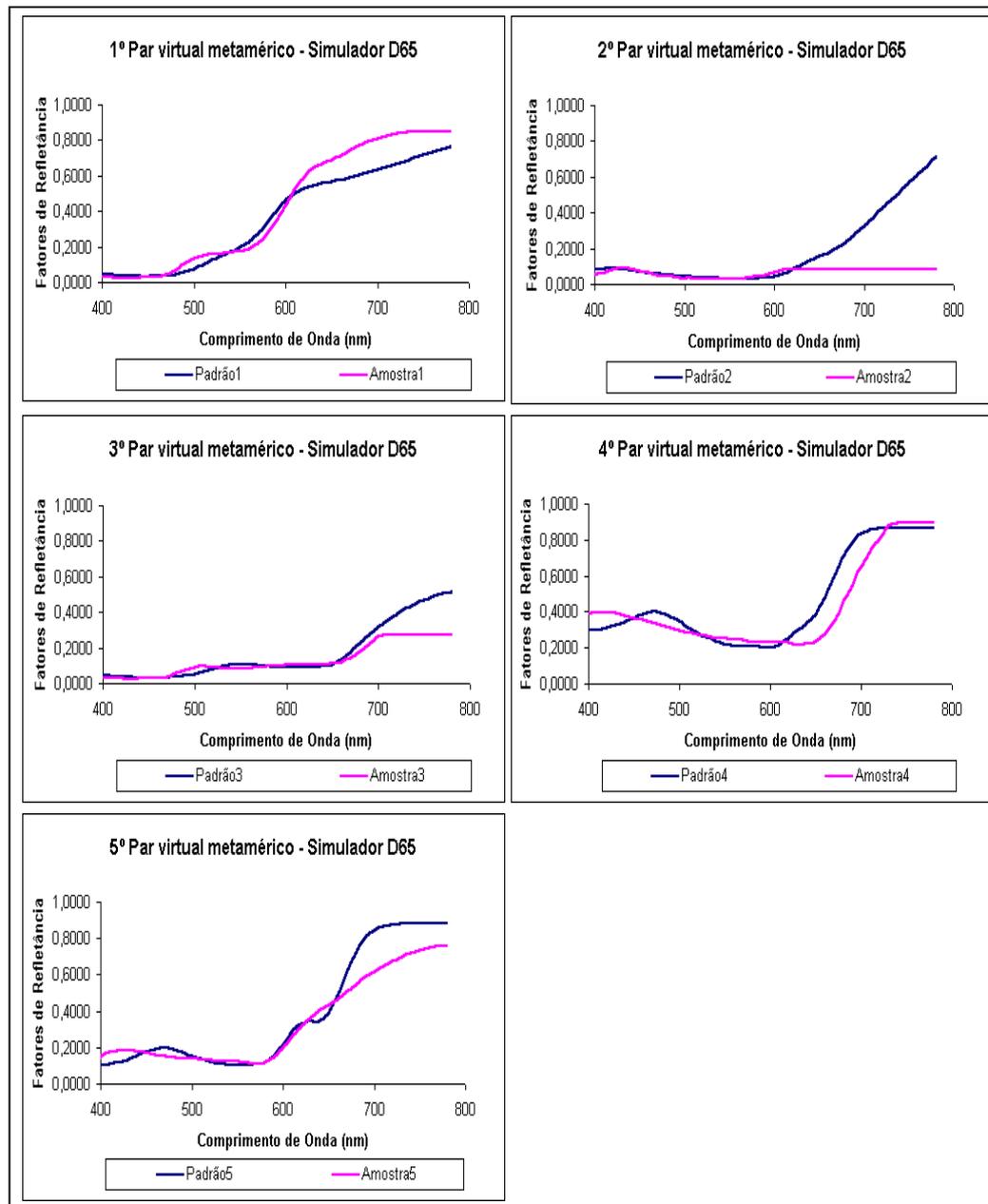


Figura 41. Pares metaméricos para quantificar  $Ml_{(vis)}$  dos simuladores  $D_{65}$

A equação da diferença de cor – CIELAB ou CIELUV poderia ser usada na determinação das diferenças de cor dos pares virtuais metaméricos para os dois índices.

