

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

Adriano Michael Bernardin^{1,2} e Humberto Gracher Riella^{2,3}

¹Centro de Tecnologia em Cerâmica/CTC – ctc@senai-sc.ind.br

²Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais/UFSC –
pgmat@pg.materiais.ufsc.br

³Departamento de Engenharia Química/UFSC – 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°) 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 Color-Quest 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 ΔL^* , Δa^* e Δb^* (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 (Δ) 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 ΔE^* , 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, ΔC^* é a diferença entre a saturação entre a amostra e o padrão, e ΔH^* é a diferença de ângulo de tonalidade (h°) 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° .

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 Δs) definida pelo usuário para a aceitação da diferença de cor total, ΔE_{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 ΔE_{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:

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

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° em relação à primeira (levando-se em consideração o metamerismo). Os iluminantes utilizados foram o D₆₅, 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 Δs , 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

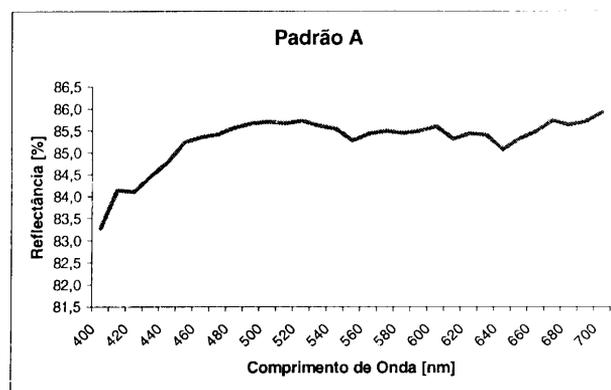


Figura 1. Reflectância do padrão A.

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

Ref.	Iluminante D65 a 10°				Iluminante A a 10°				Iluminante F02 a 10°			
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
A ¹	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 ²	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 ³	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 ⁴	-0,76	0,25	-0,11	0,82	-0,73	0,18	-0,04	0,77	-0,72	0,19	-0,11	0,78

¹ Refere-se à amostra padrão – os valores são absolutos; deste modo os ΔE^* são nulos.

^{2, 3 e 4} 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°			
	ΔL^*	ΔC^*	Δh°	ΔE^*	ΔL^*	ΔC^*	Δh°	ΔE^*	ΔL^*	ΔC^*	Δh°	ΔE^*
A ¹	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 ²	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 ³	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 ⁴	-0,76	-0,19	-0,16	0,82	-0,74	-0,05	-0,16	0,77	-0,74	-0,13	-0,16	0,78

¹ Refere-se à amostra padrão – os valores são absolutos; deste modo os ΔE^* 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°			
	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	Δh_{CMC}	ΔE_{CMC}	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	Δh_{CMC}	ΔE_{CMC}	ΔL_{CMC}	ΔC_{CMC}	Δh_{CMC}	ΔE_{CMC}
A ¹	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 ²	-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 ³	-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 ⁴	-0,27	-0,31	-0,23	0,50	-0,27	-0,11	-0,22	0,40	-0,27	-0,23	-0,22	0,44

¹ Refere-se à amostra padrão – os valores são absolutos; deste modo os ΔE^* são nulos.

^{2, 3 e 4} 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 ΔE_{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. 2nd Ed. New York: John Wiley, 1987.
7. McLaren, K. The Colour Science of Dyes and Pigments. Bristol, UK: Adam Hilger Ltd., 1986.