

# Variação de Tonalidades em Placas Cerâmicas e Escalas Colorimétricas: CMC x CIELAB x CIELCH

Adriano Michael Bernardin<sup>1,2</sup> e Humberto Gracher Riella<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Tecnologia em Cerâmica/CTC – [ctc@senai-sc.ind.br](mailto:ctc@senai-sc.ind.br)

<sup>2</sup>Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais/UFSC –  
[pgmat@pg.materiais.ufsc.br](mailto:pgmat@pg.materiais.ufsc.br)

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Química/UFSC – [enq@enq.ufsc.br](mailto:enq@enq.ufsc.br)

**Resumo:** Um dos maiores problemas na fabricação de revestimentos cerâmicos é o controle de tonalidades. A metodologia mais adequada para este fim é a colorimetria. Porém, em função do critério de avaliação – as coordenadas colorimétricas – utilizado, esta técnica pode ser considerada ineficiente na prática industrial. No presente trabalho um produto de mercado denominado *monocolor* é avaliado segundo três sistemas de coordenadas, sendo os resultados comparados à avaliação visual.

**Palavras-chaves:** *placas cerâmicas, tonalidade, colorimetria*

## Introdução

A aplicação das técnicas colorimétricas na avaliação de diferenças de tonalidade em placas cerâmicas esmaltadas não é uma novidade. Porém, percebe-se que após um período inicial de utilização da colorimetria na avaliação das características de um determinado produto acabado, com frequência esta é abandonada. As razões alegadas são que a técnica ou não é prática para o chão de fábrica ou que não apresenta resultados convincentes. Esta desconfiança procede, pois em função das coordenadas utilizadas na avaliação de resultados pode-se incorrer em erros. As coordenadas mais conhecidas, o sistema  $L^*a^*b^*$ , ou mesmo sua variação, o sistema  $L^*C^*h^\circ$ , não são os mais adequados para determinar-se a aceitação ou não de determinada tonalidade. Como o espaço de cor utilizado para ambas é uma esfera, o sistema  $L^*a^*b^*$ , que utiliza coordenadas retangulares (eixos  $a^*$  e  $b^*$ ) e o sistema  $L^*C^*h^\circ$ , utilizando coordenadas polares (raio  $C^*$  e ângulo  $h^\circ$ ) não são os mais adequados, resultando em erros que podem ser de 25%. Em 1986 surgiu um novo sistema, o CMC, baseado em elipses, onde os eixos destas compreendem um fator comercial (o fator cf), que é a diferença máxima aceitável para as tonalidades, e a razão entre a luminosidade e a saturação (a razão l:c), utilizada como critério de aceitabilidade. Neste trabalho um produto comercial, cuja característica seria a não variação de tonalidade (*monocolor*), é avaliado utilizando-se as três coordenadas referidas, confrontadas com a avaliação visual do mesmo.

## Medição das Coordenadas Colorimétricas

A referência A foi considerada padrão para a estimativa das coordenadas colorimétricas, sendo posteriormente

comparada às referências B, C e D, consideradas pela empresa como variações de tonalidade com relação ao padrão. Em seguida foram feitas três amostragens da referência A (produzidas em datas diferentes) para a verificação das diferenças de tonalidades.

Para a determinação das coordenadas colorimétricas foi utilizado um espectrofotômetro HunterLab modelo ColorQuest 45/0. O procedimento de medição adotado é o constante da norma NBR 13818 anexo R de 1997, que utiliza o sistema de coordenadas retangulares  $L^*a^*b^*$  definido em 1976 pela CIE (Commission Internationale de l'Éclairage – Comissão Internacional de Iluminação). Posteriormente foi utilizado o sistema de coordenadas CMC, desenvolvido pelo Comitê de Medição de Cor da Sociedade de Tingidores e Coloristas da Inglaterra.