Na interpretação dos índices metaméricos, o método nº 51.2 da CIE estabeleceu uma escala para a categorização da qualidade do simulador de luz do dia. As cinco categorias do simulador de luz do dia estabelecidas por este método são dados na tabela 7. Se for categoria A – o simulador de luz do dia é o melhor, se for categoria E – o simulador é o pior. Este método expõe que o

simulador de luz do dia com  $MI_{(vis)} = B$  ou acima e  $MI_{(uv)} = C$  ou acima é recomendada para matização visual de cor.

Tabela 7. Categorização do simulador de luz do dia pelo método nº 51.2 da CIE

CIELAB $MI_{(vis)} - MI_{(uv)}$	CIELUV $MI_{(vis)} - MI_{(uv)}$	Categoria
<0,25	<0,32	A
0,25 a 0,50	0,32 a 0,65	B
0,50 a 1,00	0,65 a 1,30	C
1,00 a 2,00	1,30 a 2,60	D
> 2,00	>2,60	E

#### 4.1.4. JIS 8717 - 1989

Esta norma especifica os métodos para medição de cor de objetos fluorescentes e a correção pelo desvio entre a distribuição espectral da fonte luminosa e a do iluminante padrão da CIE D65. Será apresentado neste item o método para avaliar a distribuição espectral da iluminação sob a superfície de uma amostra em conformidade com o índice de erro colorimétrico fluorescente na medição da cor de um objeto fluorescente.

Neste método, são calculados 2 tipos de índices de erro:

**1. Índice de erro colorimétrico fluorescente ultravioleta** – aplicado à medição de cor de objetos brancos fluorescentes que absorvem radiação ultravioleta e emitem fluorescência azul numa pequena faixa de comprimento de onda da radiação visível. Ele é definido através da média calculada dos erros colorimétricos relativos aos 3 primeiros tipos de amostras fluorescentes ultravioletas de cor (figura 42).

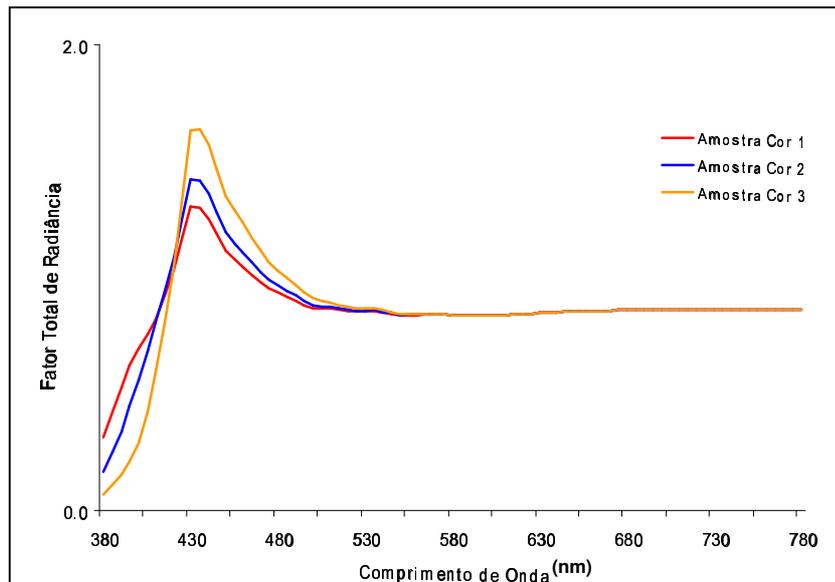


Figura 42. Gráfico com as curvas do fator total de radiação das 3 amostras de cor iluminadas pelo iluminante padrão CIE D65

**2. Índice de erro colorimétrico fluorescente visível** – aplicado a medição de cor de objetos que absorvem uma parte da faixa visível principal e emitem radiação visível de comprimentos de onda maiores. Ele é definido através da média calculada dos erros colorimétricos relativos aos 6 últimos tipos de amostras fluorescentes visíveis de cor (figura 43).

