



Proposta de abordagem conceitualmente simples para estimativa de incertezas do índice R_a de reprodução de cores.

Proposal of an approach with a simple concept to estimate uncertainties of the color rendering index R_a

I Ázara¹, T Menegotto²

¹ Laboratório de Radiometria e Fotometria, Inmetro, Duque de Caxias, 25250-020, Brasil

² Superintendência do Inmetro no Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 90240-581, Brasil

iaoliveira@inmetro.gov.br; tmenegotto@inmetro.gov.br

Resumo. Índice de reprodução de cores é uma métrica que corresponde à capacidade que uma fonte luminosa tem de reproduzir cores, em comparação com uma fonte de referência. A determinação da sua incerteza tradicionalmente envolve cálculos matemáticos complexos, por considerar correlações entre as variáveis envolvidas. O método apresentado utiliza conceitos simples que procuram facilitar a compreensão do processo.

Abstract Color Rendering index is a metric corresponding to the capability of a luminous source to reproduce colors, in comparison with a reference source. Determining its uncertainty usually involves complex mathematic calculations, due to the assumption of correlations among the involved variables. The presented method uses simple concepts that are intended to facilitate the comprehension of the process.

1. Introdução

A despeito de a CIE – *Comission Internationale d'Eclairage* e a IES – *Illuminating Engineering Society* terem desenvolvido outros métodos [1], o índice de reprodução de cores mais utilizado para fontes luminosas continua sendo o índice geral de reprodução de cores CIE 1974, símbolo R_a [2], que é a média de oito índices especiais, correspondentes a oito amostras de cores diferentes, materializadas em peças sólidas (ladrilhos), cujas refletâncias espectrais são padronizadas.

O valor do índice R_a , cuja unidade é 1 e que tem valor máximo 100, deve ser relatado acompanhado da respectiva incerteza, como acontece com todas as grandezas. Existem métodos publicados para a determinação dessa incerteza que utilizam tratamento matemático complexo, por

considerarem as coordenadas cromáticas obtidas para cada uma das placas como variáveis correlacionadas.

O método apresentado é de fácil entendimento, e apresenta resultados equivalentes a outros métodos mais complexos.

2. Bases do método

A determinação do R_a e de sua incerteza expandida $U(R_a)$ é precedida da determinação da TCC (temperatura de cor correlata), e da sua incerteza expandida, $U(TCC)$. Portanto temos um intervalo $TCC \pm U(TCC)$, ou $[TCC-; TCC+]$, correspondente a uma probabilidade de abrangência p , normalmente 95,45 %. Devemos ter em conta que as correlações entre as grandezas de entrada na medição da distribuição espectral da fonte já foram consideradas para a estimativa da $U(TCC)$. A determinação do R_a depende apenas da distribuição espectral média que foi utilizada para a determinação da TCC, e, neste caso, também de $U(TCC)$.

O método tem por base a geração de duas distribuições espectrais semelhantes à original, cujas TCC sejam iguais a TCC- e TCC+, e a utilização dessas distribuições para estimar a incerteza da R_a .

As publicações [3] e [4] apresentam métodos para estimativa da TCC a partir de medições espectrais, e a publicação [5] apresenta métodos para estimativa da incerteza da TCC.

A estimativa do valor do R_a foi feita com base no método descrito em [6].

3. Obtenção da incerteza de R_a

Pode existir uma grande quantidade de diferentes espectros derivados do espectro principal e semelhantes a ele que correspondam a TCC- e TCC+. Optamos por uma transformação simples em que para se chegar a TCC+ é feito um aumento da potência relativa nos menores comprimentos de onda, e diminuição nos maiores comprimentos de onda. Dessa forma, aumenta-se o conteúdo azul em diminui-se o vermelho. Para se chegar a TCC-, adota-se o procedimento inverso.