As medidas de diferença de cor  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  e  $\Delta b^*$  (CIE 1976) foram feitas segundo o espaço de cor CIELAB, onde a coordenada  $L^*$  é uma indicação de claro e escuro, a coordenada  $a^*$  é uma identificação de tonalidade na direção do verde para o vermelho e a coordenada  $b^*$  é uma identificação de tonalidade na direção do azul para o amarelo. Cada diferença ( $\Delta$ ) corresponde à leitura da amostra considerada padrão menos o valor da leitura da amostra sendo ensaiada, para as três coordenadas de cor, ou seja:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{ensaio}} - L^*_{\text{padrão}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{ensaio}} - a^*_{\text{padrão}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{ensaio}} - b^*_{\text{padrão}}$$

O valor da diferença absoluta das três coordenadas é dado por  $\Delta E^*$ , dado por:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

As coordenadas colorimétricas  $a^*$  e  $b^*$  também podem ser representadas segundo um sistema de coordenadas polares, definido como espaço de cor CIELCh. Neste,  $\Delta C^*$  é a diferença entre a saturação entre a amostra e o padrão, e  $\Delta H^*$  é a diferença de ângulo de tonalidade ( $h^\circ$ ) entre amostra e padrão, onde:

$$\Delta C^* = C^*_{\text{ensaio}} - C^*_{\text{padrão}} \text{ sendo } C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

e

$$\Delta H^* = \sqrt{\Delta E^{*2} - \Delta L^{*2} - \Delta C^{*2}}$$

O sistema CMC, por sua vez, é um conjunto de equações de diferenças de cor que utilizam os valores CIE  $L^*C^*h^\circ$  de uma cor padrão para determinar os comprimentos dos semi-eixos de uma elipse contendo todas as cores visualmente aceitáveis quando comparadas ao padrão. A elipse de aceitabilidade contém 3 semi-eixos que são definidos nas três direções  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^\circ$ .

Quando o cálculo de diferença de cor CMC é utilizado, é necessário decidir se a razão entre luminosidade e saturação determinada pelas equações CMC é aceitável para cada aplicação em particular. Tal razão (l:c) pode ser alterada; a razão 1:1 entre luminosidade e saturação é recomendada para o julgamento de percepção de diferença de cor; a razão 2:1 é recomendada para o julgamento da aceitação de cor, uma vez que é mais tolerável maiores diferenças em luminosidade que em saturação e cor.

Há também o fator comercial (cf), que é uma tolerância (os valores dos  $\Delta s$ ) definida pelo usuário para a aceitação da diferença de cor total,  $\Delta E_{\text{CMC}}$ , para uma aplicação em particular. Dependendo do tipo de material em avaliação, de sua textura superficial, brilho e outras características, a magnitude de aceitação de diferenças de cor pode não ser sempre a mesma usada para outros tipos de materiais. Métodos de padronização britânicos testados para vários materiais determinam que para materiais cerâmicos brilhantes um cf de 0,75 é adequado; para cerâmicos opacos, um cf igual a 1,0 é aceitável.

A equação para  $\Delta E_{\text{CMC}}$  descreve um volume elipsoidal com os eixos na direção da luminosidade e da saturação, sendo que a tonalidade é centralizada sobre um padrão; deste modo:

$$\Delta E_{\text{CMC}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{\text{ISL}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C^*}{\text{cSC}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H^*}{\text{SH}}\right)^2}, \text{ onde } \Delta L_{\text{CMC}} = \frac{\Delta L^*}{\text{ISL}}, \Delta C_{\text{CMC}} = \frac{\Delta C^*}{\text{cSC}} \text{ e } \Delta H_{\text{CMC}} = \frac{\Delta H^*}{\text{SH}}$$

sendo SL, SC e SH função das coordenadas  $L^*$ ,  $C^*$  e  $h^*$ .

Os limites considerados aceitáveis para as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  inicialmente foram definidos como  $\Delta = 0,5$  unidade para as três coordenadas; posteriormente este limite foi aumentado para  $\Delta = 1,0$  unidade. Para o sistema CMC adotou um cf = 0,75 e razão l:c de 2:1. Após as medidas de cor utilizando-se o espectrofotômetro foi feita uma avaliação visual utilizando-se painel visual e caixa P.E.I.

Para cada lote das amostras foram retiradas aleatoriamente 5 peças; cada peça foi dividida em 5 partes (os quatro cantos e parte central); cada parte foi medida duas vezes, sendo que a segunda medida foi feita a  $90^\circ$  em relação à primeira (levando-se em consideração o metamerismo). Os iluminantes utilizados foram o D<sub>65</sub>, correspondente à luz natural média, incluindo a região do ultravioleta, com uma temperatura de cor de 6504 K; o iluminante A, luz incandescente, com temperatura de cor de 2856 K; e o iluminante F02, luz fluorescente branca fria, com temperatura de cor de 4200 K.

