

## Documento técnico EyeComfort1

Atualmente, a qualidade da luz é um fator diferenciador fundamental na iluminação. De uma forma geral, a qualidade da luz refere-se aos aspetos visuais da luz e das respetivas dependências e interação com as pessoas e o ambiente. A instalação de LEDs fornece infinitas possibilidades de diferenciação da qualidade de luz espacial, espectral e temporal. Força-nos a rever a forma tradicional de avaliação da qualidade de luz. A Signify otimiza continuamente os seus produtos através de uma compreensão profunda das necessidades dos utilizadores, do conhecimento de aplicações de iluminação e de conhecimentos científicos. A Signify, líder global em iluminação, tem as suas lâmpadas e luminárias LED no mercado sob a bem conhecida marca Philips.

A Signify criou a marca comercial EyeComfort com base nos seguintes critérios selecionados: cintilação, efeito estroboscópico, segurança fotobiológica, encandeamento, regulação, capacidade de regulação, restituição cromática e ruído audível.

O nosso portfólio de produtos de lâmpadas e luminárias LED é avaliado através destes critérios. Este documento técnico explica estes critérios e, desta forma, a importância da otimização da iluminação.

### Contexto científico

Os LEDs EyeComfort da marca Philips da Signify incorporam os critérios acima mencionados:

#### *1. Cintilação e efeito estroboscópico*

A cintilação e o efeito estroboscópico são Artefactos de Luz Temporais ("TLAs" - Temporal Light Artifacts). Os TLAs são definidos como uma alteração na perceção visual, induzida por um estímulo luminoso, pela luminância ou pela distribuição espectral, que flutua com o tempo para um observador humano num ambiente específico. A cintilação é a perceção de uma instabilidade visual induzida por um estímulo luminoso, pela luminância ou pela distribuição espectral, que flutua com o tempo para um observador estático num ambiente estático. Por outras palavras, é uma flutuação rápida incómoda da luz na sala.

O efeito estroboscópico é diferente da cintilação e é definido como a alteração na perceção de movimento, induzida por um estímulo luminoso, pela luminância ou pela distribuição espectral, que flutua com o tempo para um observador estático num ambiente não estático. Por outras palavras, o efeito estroboscópico resulta numa quebra não natural de um movimento contínuo.

Uma das propriedades dos LEDs é a sua rápida resposta a variações no sinal de entrada. Assim, reproduzem de forma fiel essas flutuações na emissão de luz, potencialmente originando TLAs para os indivíduos no espaço iluminado. As flutuações podem ter proveniência de várias origens, incluindo: perturbações na rede elétrica, interações com controlos (por exemplo, reguladores), perturbações no sinal de entrada provenientes de fontes externas (por exemplo, micro-ondas) e flutuações do controlador eletrónico. Existem métodos de supressão de flutuações na emissão de luz dos LEDs e, em

---

1 O documento técnico EyeComfort pode ser emendado **pela Signify** à medida que informações (adicionais) ficam disponíveis em várias áreas, incluindo Desenvolvimento de Produtos, Investigação, Normas e Regulamentos.

# PHILIPS

simultâneo, diminuição da visibilidade de TLAs indesejáveis. Contudo, estes métodos têm implicações no preço e na eficiência, necessitando também de mais espaço físico, além de diminuírem a vida útil dos produtos LED com qualquer arquitetura.

Até recentemente, eram utilizadas várias medições como o Índice de Cintilação (FI - Flicker Index) e a Taxa de modulação para avaliar a visibilidade da cintilação e do efeito estroboscópico. Nenhuma destas medições é adequada à previsão daquilo que as pessoas percebem ou experienciam. A visibilidade da cintilação e do efeito estroboscópico são afetados pela taxa de modulação, frequência, forma de onda e ciclo de trabalho, sendo que estas medições não têm em consideração todos estes parâmetros. Assim, foram desenvolvidos modelos científicos com base no Sistema Visual Humano, relacionado com a percepção visual dos humanos, que é parte do sistema nervoso que nos permite ver. Uma medição TLA mais robusta para a cintilação é  $P_{st}^{LM}$  e para o efeito estroboscópico é SVM [1,2]. Estas medições são aceites pela Lighting Europe [3] e pela NEMA [4], sendo usadas na avaliação da iluminação LED EyeComfort da marca Philips da Signify. Estão a ser investigadas melhorias contínuas das medições de TLA.