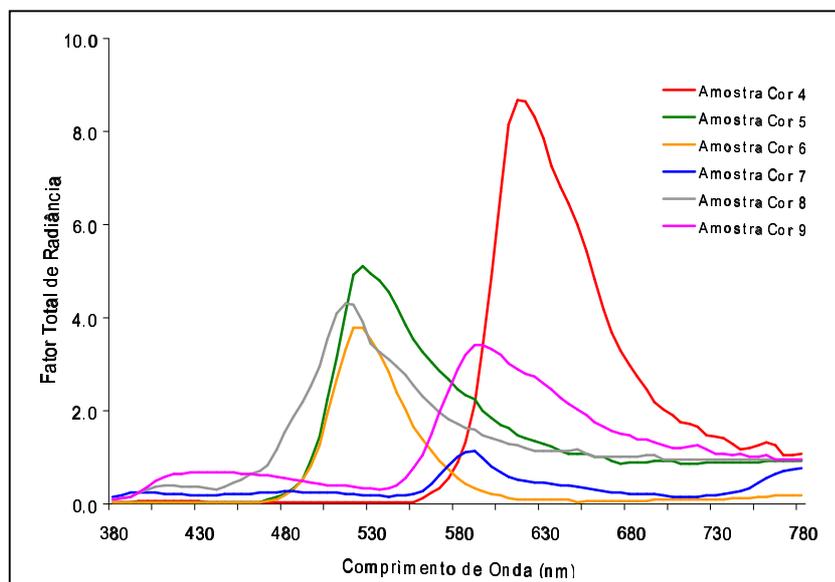


Figura 43. Gráfico com as curvas do fator total de radiação das 6 amostras de cor iluminadas pelo iluminante padrão CIE D65

Por sua vez, o método do índice de erro colorimétrico fluorescente visível é subdividido nas seguintes quatro etapas:

- 1) Obtenção da curva de distribuição espectral de potência da fonte a ser testada. A faixa de medição tem que ser de 300nm a 780nm com intervalo de medição de 5nm.
- 2) Padronização das curvas de distribuição espectral tanto do iluminante padrão a ser considerado como da fonte a ser testada através da equação 56.

$$S_n(\lambda) = \frac{100 \cdot S_\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda} \quad \text{eq. (56)}$$

Nesta equação,

$S_n(\lambda)$  = distribuição espectral padronizada;

$S(\lambda)$  = distribuição espectral antes da padronização;

$\bar{y}$  = função do observador 10º;

$\Delta\lambda$  = intervalo de medição de 5nm.

- 3) Avaliação da distribuição espectral relativa através dos índices de erro colorimétrico fluorescente.
- 4) Obtenção dos índices de erro colorimétrico fluorescente:

O índice de erro colorimétrico fluorescente é obtido através dos fatores de radiância espectral quando cada amostra de cor fluorescente é iluminada por um iluminante ou fonte da CIE, e quando é iluminada por uma fonte ou simulador a ser testado.

O fator espectral total de radiância sob o iluminante ou fonte da CIE é calculado através do cálculo do  $\beta_{t,D,i}(\lambda)$  (equações 57 e 58).

$$\beta_{t,D,i}(\lambda) = \beta_{o,i}(\lambda) + ((N \cdot F_i(\lambda)) / S_{D,n}(\lambda)) \quad \text{eq. (57)}$$

$$N = \sum_{\lambda=300}^{650} S_{D,n}(\lambda') Q_{a,i}(\lambda') \cdot \Delta\lambda' \quad \text{eq. (58)}$$

Neste cálculo:

$S_{D,n}(\lambda)$  = os valores de  $S_n(\lambda)$  do iluminante ou fonte da CIE;

$\beta_{t,D,i}(\lambda)$  = o fator total espectral de radiância;