A cada comprimento de onda no intervalo de 380 nm a 780 nm foi associado um valor $N(\lambda)$, variando de -45 (em 380 nm) a +55 (em 780 nm). O valor de $N(\lambda)$ para 560 nm é zero, ou seja, o valor correspondente a 560 nm não sofre correção. Esses valores vão gerar acréscimos ou diminuições nos valores da distribuição espectral, com maior impacto nos maiores e menores comprimentos de onda.

O valor de um fator M , é determinado em um cálculo iterativo, para que se atinjam os valores desejados (TCC+ e TCC-) para a TCC da distribuição espectral ajustada $S_{ajus}(\lambda)$.

No cálculo iterativo é atribuído um valor a M , calculada a distribuição espectral resultante e a correspondente TCC. O valor de M é variado até que se chegue ao valor da TCC-, e em seguida o processo é repetido para se chegar à TCC+.

A equação (1) corresponde à distribuição espectral ajustada, devendo-se determinar dois valores para M , um para gerar a TCC+ e outro para gerar a TCC-.

$$S_{ajus}(\lambda) = S_{rel}(\lambda)(1 + M \times N(\lambda)) \quad (1)$$

onde:

$S_{ajus}(\lambda)$ é a distribuição espectral ajustada;

M é uma variável cujo valor deve ser ajustado de maneira a se obterem distribuições espectrais que correspondam a TCC- e TCC+;

$S_{rel}(\lambda)$ é a distribuição espectral medida, normalizada para o valor 1 em 560 nm;

$N(\lambda)$ é o valor associado a cada comprimento de onda (-45 a +55).

Com as duas distribuições espectrais ajustadas, são determinados dois valores de R_a , usando como referência o mesmo iluminante usado para o R_a , original, ou seja, o iluminante de referência na TCC da distribuição espectral original. Conservativamente, está sendo considerada a maior diferença para o R_a original, em valor absoluto, como incerteza do R_a .

Calculando-se os valores de R_a para a TCC- e para a TCC+, usando-se como referência a TCC associada à distribuição original, são obtidos dois valores de R_a . A maior diferença absoluta entre esses dois valores e a R_a da distribuição original é adotado como estimativa da incerteza expandida de R_a .

4. Aplicações práticas

Estão apresentados abaixo os resultados encontrados para uma lâmpada halógena 60 W (código I4) e um artefato fitaled (código HCCT).

4.1 Lâmpada halógena FEL corrente 6,340 A

A TCC foi determinada em 2 604 K, a $U(TCC)$ em 20 K e o R_a em 99,4. Portanto, foram pesquisadas distribuições com TCC- = 2 584 K e TCC+ = 2 624 K. Os valores de R_a dessas distribuições foram, respectivamente 98,8 e 99,5. A maior diferença absoluta para o R_a da distribuição original é 0,6, valor adotado para a incerteza expandida de R_a .

Na figura 1 estão apresentados graficamente o espectro original (2 604 K) e os espectros calculados. Os valores de M que resultaram nessas distribuições foram +0,000 20 (2 584 K) e -0,000 19 (2 624 K).

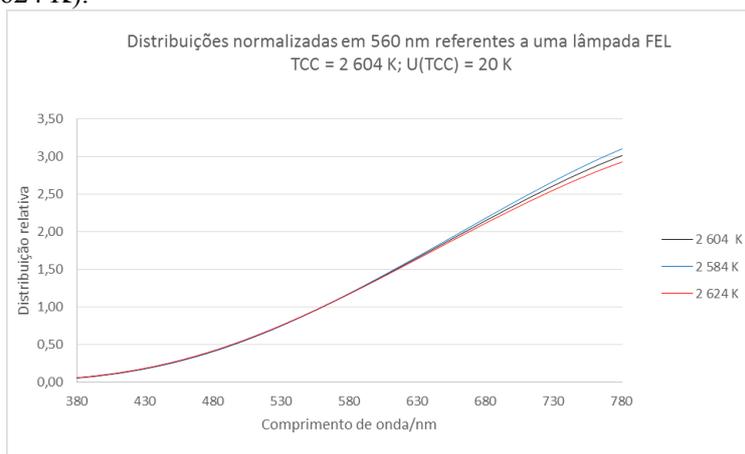


Figura 1. Distribuição original (TCC = 2 604 K) e distribuições ajustadas (2 584 K e 2 624 K)

Para melhor comparação das distribuições, a figura 2 apresenta as distribuições da figura 1, ampliando-se 50 vezes as diferenças para a curva de referência.