## Resultados

Na Figura 1 está representada a reflectância do padrão utilizado, a referência A, em função do espectro da luz visível (400 nm a 700 nm).

Os resultados para os  $\Delta s$ , as diferenças de cor, para os sistemas CIELAB, CIELCH e CMC estão nas Tabelas 1, 2 e 3, para os iluminantes D65, A e F02.

## Conclusão

A utilização dos sistemas de coordenadas CIELAB e CIELCH podem induzir a erros, pois estes utilizam limites de tolerâncias fixos, independente da região do espaço de cor em que as amostras estão sendo estudadas. Como a

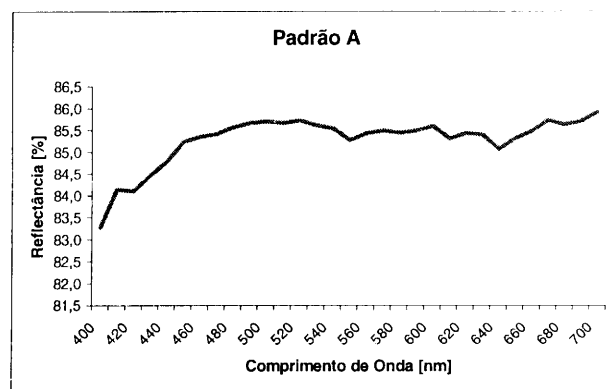


Figura 1. Reflectância do padrão A.

**Tabela 1.** Coordenadas colorimétricas e diferenças de cor no sistema CIELAB.

Ref.	Iluminante D65 a 10°				Iluminante A a 10°				Iluminante F02 a 10°			
	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*$
A <sup>1</sup>	94,09	-0,27	0,33	•	94,09	-0,12	0,24	•	94,08	-0,16	0,38	•
B	0,11	0,16	0,73	0,76	0,18	0,31	0,78	0,91	0,16	0,12	0,84	0,88
C	-0,07	0,14	0,18	0,35	-0,04	0,16	0,25	0,40	-0,05	0,11	0,22	0,37
D	-0,52	0,19	0,66	0,92	-0,42	0,32	0,75	1,00	-0,47	0,14	0,76	0,94
A <sup>2</sup>	0,03	-0,02	-0,14	0,31	0,01	-0,06	-0,14	0,32	0,01	-0,02	-0,12	0,28
A <sup>3</sup>	0,04	-0,05	-0,03	0,37	0,04	-0,08	-0,03	0,39	0,04	-0,02	-0,02	0,37
A <sup>4</sup>	-0,76	0,25	-0,11	0,82	-0,73	0,18	-0,04	0,77	-0,72	0,19	-0,11	0,78

<sup>1</sup> Refere-se à amostra padrão – os valores são absolutos; deste modo os  $\Delta E^*$  são nulos.

<sup>2, 3 e 4</sup> Amostras em diferentes dias.

**Tabela 2.** Coordenadas colorimétricas e diferenças de cor no sistema CIELCH.

Ref.	Iluminante D65 a 10°				Iluminante A a 10°				Iluminante F02 a 10°			
	$\Delta L^*$	$\Delta C^*$	$\Delta h^\circ$	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta C^*$	$\Delta h^\circ$	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta C^*$	$\Delta h^\circ$	$\Delta E^*$
A <sup>1</sup>	94,09	0,42	129,6	•	94,09	0,27	116,6	•	94,08	0,41	113,0	•
B	0,12	0,65	-0,39	0,80	0,18	0,83	-0,34	0,94	0,17	0,82	-0,25	0,90
C	-0,06	0,13	-0,19	0,35	-0,05	0,24	-0,17	0,39	-0,05	0,20	-0,14	0,36
D	-0,52	0,56	-0,39	0,91	-0,45	0,74	-0,33	0,99	-0,47	0,71	-0,26	0,95
A <sup>2</sup>	0,03	0,02	0,15	0,30	0,01	0,08	0,15	0,32	0,04	-0,02	0,12	0,28
A <sup>3</sup>	0,04	0,02	0,05	0,37	0,03	0,04	0,09	0,39	0,04	-0,01	0,03	0,37
A <sup>4</sup>	-0,76	-0,19	-0,16	0,82	-0,74	-0,05	-0,16	0,77	-0,74	-0,13	-0,16	0,78

<sup>1</sup> Refere-se à amostra padrão – os valores são absolutos; deste modo os  $\Delta E^*$  são nulos.

**Tabela 3.** Coordenadas colorimétricas e diferenças de cor no sistema CMC.

Ref.	Iluminante D65 a 10°				Iluminante A a 10°				Iluminante F02 a 10°			
	$\Delta L_{CMC}$	$\Delta C_{CMC}$	$\Delta h_{CMC}$	$\Delta E_{CMC}$	$\Delta L_{CMC}$	$\Delta C_{CMC}$	$\Delta h_{CMC}$	$\Delta E_{CMC}$	$\Delta L_{CMC}$	$\Delta C_{CMC}$	$\Delta h_{CMC}$	$\Delta E_{CMC}$
A <sup>1</sup>	94,09	0,42	129,6	•	94,09	0,27	116,6	•	94,08	0,41	113,0	•
B	0,01	1,08	-0,56	1,24	0,03	1,32	-0,49	1,42	0,03	1,33	-0,37	1,39
C	-0,05	0,11	-0,23	0,34	-0,04	0,27	-0,2	0,41	-0,04	0,19	-0,19	0,34
D	-0,22	0,82	-0,49	1,00	-0,20	1,04	-0,43	1,16	-0,20	1,01	-0,32	1,10
A <sup>2</sup>	-0,03	0,03	0,48	0,60	-0,04	0,25	0,50	0,66	-0,04	-0,05	0,04	0,51
A <sup>3</sup>	-0,02	0,03	0,05	0,16	-0,02	0,06	0,10	0,20	-0,02	0,01	0,04	0,16
A <sup>4</sup>	-0,27	-0,31	-0,23	0,50	-0,27	-0,11	-0,22	0,40	-0,27	-0,23	-0,22	0,44

<sup>1</sup> Refere-se à amostra padrão – os valores são absolutos; deste modo os  $\Delta E^*$  são nulos.

<sup>2, 3 e 4</sup> Amostras em diferentes dias

percepção visual é dependente da cor em análise (da região do espaço de cor) e é variável, os sistemas fixos induzem a erros de avaliação. O sistema CMC, utilizando elipses de aceitabilidade que variam em tamanho e forma dependendo da região do espaço de cor em que o padrão se encontra, apresenta resultados mais condizentes com a percepção visual. Pode ser observado que pelos sistemas CIELAB e CIELCH algumas amostras da referência A apresentam variação de tonalidade que seriam perceptíveis ao olho humano ( $\Delta E > 0,5$ ), mas pelo sistema CMC

não há variação de tonalidade  $\Delta E_{CMC}$  maior que 0,75, ou seja, as amostras estão dentro dos padrões, o que foi comprovado pelo ensaio de análise visual realizado em painel visual e caixa de luz.

## Referências

1. American Association of Textile Chemists and Colorists. AATCC Technical Manual. Research Triangle Park, NC: AATCC, 1997.

2. International Organization for Standardization. Determination of Small Color Differences. Genève, Switzerland: ISO 1995.
3. American Society for Testing and Materials. Standard Guide for Selection, Evaluation and Training of Observers. West Conshohocken, PA: ASTM 1997.
4. American Society for Testing and Materials. Standard Practice for Visual Appraisal of Colors and Color Differences of Diffusely Illuminated Opaque Materials. West Conshohocken, PA: ASTM 1996.
5. American Society for Testing and Materials. Standard Terminology of Appearance. West Conshohocken, PA: ASTM 1999.
6. Hunter, R. and Harold, R. The Measurement of Appearance. 2<sup>nd</sup> Ed. New York: John Wiley, 1987.
7. McLaren, K. The Colour Science of Dyes and Pigments. Bristol, UK: Adam Hilger Ltd., 1986.