$\beta_{o,i}(\lambda)$  = o fator de reflexão de radiância;

$F_i(\lambda)$  = a distribuição relativa espectral de radiância emitida pela fluorescência;

$\lambda$  = valor do comprimento de onda da parte visível relativo à reflexão e à fluorescência;

$N$  = total de excitação da amostra fluorescente;

$Q_{a,i}(\lambda')$  = a eficiência espectral radiante externa;

$S_{D,n}(\lambda')$  = a distribuição espectral normalizada da fonte testada;

$\lambda'$  = comprimento de onda relativo a excitação de fluorescência;

$\Delta\lambda'$  = intervalo de comprimento de onda de integração ( $\Sigma$ ) que é igual a 5nm.

O fator espectral total de radiância sob o simulador ou a fonte a ser testada é calculado da mesma forma para o iluminante ou fonte da CIE; o que muda é somente a distribuição espectral relativa padronizada. Ou seja, onde tiver  $S_{D,n}(\lambda)$  e  $S_{D,n}(\lambda')$  será substituído pela distribuição espectral padronizada da fonte ou simulador testado  $S_{X,n}(\lambda)$  e  $S_{X,n}(\lambda')$ .

A equação da diferença de cor CIELAB é usada para determinar as diferenças de cor entre cada amostra fluorescente quando iluminada por uma fonte ou iluminante padrão da CIE, e quando iluminada por uma fonte ou simulador a ser testado; para cada cor haverá um  $\Delta E_i$ .

A média da diferença de cor ( $\Delta E_i$ ) das 3 primeiras amostras fluorescentes correspondem ao índice de erro colorimétrico fluorescente ultravioleta (equação 59) e a média das 6 últimas amostras ao índice de erro colorimétrico fluorescente visível (equação 60).

Índice de erro colorimétrico fluorescente ultravioleta:

$$F_{uv} = \frac{\sum_{i=1}^3 \Delta E_i}{3} \quad \text{eq. (59)}$$

Nesta equação,

$F_{uv}$  = índice de erro colorimétrico fluorescente ultravioleta;

$\Delta E_i$  = a diferença de cor de cada amostra quando iluminada por uma fonte ou iluminante padrão da CIE e quando iluminada por uma fonte ou simulador;

$i$  = corresponde as amostras fluorescentes de 1 a 3.

Índice de erro colorimétrico fluorescente visível:

$$F_{vis} = \frac{\sum_{i=4}^9 \Delta E_i}{6} \quad \text{eq. (60)}$$

Nesta equação,

$F_{vis}$  = índice de erro colorimétrico fluorescente violeta;

$\Delta E_i$  = a diferença de cor de cada amostra quando iluminada por uma fonte ou iluminante padrão da CIE e quando iluminada por uma fonte ou simulador;

i = corresponde as amostras fluorescentes de 4 a 9.

Segundo essa norma, os valores permitidos para se classificar uma fonte ou simulador como adequados para avaliação de amostras fluorescentes são:

$$F_{uv} < 1,50$$

$$F_{vis} < 2,50$$

## 4.2.

### Normas para avaliar a qualidade da iluminação

Existem normas nacionais e internacionais que utilizam um ou mais dos métodos apresentados anteriormente para classificar e avaliar a qualidade dos simuladores de luz do dia. A seguir, são apresentadas normas relevantes que definem (através de índices ou categorias) as melhores condições de iluminação para avaliação visual de brancura, cor e diferenças de cor. Para facilitar a compreensão, os títulos dessas normas foram traduzidos para o português (títulos originais mantidos nas referências bibliográficas).

#### 4.2.1.

#### **ANSI PH2.32 – 1972 – Condições Visuais para Avaliação da Qualidade e Uniformidade de Cor nas Artes Gráficas**

A norma ANSI PH2.32 é utilizada para avaliar as condições visuais utilizadas para avaliação da qualidade e uniformidade de cor nas artes gráficas. Ela especifica que a cromaticidade e a distribuição espectral da iluminação sobre a impressão ou transparência devem ser aproximadamente iguais às do iluminante padrão D50 da CIE. Para avaliar a qualidade da iluminação, que é utilizada para verificar a uniformidade entre as reproduções de transparências originais, a cromaticidade e a distribuição espectral da iluminação devem ser aproximadamente iguais às do iluminante padrão D75 da CIE. As tolerâncias são especificadas em termos de cromaticidade, temperatura de cor correlata e índice de reprodução de cor.

#### 4.2.2.

#### **AS 4004 – 1992 – Cabines de Luz para Avaliação Visual de Cor e Matização de Cor**

A norma AS 4004 utiliza os índices metaméricos do método CIE 51.2 para avaliação das fontes luminosas, mas para a classificação são usadas somente as 4 primeiras categorias (de A a D) da publicação CIE:

Matização exata : BC

Matização crítica – BC

Matização próxima – DD

Matização aproximada – não especificado

#### 4.2.3.

#### **AS/NZ S 1580.601.1 – 1995 – Tintas e Materiais Relacionados– Métodos de Teste. Método 601.1 : Comparação Visual de Cor**

A norma AS/NZ S 1580.601.1 especifica um procedimento para avaliação a matização de cor das fontes de iluminação numa cabine de avaliação visual de teste descrita e especificada na AS 4004. Ela fornece uma qualidade da matização de cor como uma faixa numérica.

#### 4.2.4.

#### **ASTM D1729 – 96 (2003) – Norma Padrão para Avaliação Visual de Cores e Diferenças de Cor de Materiais Opacos Iluminados Difusamente**

Para que seja possível qualificar uma cabine de luz, diversas medições e parâmetros devem ser utilizados de acordo com normas técnicas diretamente ligadas ao processo. A norma mais adotada para este fim é a norma ASTM D 1729.

De acordo com a norma, as condições fotométricas para avaliações são subdivididas em classes. Para avaliações críticas de diferenças de cores entre materiais de média luminosidade, o nível de iluminação no centro da área de visão deve ser de 1080lx a 1340lx (100fc a 125fc). Para avaliações genéricas destes mesmos materiais, a iluminância no já referido ponto deve estar entre 810lx e 1880 lx (75fc a 175fc). Em ambos os casos, para avaliação de materiais muito luminosos, a iluminância no ponto deve estar na faixa de 540lx (50fc), e, para materiais de luminosidade muito baixa, o valor da iluminância no centro deve ser da faixa de 2150lx (200fc). Entretanto, este nível superior de iluminação é obtido segurando-se a amostra mais perto da fonte.

A iluminação é gerada por uma fonte, situada acima das amostras, cuja superfície de radiação é extensa e de certa forma direcional, de maneira a revelar a textura das amostras. A iluminância deve ser uniforme sobre a área de avaliação, podendo possuir uma variação de  $\pm 20\%$ , sem provocar mudanças aparentes ao observador.

As avaliações realizadas na cabine requerem o uso do simulador D65, o qual influencia na avaliação das amostras. Portanto, esse simulador deve possuir uma distribuição espectral de potência bem próxima do Iluminante D65 da CIE. Para as avaliações críticas de cores e diferenças de cores, a categoria determinada pela CIE utilizando o método CIE 51.2 (CIE, 1999) é de BC (CIELAB) ou de uma categoria melhor. Com esta categoria, fica assegurado que o simulador (fonte) emite potência nas proporções certas e adequadas tanto na faixa visível quanto na faixa ultravioleta, esta característica é muito importante para avaliar visualmente amostras não fluorescentes e fluorescentes.

#### **4.2.5.**

#### **E991 – 98 – Norma Padrão para Medição de Cor de Amostras Fluorescentes**

A norma E991 apresenta uma nova forma para avaliar fontes luminosas: o Fator de Conformidade da Fonte (SCF). Ela mostra a forma de medir amostras fluorescentes usando os instrumentos disponíveis. Os simuladores da luz do dia D65 nesses instrumentos têm que ter uma categoria BB (CIELAB) como determinado no Método CIE 51.2 (CIE, 1999).

#### **4.2.6.**

#### **ISO 3664 – 2000 – Condições Visuais – Tecnologia Gráfica e Fotográfica**

A norma ISO 3664 especifica os limites aceitáveis dos simuladores D50, já que o iluminante utilizado como referência nos campos da tecnologia gráfica e fotográfica é o D50. Para caracterizar as fontes luminosas, ela utiliza as coordenadas de cromaticidade, o índice de reprodução de cor e os índices de metameria MI.

Os requisitos gerais tais como, a temperatura de cor correlata e as coordenadas de cromaticidade, são dadas e os seus limites estão especificados na publicação da CIE 51.2 (CIE, 1999). O índice de reprodução geral (igual ao

da Publicação CIE 13.3) deverá ser no mínimo 90 e os especiais deverão ser no mínimo 80.

Para uma comparação crítica, os limites se aplicam, conforme o método CIE 51.2 (CIE, 1999), ou seja, categoria C (preferencialmente B) na faixa visível e  $M_{UV} < 4,0$ .

É interessante que esta norma apresenta uma justificativa técnica detalhada para as tolerâncias referentes à avaliação visual.

#### **4.2.7.**

### **ISO 3668 – 1998 – Tintas e Vernizes– Comparação Visual das Cores de Tintas**

A norma ISO 3668 avalia a comparação visual de cores de tintas. Ela utiliza para esta avaliação o método CIE 51.2 (CIE, 1999). A distribuição espectral do simulador deverá ter uma categoria BC (CIELAB) ou melhor.

#### **4.2.8.**

### **JIS Z 8716 – 1991 – Lâmpada Fluorescente como um Simulador do Iluminante Padrão CIE D65 para Comparação Visual de Cores de Superfícies – Tipos e Características**

A norma JIS Z 8716 apresenta uma referência informativa em intensidade radiante relativa espectral de uma lâmpada fluorescente D65, e especifica as tolerâncias em termos de índices metaméricos visível igual a 0,5 e fluorescente igual a 1,0, conforme a norma JIS Z 8720 (equivalente ao Método CIE 51.2 (CIE, 1999)). As outras tolerâncias são iguais as da ASTM D 1729; e em relação ao índice de reprodução de cor de acordo com a JIS Z 8726, onde, a média deverá ser  $R_a \geq 95$  e os índices especiais  $R_i$  ( $i=9$  a  $15$ )  $\geq 85$ .

#### **4.2.9.**

### **JIS Z 8717 – 1989 – Métodos de Medição de Cor de Objetos Fluorescentes**

A norma JIS Z 8717 apresenta diferentes métodos de medição de cor de objetos fluorescentes e a correção pelo desvio entre a distribuição espectral da fonte luminosa e a do iluminante padrão da CIE D65. O valor aceitável desse desvio, Índice do Erro Colorimétrico Fluorescente, é diferente para os diferentes métodos (tabela 8).

Tabela 8. Valores aceitáveis do índice de erro colorimétrico fluorescente para diferentes métodos

Método de medição de cor	Valores aceitáveis para o índice do erro colorimétrico fluorescente	
	Índice do erro colorimétrico fluorescente ultravioleta	Índice do erro colorimétrico fluorescente visível
Método de Separação- uma fonte luminosa fluorescente	2,0	3,0
Método de Separação- duas fontes luminosas fluorescentes	3,0	5,0
Método de correção direta da distribuição espectral	1,5	2,5
Método - Fator total de radiância espectral	1,5	2,5
Método de correção direta da cor da fonte luminosa	1,5	2,5
Método - Valor triestímulo	1,5	2,5

#### 4.2.10.

#### JIS Z 8720 – 1983 – Iluminantes Padrão e Fontes para Colorimetria

A norma JIS Z 8720 especifica os iluminantes padrão (A, D65 e C) e os complementares (D50, D55, D75 e B) e também as fontes padrão e as complementares para medição de cor de objetos não luminosos. O método utilizado para avaliação das fontes que simulam os iluminantes padrão (D50, D55, D65 e D75) é o do mesmo apresentado na Publicação CIE 51.2 (CIE, 1999).

#### 4.2.11.

#### JIS Z 8723 – 2000 – Métodos para Comparação Visual de Cores de Superfície

A norma JIS Z 8723 é uma adaptação da ISO 3668 – 1998. Ela fornece mais detalhes sobre as especificações do padrão internacional, e é um pouco diferente da JIS Z 8716 – 1991 pois esta considera o índice metamérico fluorescente  $M_{UV} \geq 1,5$ , isto é, categoria D ou melhor.

**4.2.12.****JIS Z 8724 – 1997 – Métodos de Medição de Cor de Fontes Luminosas**

A norma JIS Z 8724 especifica os métodos de medição de cor de fontes luminosas pelo sistema colorimétrico XYZ baseado no observador 2º e 10º, e os métodos de medição da distribuição espectral da fonte luminosa utilizada nos cálculos dos valores triestímulos dos objetos coloridos.

**4.2.13.****JIS Z 8726 – 1990 – Método de Especificação de Índices de Reprodução de Cor de Fontes luminosas**

A norma JIS Z 8726 especifica o método para quantificar os índices de reprodução de cor de fontes luminosas, através do índice de reprodução de cor. Ela se baseia na Publicação CIE nº 13-2 – 1974 – Method of Measuring and Specifying Colour Rendering , Properties of Light Sources, 2nd Edition.

**4.2.14.****JIS Z 9112 – 1990 – Classificação de Lâmpadas Fluorescentes por Cromaticidade e Índice de Reprodução de Cor**

A norma JIS Z 9112 especifica a classificação de lâmpadas fluorescentes para serviços gerais de iluminação, isto é, não é específico para simuladores da luz do dia. Existe, entretanto, o simulador “luz do dia” que é definido em termos de coordenadas de cromaticidade CIE 1931 e tem uma temperatura de cor correlata entre 5700K e 7100K (faixa muito pequena), enquanto a CIE permite valores entre 4000K e 25000K. Para a lâmpada com bandas largas, as propriedades de reprodução de cor são classificadas em 4 grupos usando a JIS Z 8726 para a definição do índice de reprodução de cor: tipo usual ( $R_a > 69$ ), reprodução de cor A (não especificada para luz do dia), reprodução de cor AA ( $R_a > 88$ ,  $R_9 > 76$  e  $R_{15} > 88$ ) e reprodução de cor AAA ( $R_a > 95$ ,  $R_9$ ,  $R_{10}$  e  $R_{12} > 88$  e  $R_{13-15} > 93$ ).

**4.2.15.****SAE J361 – 2003**

A norma SAE J361 é aplicada às partes e aos materiais utilizados na fabricação de veículos, que são projetados de acordo com a cor de um padrão específico. A cor destes são obtidos através da matização de cor.

Nesta norma são especificados procedimentos para avaliação visual dos materiais e partes coloridas incorporados na fabricação de veículos. O documento fornece uma prática consistente para a determinação da diferença visual de cor entre os materiais ou partes de mesmos ou iguais materiais.

É necessário para realizar a avaliação visual um ambiente (Cabine de Avaliação Visual) com condições de iluminação luz do dia, fluorescente (CWF) e Horizonte (Horizon). Os limites para cada iluminação são os seguintes:

**Luz do Dia:**

- Temperatura de cor correlata -  $6500K \pm 200K$
- Iluminância – 1080 lx a 1730lx
- Categoria – A

**Fluorescente (CWF):**

- Temperatura de cor correlata -  $4150K \pm 200K$
- Iluminância – 860 lx (mínimo)

**Horizonte (Horizon):**

- Temperatura de cor correlata -  $2300K \pm 200K$
- Iluminância – 860 lx (mínimo)