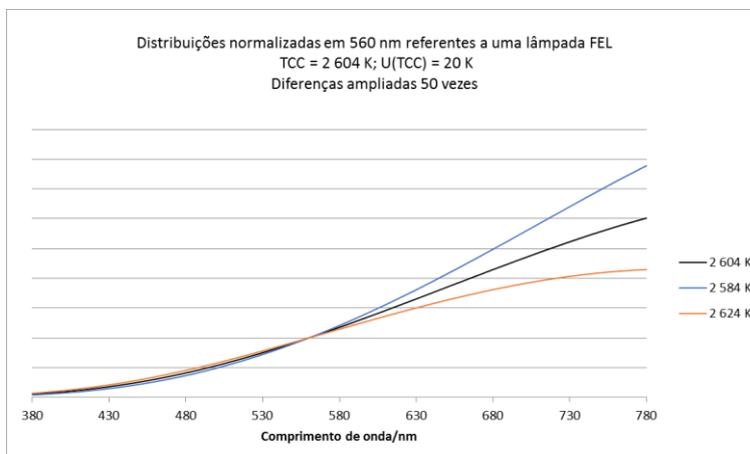


Figura 2. Distribuição original (TCC = 2 604 K) e distribuições ajustadas (2 584 K e 2 624 K), com as diferenças para a curva de referência ampliadas 50 vezes

4.2 Artefato fitaled

A TCC foi determinada em 8 857 K, a $U(TCC)$ em 120 K e o R_a em 81,34. Portanto, foram pesquisadas distribuições com $TCC^- = 8 737$ K e $TCC^+ = 8 977$ K. Os valores de R_a foram, respectivamente 81,67 e 80,97. A maior diferença absoluta para o R_a da distribuição original é 0,37, valor adotado para a incerteza expandida de R_a .

Na figura 3 estão apresentados graficamente o espectro original (8 857 K) e os espectros calculados. Os valores de M que resultaram nessas distribuições foram +0,000 34 (8 837 K) e -0,000 31 (8 977 K).

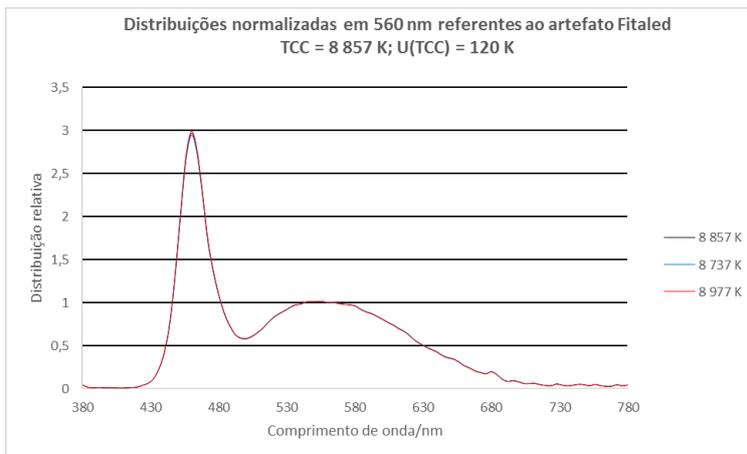


Figura 3. Distribuição original (TCC = 8 857 K) e distribuições ajustadas (8 737 K e 8 977 K)

Para melhor comparação das distribuições, a figura 4 apresenta as distribuições da figura 3, ampliando-se 50 vezes as diferenças para a curva de referência.