A definição habitual do limiar de visibilidade absoluto é o ponto no qual o observador consegue detetar esta percepção em 50% do tempo [2]. Isto significa que uma pessoa não tem a certeza se vê ou não o efeito de cintilação e opta por responder com "Vejo em 50% do tempo". Não se trata de o observador ter uma ideia clara de que vê a cintilação 50% do tempo e uma ideia clara de que não a vê nos outros 50%. Em vez disso, o nível de 50% é aquele em que a decisão de que vê ou não é uma possibilidade. Dado o acima referido, o requisito para ausência de cintilação visível é definido como  $P_{st}^{LM} \leq 1,0$  e é baseado na norma IEC 61000-4-15 **Error! Reference source not found.** e NEMA 77-2017 **Error! Reference source not found.**. A medição de  $P_{st}^{LM}$  é efetuada de acordo com a norma IEC TR 61547-1, 2.<sup>a</sup> edição **Error! Reference source not found.**.

## *Porque devemos preocupar-nos com a cintilação e com o efeito estroboscópico?*

Produtos de iluminação que apresentam cintilação ou efeito estroboscópico são considerados como iluminação de qualidade inferior [5-14]. Os TLAs são não só incómodos para as pessoas, como também têm impacto no conforto dos olhos, no conforto geral e no desempenho visual. Mais especificamente, os TLAs visíveis podem diminuir o desempenho das tarefas visuais, causar desconforto ocular (olhos cansados), aumentar a ocorrência de dores de cabeça e causar incómodo. Estudos revelam que, em determinados casos, a cintilação visível pode desencadear ataques epiléticos [5-14]. Com isto em mente, os produtos LED EyeComfort da marca Philips da Signify foram concebidos para minimizar a cintilação e o efeito estroboscópico visíveis.

## *2. Segurança fotobiológica*

### *Perigo de luz azul*

O perigo de luz azul é o dano fotoquímico da retina e depende da composição espectral, intensidade e tempo de exposição do olho. A IEC (International Electrotechnical Commission - Comissão Eletrotécnica Internacional) desenvolveu uma norma para avaliação da segurança fotobiológica [16]. As fontes são classificadas em 4 grupos de risco (0 = sem risco, 3 = risco elevado).

Grupo de risco 0: a lâmpada não constitui um perigo fotobiológico

Grupo de risco 1: sem perigo fotobiológico sob limitações comportamentais normais

# PHILIPS

Grupo de risco 2: não constitui um perigo devido à resposta de aversão à luz brilhante ou ao desconforto térmico

Grupo de risco 3: perigosa, mesmo que seja exposição momentânea

Um mal-entendido comum nos média é a ideia de que a iluminação LED contém porções mais elevadas de comprimentos de onda azul e é, assim, mais passível de causar perigo de luz azul. Isto foi investigado e medido rigorosamente pela Global Lighting Association, que comparou o conteúdo espectral de diferentes tecnologias de iluminação e a norma acima mencionada, em conjunto com o contributo de vários cientistas [15].

As principais descobertas científicas são [15]:

- Relativamente ao perigo de luz azul, as lâmpadas LED não são diferentes das tecnologias convencionais, tais como lâmpadas incandescentes e fluorescentes. A porção de azul na iluminação LED não é diferente daquela presente noutras tecnologias na mesma temperatura de cor.
- Uma comparação entre produtos LED adaptados e os produtos convencionais que se destinam a substituir revela que os níveis de risco são bastante semelhantes e claramente dentro do intervalo não crítico.
- As fontes (lâmpadas ou sistemas) e luminárias LED que se posicionam nos grupos de risco 0 ou 1, conforme definido pela IEC, podem ser utilizadas pelos consumidores.

## *Ultravioletas*

As fontes de luz baseadas em LED para utilização pelos consumidores não contêm qualquer energia na parte UV do espectro e, assim, não são nocivas para pessoas com maior sensibilidade à luz UV.

## *Infravermelhos*

Em contraste com as lâmpadas incandescentes e de halogéneo, os LEDs praticamente não emitem infravermelhos (IV). Para fontes de luz LED para o consumidor não existe qualquer risco, dados que a radiação IV não é suficientemente forte.

A segurança ótica é regida por normas e diretrizes internacionais [16,17]. Os produtos LED EyeComfort da marca Philips da Signify estão todos classificados como sendo de Grupo de risco 0 ou 1 (RG0/RG1), o que significa que a utilização de tais produtos LED não constitui um risco fotobiológico sob limitações comportamentais normais ou que a lâmpada não constitui qualquer risco fotobiológico.

## *3. Encandeamento*

O encandeamento é um dos principais fatores de insatisfação em relação a uma iluminação confortável. O encandeamento pode ser dividido em encandeamento incapacitante e encandeamento desconfortável. O encandeamento incapacitante refere-se à redução do desempenho visual causado pela fonte do encandeamento no campo de visão. O encandeamento desconfortável é definido como a sensação de desconforto causada por fontes de luz brilhantes. A sensação de desconforto depende de muitos parâmetros, tais como a luminância, a área e a posição da fonte no campo de visão, condições de luz de fundo, tipo de atividade e duração da exposição a uma fonte brilhante. Durante anos, os investigadores tentaram quantificar a quantidade de desconforto visual. A avaliação do encandeamento em locais de trabalho interiores (ambiente profissional) é geralmente efetuada utilizando a medição de

# PHILIPS

UGR (Unified Glare Rating - Classificação de encandeamento unificada). Esta medição é baseada nos níveis de luminância médios calculados a partir de uma distribuição de intensidade de campo distante. Nas soluções de iluminação LED, são frequentes as janelas de saída não uniformes ou pixelizadas com elevada luminância. Estudos demonstraram que as janelas de saída pixelizadas que têm a mesma luminância média das janelas de saída uniformes (e, assim, o mesmo valor UGR) resultam num maior encandeamento desconfortável [19-35]. Isto significa que a UGR atual nem sempre é adequada para utilização com janelas de saída não uniformes.

A investigação da aplicabilidade ou melhoria da UGR atual e a exploração de formas alternativas de prever o encandeamento desconfortável constituem um tópico de investigação significativo. As melhorias à UGR atual visam principalmente a correção do índice de posição na fórmula da UGR, de modo a ter a dependência do ângulo de visão em consideração, a correção da luminância média, a correção da superfície luminosa observada e a correção geral, através da introdução uma constante adicional para exprimir o contraste de luminância na fonte do encandeamento [36-44]. As sugestões para métodos alternativos de descrição do encandeamento são baseadas na criação de modelos dos campos de receção retinianos do Sistema Visual Humano (SVH) e na aplicação deste modelo aos mapas de luminância da sala para avaliar o encandeamento desconfortável [34]. A última abordagem é idêntica às medições dos TLA, que também são baseadas na modelação do sistema visual humano.

Não existe atualmente uma medição de encandeamento disponível para quantificação do mesmo nas lâmpadas para o consumidor. Além disso, o encandeamento percebido de uma lâmpada também depende da aplicação. Uma lâmpada destapada sobre a mesa, junto ao observador e à altura dos olhos, produzirá mais encandeamento do que a mesma lâmpada num abajur no canto da sala. De uma forma geral, o encandeamento é causado por uma combinação de luminância elevada, contraste elevado e tamanho da fonte. As medidas antiencandeamento devem centrar-se em, pelo menos, uma destas causas: diminuir a luminância, reduzir o contraste ou reduzir o tamanho da fonte. No portefólio de iluminação LED da marca Philips da Signify, as lâmpadas com e sem controlo de encandeamento identificadas. Um equipamento com controlo de encandeamento contém materiais de difusão e/ou um componente pixelizado na parte superior da lâmpada e cria a perceção de menor encandeamento quando comparado com equipamentos sem qualquer controlo de encandeamento no mesmo fluxo e na mesma adaptação de fundo. Não se encontra atualmente disponível uma boa medição de encandeamento para lâmpadas e constitui um tópico de investigação para o futuro.

## *4. Regulação*

A funcionalidade de regulação dos produtos LED é definida como a possibilidade de alterar a intensidade da luz de acordo com a preferência do utilizador. A funcionalidade de regulação dos produtos LED permite criar a atmosfera ou a iluminação de tarefas perfeitas em cada ambiente. As pessoas poderão pretender regular a iluminação artificial por vários motivos. Em primeiro lugar, pretendem ter a possibilidade de alterar a atmosfera do ambiente (iluminação com menor intensidade e acolhedora, mais brilhante e energética). Em segundo lugar, a funcionalidade de regulação disponibiliza diferentes níveis de fluxo ao longo do dia, com base em diferentes atividades ou dependendo dos níveis de luz exterior. Por exemplo, à noite poderá pretender regular os níveis de luz para reduzir o contraste entre o ambiente escuro e a luz LED, de modo a reduzir o potencial encandeamento. Por fim, a funcionalidade de regulação é utilizada para poupança de energia.

# PHILIPS

Uma fraca implementação da funcionalidade de regulação pode criar algum desconforto ou efeitos indesejados, tais como cintilação visível em níveis de regulação mais extensa, transições irregulares, níveis de luz mínima elevados. Estes problemas têm origem no circuito do controlador LED, em variações na amplitude de tensão da rede elétrica, nas cargas conectadas à rede elétrica e na interação com o regulador. O design de componentes eletrônicos inteligentes resolve o problema da regulação extensa que suprime variações repetitivas e/ou irregulares no nível de luz.

Os produtos reguláveis da gama LED EyeComfort da marca Philips da Signify fornecem regulação gradual em predefinições (SceneSwitch) ou contínua em toda a gama de intensidade.

## 5. Capacidade de regulação

A iluminação LED regulável pode ser definida em três categorias:

1. Regulação da intensidade suave: capacidade de simular o comportamento das lâmpadas incandescentes (por exemplo, quedas de CCT de 2700 K-2200 K durante a regulação)
2. Branco regulável: capacidade de alterar o tom branco de uma luz (por exemplo, 2700 K - 6500 K)
3. Cor regulável: capacidade de alterar a cor da iluminação (RGB)

A regulação de uma lâmpada incandescente proporciona uma experiência de luz diferente da regulação de luzes LED brancas normais. Devido à tecnologia utilizada, uma lâmpada incandescente em espiral aquece menos durante a regulação e, desta forma, emitirá menos luz branca avermelhada (temperatura de cor mais baixa). Em contraste, a cor do LED não se altera durante a regulação. Assim, a lâmpada incandescente proporciona uma variação de intensidade e de temperatura de cor, enquanto que o LED apenas proporciona uma variação de intensidade, permanecendo a temperatura de cor inalterada.

As pessoas apreciam a definição suave nos níveis de luz baixos para criar atmosferas agradáveis e acolhedoras [45], mas isto pode variar dependendo da região. Alguns LEDs EyeComfort da marca Philips da Signify disponibilizam a funcionalidade de regulação WarmGlow. Através da combinação de dois LEDs diferentes (2200 K e 2700 K), é possível simular o comportamento de regulação de uma lâmpada incandescente. A funcionalidade WarmGlow está disponível em duas variações. SceneSwitch, com definições fixas, e regulação WarmGlow suave em todo o intervalo de regulação. (2700 K-2200 K).

Em conjunto com o efeito de criação da atmosfera, uma funcionalidade de regulação combinada com uma alteração de CCT também tem vantagens relativamente ao ritmo circadiano das pessoas. O nosso relógio biológico diz-nos quando temos de acordar e quando temos de adormecer. A intensidade e o espetro de ação da luz são dois dos parâmetros que controlam essas respostas [46]. Uma luz de alta intensidade que contenha bastante azul faz-nos sentir acordados e alertas, enquanto que uma luz de baixa intensidade que contenha uma baixa quantidade de azul desencadeia a libertação de melatonina, a hormona do sono, que nos deixa sonolentos. A investigação demonstrou que uma iluminação brilhante com uma forte componente azul é aconselhável de manhã, de modo a ajudar a acordar, e deve ser evitada à noite, dado que suprime a produção de melatonina e torna mais difícil adormecer. Ambientes regulados e com CCT suave à noite são ideais para um ritmo biológico tranquilo [46].

Os LEDs EyeComfort da marca Philips da Signify com a funcionalidade de regulação WarmGlow suportam a função de criação da atmosfera e o ritmo circadiano das pessoas.

## 6. Restituição cromática

A qualidade de cor está relacionada com a preferência e avaliação da percepção que os utilizadores têm da iluminação numa determinada aplicação. A qualidade de cor de fontes de luz brancas tem impacto na aparência do espaço, dos objetos e dos seres humanos. Uma fraca qualidade de cor pode reduzir a discriminação visual e a restituição precisa de espaços, pessoas ou objetos iluminados. Por exemplo, os tons da pele das pessoas, das plantas e dos alimentos podem parecer esbatidos ou pouco saturados sob iluminação com baixa restituição cromática e/ou baixa saturação de cor.

A restituição cromática de uma fonte de luz branca é definida como o efeito que um dispositivo de iluminação tem na aparência das cores dos objetos, através da comparação consciente ou subconsciente com a aparência das respetivas cores sob um dispositivo de iluminação de referência [47]. O índice de restituição cromática geral (IRC-Ra) é utilizado para medir e especificar a capacidade de restituição cromática de uma fonte de luz branca com base num conjunto de oito amostras de cores de teste (TCS - test-color samples) específicas moderadamente saturadas CIE 1974. Um IRC de 100 significa que a restituição cromática sob a fonte de teste é igual quando comparada à restituição cromática sob a fonte de referência (sendo a referência uma fonte incandescente para CCTs <5000 K)

A preferência dos utilizadores não é sempre diretamente associada ao valor do IRC. Uma fonte com IRC mais elevado nem sempre é a preferida. A saturação de cor (nitidez), especialmente a saturação de vermelhos, também tem um importante papel na preferência [48,49,50]. Geralmente, as pessoas preferem alguma sobressaturação, dado que os objetos parecem mais coloridos. A preferência do aspeto do tom de pele também é diferente, dependendo das culturas.

É importante encontrar o equilíbrio certo entre a fidelidade cromática (IRC) e a saturação de cor para uma aplicação específica. Os LEDs EyeComfort da marca Philips da Signify têm como objetivo melhorar a diferenciação cromática e a estética através da utilização de LEDs com boas propriedades de qualidade de cor.

## 7. Ruído

Os LEDs podem sofrer de ruído audível, especialmente quando utilizados em níveis de regulação extensa. As tensões e a corrente produzidas podem criar ressonância mecânica nos componentes. Este ruído pode ser percecionado como bastante incómodo e desconfortável. É este o motivo pelo qual o programa Energy Star estabeleceu requisitos para os níveis de ruído audível.

De acordo com os requisitos Energy Star para ruído audível, as lâmpadas não deverão emitir ruído acima dos 24 dBA a 1 metro de distância [51]. Este limiar não é suficientemente rigoroso para lâmpadas numa sala de estar completamente silenciosa (cerca de 20 dBA) ou para lâmpadas localizadas junto a pessoas (luz de leitura, candeeiro de mesa de cabeceira). Todos os produtos LED EyeComfort da marca Philips da Signify estão de acordo com os regulamentos publicados.

Referências:

[1] Małgorzata Perz, Dragan Sekulovski, Ingrid Vogels & Ingrid Heynderickx (2017): Quantifying the Visibility of Periodic Flicker, LEUKOS, DOI: 10.1080/15502724.2016.1269607

# PHILIPS

- [2] IEC CIE TN 006:2016, Visual Aspects of Time-Modulated Lighting Systems – Definitions and Measurement Models, Setembro de 2016: [http://files.cie.co.at/883\\_CIE\\_TN\\_006-2016.pdf](http://files.cie.co.at/883_CIE_TN_006-2016.pdf).
- [3] [https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope\\_-\\_position\\_paper\\_-\\_flicker\\_and\\_stroboscopic\\_effect\\_-\\_final.pdf](https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope_-_position_paper_-_flicker_and_stroboscopic_effect_-_final.pdf)
- [4] [http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?\\_sm\\_au\\_=i5VMrMH4n4J8p7jb](http://www.nema.org/Standards/Pages/Temporal-Light-Artifacts-Flicker-and-Stroboscopic-Effects.aspx?_sm_au_=i5VMrMH4n4J8p7jb)
- [5] WILKINS, A., VEITCH, J., LEHMAN, B. 2010. LED Lighting Flicker and Potential Health Concerns: IEEE Standard PAR1789 Update. Em IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) de 2010, 171–78.
- [6] Jaen, M., J. Sandoval, E. Colombo, and T. Troscianko, “Office workers visual performance and temporal modulation of fluorescent lighting,” LEUKOS, vol. 1, pág. 27–46, 2005.
- [7] Veitch, J. A., and S. L. McColl, “Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort,” Lighting Research and Technology, vol. 27, pág. 243, 1995.
- [8] Wilkins, A.J., Nimmo-Smith, I.M., Slater, A. and Bedocs, L. (1989) Fluorescent lighting, headaches and eye-strain. Lighting Research and Technology, 21(1), 11-18.
- [9] Arnold Wilkins, Brad Lehman. Biological effects and health hazards from flicker, including flicker that is too rapid to see. 2/15/10, IEEE Standard P1789. <http://grouper.ieee.org/groups/1789>.
- [10] J. D. Bullough, K. S. Hickcox, T. R. Klein and N. Narendran, "Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort," Lighting Research and Technology, vol. 43, pág. 337–348, 2011
- [11] Harding, G. F. A., and P. Jeavons, Photosensitive Epilepsy. Londres: Mac Keith Press, 1994.
- [12] Binnie, C. D., R. A. de Korte, and T. Wisman, “Fluorescent lighting and epilepsy,” Epilepsia, vol. 20, pág. 725–727, 1979.
- [13] Harding, G. F. A., and P. F. Harding, “Photosensitive epilepsy and image safety,” Applied Ergonomics, 16 Out. 2008.
- [14] Fisher, R. S., G. F. A. Harding, G. Erba, G. L. Barkley, and A. Wilkins, “Photic- and pattern-induced seizures: A review for the Epilepsy Foundation of America working group,” Epilepsia, vol. 46, pág. 1426–1441, Set. 2005.
- [15] Global Lighting Association: Optical and Photobiological Safety of LED, CFLs and Other High Efficiency General Lighting Sources
- [16] IEC 62471:2006, Photobiological safety of lamps and lamp systems
- [17] IEC TR 62778, Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources
- [19] EBERBACH, K. (1974). Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur von Lichtquellen auf die Blendempfindung. Lichttechnik 6, pág. 283–286.
- [20] WATERS, C.E., MISTRICK, R.G., BERNECKER, C.A. (1995): Discomfort Glare from Sources of Nonuniform Luminance. Em: Journal of the Illuminating Engineering Society 24 (2), pág. 73–85.
- [21] KASAHARA, T., AIZAWA, D., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Source. Em: Journal of Light and Visual Environment 30 (2), pág. 49–57.
- [22] TAKAHASHI, H., IRIKURA, T., MORIYAMA, T., TODA, M., IWAMOTO, M. (2007): Discomfort glare and annoyance caused by white LED lamps, Debate da 26.ª Sessão da CIE, Pequim, China, pág. D1-80–D1-83
- [23] LEE, CH.-M., KIM, H., CHOI, D.-S. (2007): A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires. Em: CIE (Hg.): Debate da 26.ª Sessão da CIE, Pequim, China, pág. D3-33–D3-36
- [24] JUNG, S.-G., CHO, Y.-I., KIM, H. (2009): A Study of UGR for Non-Uniform Luminance Source. Debate da Lux Europa 2009, Istambul, Turquia, pág. 553–558.
- [25] KIM, W., Kim, J.T. (2010): The scope of the glare light source of the window with non-uniform luminance distribution, Debate do 3.º International Symposium on Sustainable Healthy Buildings, Seul, Coreia, pág. 253–271

- [26] TASHIRO T., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T., AYAMA, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement. Debate da 27.ª Sessão da CIE, Sun City, África do Sul, pág. 583–588.
- [27] BULLOUGH, J.D. (2011): Luminance versus luminous intensity as metric for discomfort glare. SAE International, DOI: 10.4271/2011-01-0111.
- [28] BULLOUGH, J.D., SWEATER HICKCOX, K. (2012): Interactions among light source luminance, illuminance and size on discomfort glare. SAE International, DOI: 10.4271/201201-0269
- [29] HARA, N., HASEGAWA, S. (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. Em: Journal of Illuminating Engineering Institute Japan 96 (2), pág. 81–88.
- [30] ERDEM, L., TRAMPERT, K., NEUMANN, C. (2012): Evaluation of Discomfort Glare from LED lighting systems. Debate da Balkan Light 2012, Belgrado, pág. 213–220.
- [31] AYAMA, M., TASHIRO, T., KAWANOBE, S., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T. (2013): Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements, Debate da CIE Centenary Conference, Paris, França, pág. 119–122
- [32] GEERDINCK, L.M., VAN GHELUWE, J.R., VISSENBERG, M.C.J.M. (2014): Discomfort glare perception of non-uniform light sources in an office setting, Journal of Environmental Psychology, 39, pág. 5–13
- [33] FUNKE, C., SCHIERZ, CH. (2015): Extension of the Unified Glare Rating Formula for NonUniform LED Luminaires. Debate da 28.ª Sessão da CIE, Manchester, Reino Unido, pág. 1471– 1480
- [34] DONNERS, M.A.H., VISSENBERG, M.C.J.M., GEERDINCK, L.M., VAN DEN BROEK-COOLS, J.H.F., BUDDEMEIJER-LOCK, A. (2015): A psychophysical model of discomfort glare in both outdoor and indoor applications. Debate da 28.ª Sessão da CIE, Manchester, Reino Unido, pág. 1602–1611
- [35] YANG, Y., LUO, M.R., MA, S.N. (2016): Assessing glare. Part 2: Modifying Unified Glare Rating for uniform and non-uniform LED luminaires. Lighting Research & Technology, 2016
- [36] TAKAHASHI, H., KOBAYASHI, Y., ONDA, S., IRIKURA, T. (2007): Position Index for the Matrix Light Source. Em: Journal of Light and Visual Environment 31 (3), pág. 128–133.
- [37] HARA, N. (2016): Visual characteristics for evaluating the discomfort glare – relationship between the position, size, array of the LED chips, and BCD on the discomfort glare. Debate da CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”, Melbourne, Austrália, pág. 704–707.
- [38] YANG, Y., MA, S.N., LOU, M.R., LIU, X.Y. (2015): Discomfort glare by non-uniform white LED matrices. Debate da 28.ª Sessão da CIE, Manchester, Reino Unido, pág. 393–399.
- [39] CHEN, M.K., CHOU, C.J., CHEN H.S. (2016): Assessment of glare rating from non-uniform light sources. Debate da CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”, Melbourne, Austrália, pág. 697–703.
- [40] TASHIRO T., KIMURA-MINODA, T., KOHKO, S., ISHIKAWA, T., AYAMA, M. (2011): Discomfort Glare Evaluation to White LEDs with Different Spatial Arrangement. Debate da 27.ª Sessão da CIE, Sun City, África do Sul, pág. 583–588.
- [41] SCHEIR, G.H., HANSELAER, P., BRACKE, P., DECONINCK, G., RYCKAERT, W.R. (2015): Calculation of the Unified Glare Rating based on luminance maps for uniform and non-uniform light sources. Building and Environment 84 (2015), pág. 60–67.
- [42] ŠKODA, J., SUMEC, S., BAXANT, P., KRBAL, M., PARMA, M. (2015): Measurement of discomfort glare through luminance analyser, Debate da 28.ª Sessão da CIE, Manchester, Reino Unido, pág. 1373–1381.
- [43] KOGA, S., HIGASHI, H., KOTANI, T. (2013): The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place. The modification of G-classification using luminance distribution of luminous parts, Debate da CIE Centenary Conference, Paris, França, pág. 657–662.
- [44] YANG, Y., MA, S.N., LUO, M.R. (2016): Glare model for non-uniform white LED luminaires. Debate da CIE 2016 “Lighting Quality and Energy Efficiency”, Melbourne, Austrália, pág. 451–456.
- [45] Seuntiens, P.J.H. & Vogels, Ingrid. (2008). Atmosphere creation: The relation between atmosphere and light characteristics. Debate da 6.ª Conference on Design and Emotion 2008.

# PHILIPS

- [46] Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner E, Rollag MD. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci.* 2001;21:6405–6412.
- [47] CIE 013.3-1995 - Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources
- [48] Teunissen C, van der Heijden FFW, Poort SHM, de Beer E. Characterising user preference for white LED light sources with CIE color rendering index combined with a relative gamut area index. *Lighting Research and Technology* 2017; 49: 461–480.
- [49] Royer, MP, Wilkerson, A, Wei, M, Houser, K, Davis, R. Human perceptions of color rendition vary with average fidelity, average gamut, and gamut shape. *Lighting Research and Technology* 2017; 49: 992–1014.
- [50] Tang, X & Teunissen, Kees. The appreciation of LED-based white light sources by Dutch and Chinese people in three application areas. *Lighting Research & Technology* (2018)
- [51] Energy Star, Energy Star Program Requirements for Lamps (light bulbs), Eligibility criteria version 1.1.
- [52] IEC TR 61547-1:2017, Equipment for general lighting purposes – EMC immunity requirements – Part 1: An objective voltage fluctuation immunity test method, edition 2.
- [53] IEC 61000-4-15, Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-15: Testing and measurement techniques. Flickermeter. Functional and design specifications.
- [54] NEMA 77-2017, Temporal Light Artifacts: Test Methods and Guidance for Acceptance Criteria