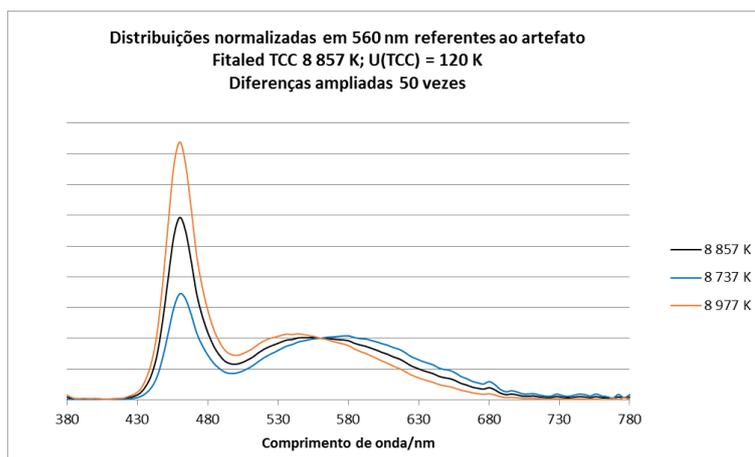


Figura 4. Distribuição original (TCC = 8 857 K) e distribuições ajustadas (8 737 K e 8 977 K), com as diferenças para a curva de referência ampliadas 50 vezes

5. Comparação com resultados obtidos por outro método, no Inmetro

Foi desenvolvido no Laboratório de Metrologia Óptica Primária (Lamop) do Inmetro um método independente, utilizando simulação de Monte Carlo, para estimativa das incertezas em grandezas colorimétricas de fontes luminosas, a partir de medições espectrais de irradiância. Utilizando-se a distribuição espectral, e as respectivas incertezas expandidas de TCC obtidas pelo Lamop na medição de lâmpadas FEL em diversas TCC, foram encontrados os resultados constantes da tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre resultados obtidos pelo Lamop e pelo método apresentado

Tipo de lâmpada/TCC	R_a Lamop	R_a Laraf
Incandescente FEL 2 016 K	99,53 ± 0,44	99,84 ± 0,26
Incandescente FEL 2 302 K	99,53 ± 0,25	99,63 ± 0,51
Incandescente FEL 2 856 K	99,58 ± 0,16	99,60 ± 0,37
Incandescente FEL 3 198 K	99,61 ± 0,13	99,62 ± 0,16

6. Automatização dos cálculos

Foi desenvolvida uma planilha Excel em que as entradas são a distribuição espectral e a incerteza da TCC. O cálculo iterativo para determinar os valores de M é feito utilizando-se uma macro, que gera também os valores de R_a correspondentes às duas distribuições calculadas, que são usadas para a determinação da incerteza de R_a .

7. Conclusão

O método apresentado tem como principal característica a fácil compreensão do processo utilizado para a determinação da incerteza de R_a . A comparação dos resultados com os obtidos por outro método demonstra a sua correção e a viabilidade de sua utilização.

O método também é aplicável a outros critérios de avaliação de reprodução de cores.

8. Agradecimento

O coautor Ivo Ázara agradece o apoio do programa Pronometro, do Inmetro, para o desenvolvimento das pesquisas.

Referências

- [1] CIE 015:2018 *Colorimetry 4th edition*
- [2] CIE S 017:2020 *International Lighting Vocabulary 2nd edition*
- [3] I Ázara, T Menegotto and J Gomes 2021 *J. Phys.: Conf. Ser.* 1826 012061
- [4] Y Ohno 2014 *LEUKOS - J. Illum. Eng. Soc. N. Am.* **10**, 47
- [5] J L Gardner 2000 *Color Res. Appl.* **25** (5), 349
- [6] CIE 013.3:1995 *Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources*