XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

A PERCEPÇÃO VISUAL E O ACIONAMENTO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL E DAS PERSIANAS EM ESPAÇOS INTERNOS

Americo Hiroyuki Hara (1); Fernando Oscar Ruttkay Pereira (2)
(1) Mestre, professor, americo.hara@udesc.br, UDESC, Rua Cel. Fernandes Martins, 270. Bairro Progresso. 88790-000. Laguna-SC, (48) 3647-7900.
(2) PhD, professor/pesquisador, ruttkay.pereira@ufsc.br, UFSC, Campus UFSC – Trindade. PósARQ/CTC. Caixa Postal 476. 88040-900. Florianópolis – SC, (48) 3721-9797.

RESUMO
O acionamento das lâmpadas e das persianas tem impacto significativo no consumo de energia elétrica das edificações, portanto, é fundamental estudar como o usuário interage com esses sistemas de iluminação. Este estudo trata sobre o acionamento da iluminação artificial e das persianas ocorrendo em função da percepção visual do usuário quando este se encontra na porta de entrada de uma sala. O objetivo do trabalho é correlacionar as variáveis fotométricas com a percepção visual, o acionamento das lâmpadas e das persianas. A metodologia consistiu na aquisição de dados experimentais realizados em uma sala da UDESC-Laguna-SC por meio da técnica da imagem HDR e de questionários aplicados em 41 participantes. As variáveis analisadas foram o índice de ofuscamento DGI e a luminância média da janela (Lja). O intervalo definido para a situação de lâmpadas desligadas e persianas abertas para o DGI foi entre 18,4 ± 1,0 e 23,8 ± 1,0; abaixo de 18,4 ± 1,0, a percepção visual da sala foi de “Escura” ou “Muito_Escura” e a ocorrência foi de persianas abertas e lâmpadas ligadas; e acima de 23,8 ± 1,0, a percepção visual foi “Muito_Claro”, com mais eventos de persianas fechadas e lâmpadas ligadas. Para Lja, o intervalo que define a situação de lâmpadas desligadas e persianas abertas foi entre 1636 ± 302 cd/m² a 4981 ± 419 cd/m². Quando Lja esteve abaixo de 1636 ± 302 cd/m², as ocorrências foram de lâmpadas ligadas e de persianas abertas, enquanto acima de 4981 ± 419 cd/m², de persianas fechadas e lâmpadas ligadas. Conclui-se diante dos intervalos e valores obtidos, que tais parâmetros podem ser usados como referência para construção de modelos comportamentais a serem usados em simulações para o aperfeiçoamento de projetos de ambientes, com vistas a se considerar o aproveitamento da luz natural.
Palavras-chave: iluminação artificial e natural, percepção visual, atitude do usuário, imagens HDR.

ABSTRACT
The users attitude over electric lighting and the blinds position has a significant impact on the energy consumption of a building. This article considers that visual perception influences the switch on electric lighting and blinds closing. The objective is to correlate the mean window luminance (Lja) and Daylight Glare Index (DGI) with the visual perception from the door position, with the artificial lighting switch on and the blinds down position. The methodology consisted of experiments conducted with 41 participants to collect their visual perception, and switch light on and blinds closing events data. Hdr image technique was applied to get luminance and DGI by using Photosphere and HdrScope software. The variables DGI and the mean window luminance (Lja) were analyzed because they were correlated with the visual perception, the switching lighting on and the blinds down position. For the DGI, the range set for the situation of the lighting off and blinds opened was between 18.4 ± 1,0 and 23.8 ± 1,0; when DGI was below 18.4 ± 1,0, the visual perception of the room is "Dark" or "Very Dark" and the occurrence was to maintain the blinds open and artificial lighting on, and above 23.8 ± 1,0, the visual perception was "Very_bright”, and there were larger events of closing blinds and switched lights on. In relation to mean window luminance, for the luminance between 1636 ± 302 cd/m² and 4981 ± 419 cd/m², the lighting was off and blinds opened. When the luminance of the window was below 1636 ± 302 cd/m², the lighting was on and the blinds opened, and above 4981 ± 419 cd/m², the blinds were closed and artificial lighting on. The conclusion is that the proposed intervals of DGI and mean window luminance can be used to simulate a building energy consumption.
Keywords: artificial lighting, user attitude, daylight, visual perception, HDR images.

1. INTRODUÇÃO

O acionamento das lâmpadas e das persianas tem impacto significativo no consumo de energia elétrica de uma edificação. Entender como o usuário interage com esses sistemas de iluminação considerando sua percepção visual sobre os espaços internos proporcionam a elaboração de projetos mais apropriados.

As explicações sobre o uso da iluminação artificial são diversas, enquanto algumas pesquisas indicam que está vinculado com a disponibilidade de iluminação natural no recinto (HUNT, 1979; LYNES *et al.*, 1997; LOVE, 1998; REINHART; WALKENHORST, 2001; SILVA *et al.*, 2013); outros sugerem que está associado com a ocupação do espaço e a atividade (ASSAF; PEREIRA, 2003; YUN *et al.*, 2012).

Trabalhos tem demonstrado que o acionamento das persianas em escritórios está relacionado com a incidência solar direta (RUBIN, 1978; REA, 1984; MANICCIA *et al.*, 1999) e o desconforto visual na superfície de trabalho (BOYCE; HUNTER; HOLETT, 2003; INKAROJRIT, 2005; 2006; WYMELENBERG; INANICI; JOHNSON, 2010). Entretanto, Wymelenberg, Inanici e Johnson (2010) identificaram que o usuário pode permitir a incidência solar direta pela janela desde que não incida sobre sua área de trabalho.

Wymelenberg (2014) apresenta lacunas nas pesquisas de desconforto visual já realizadas, dentre as quais pode-se citar a necessidade de uma padronização na metodologia de análise de dados, assim como, de um procedimento de captura e calibração de imagens HDR de forma consistente e reprodutível, e da escassez de instrumentos de coleta de dados subjetivos.

Dessa forma, este estudo se baseia no argumento de que o acionamento da iluminação artificial e das persianas ocorre em função da percepção visual quando o usuário que é o observador encontra-se na porta de entrada da sala, pois é quando avalia as condições de iluminação do espaço e poderá atuar sobre os sistemas de iluminação almejando seu conforto visual, conforme representado na Figura 1.

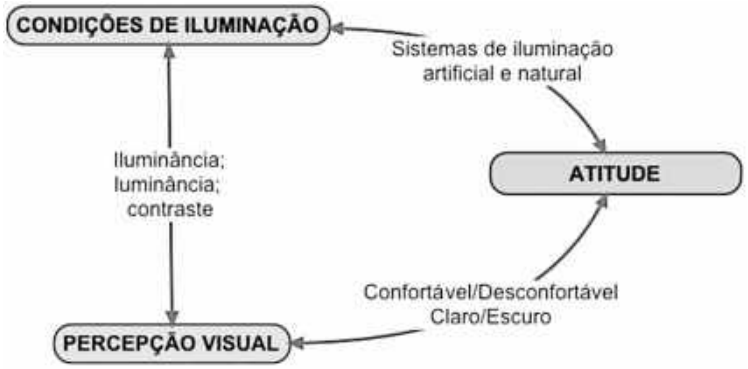


Figura 1. Relação dos 3 aspectos estudados. FONTE: os autores.

Neste trabalho as condições de iluminação foram analisadas mediante medições da iluminância vertical e a geração da imagem HDR para a obtenção das luminâncias e dos índices de ofuscamento com base nos estudos realizados por Inkarojrit (2005), Jacobs (2007), Wymelenberg, Inanici e Johnson (2010).

A luminância é o valor do brilho de uma superfície ou fonte luminosa expressa em cd/m² (IESNA, 2000). O índice DGI indica a ocorrência de desconforto visual por contraste e considera a possibilidade de ofuscamento gerada por fontes grandes, como as janelas, por exemplo (JAKUBIEC; REINHART, 2012).

A caracterização da percepção visual sobre as condições de iluminação na sala foi realizada por meio de um questionário baseado nos estudos realizados por Iwata *et al.* (1990), Eklund e Boyce (1995); Pineault e Dubois (2008) e Wymelenberg, Inanici e Johnson (2010). Além disso, por envolver seres humanos, a pesquisa foi submetida e aprovada por um comitê de ética (protocolo nº 50831215.7.0000.0121).

2. OBJETIVO

O objetivo geral do trabalho é correlacionar as variáveis fotométricas e de desconforto visual com a percepção visual e a atitude do usuário sobre o acionamento das lâmpadas e das persianas.

3. MÉTODO

A metodologia adotada consistiu na instrumentalização para a aquisição dos dados de percepção visual, na mensuração das variáveis fotométricas, na verificação do acionamento das lâmpadas e das persianas, na preparação do local para a realização dos experimentos e nos procedimentos para a análise dos dados. Dessa forma, os resultados obtidos foram analisados e tabelados e os comportamentos observados dos indivíduos que participaram desta pesquisa puderam ser correlacionados.

3.1. Dos instrumentos

Os instrumentos utilizados neste estudo foram os sensores Hobo U-12 para medição de iluminância, uma câmera fotográfica semi-profissional acoplada a uma lente grande angular de 180º (olho de peixe) para a avaliação do campo visual, e um questionário tipo Likert para avaliar a percepção visual. A pontuação das respostas às questões variou de 1 a 5, sendo: 1-Muito_Escuro; 2-Escuro; 3-Nem_Escuro/Nem_Claro; 4-Claro e 5-Muito_Claro.

A calibração dos sensores Hobo U-12 foi realizada comparando-se os valores com o luxímetro Minolta disponibilizado pelo LabCon /UFSC e considerou as recomendações de Hiscoks (2011). A calibração da câmera fotográfica foi realizada conforme Jakubiek, *et al*., (2016).

3.2. Preparação do local para a realização dos experimentos

Os experimentos ocorreram na sala da UDESC, em Laguna/SC, (ver Figura 2).



Figura 2. Localização do UDESC/CERES em Laguna/SC e a indicação do local para os experimentos (círculo em vermelho). FONTE: os autores.

A sala onde ocorreu o experimento apresenta uma janela que ocupa em torno de 60% da área total do fechamento e o restante, 40%, é parede. A janela está orientada a noroeste e possui persianas verticais. Devido à orientação da janela, a sala recebe insolação no período vespertino durante o ano todo. Para o experimento, a sala foi climatizada a uma temperatura média de 24ºC e ambientada com mobiliário de escritório, com duas mesas, duas cadeiras estofadas, dois armários, quadro decorativo e lixeira. O corredor de acesso à sala apresenta tijolo de vidro em uma das laterais.

A Figura 3 apresenta a planta baixa com as dimensões dos espaços e fotos do corredor e da porta da sala representando a perspectiva dos participantes da pesquisa. O ponto A indica a posição onde os participantes se colocaram para responder o questionário de percepção visual e, onde foram realizadas as medições de iluminância vertical a 1,6 m do piso, e o registro das fotos para gerar as imagens HDR.

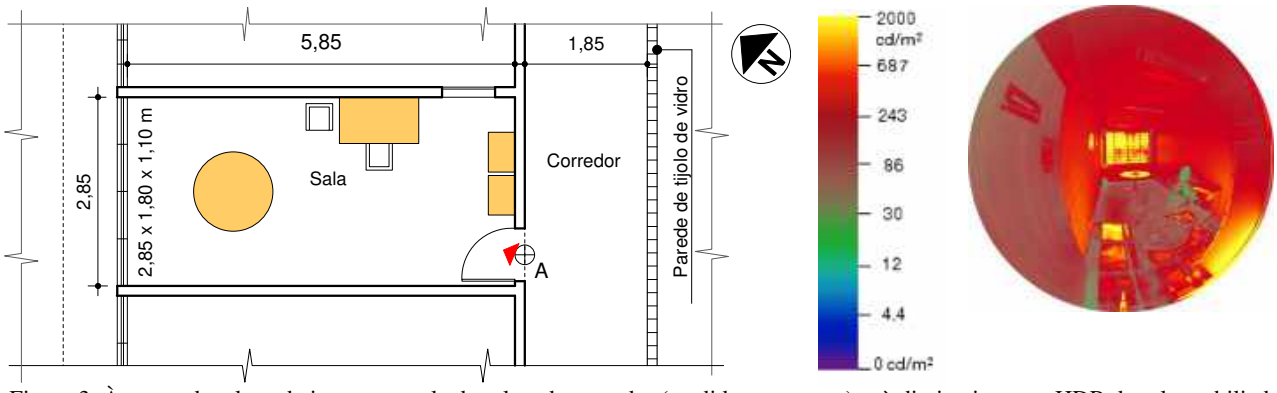


Figura 3. À esquerda, planta baixa sem escala da sala e do corredor (medidas em metro) e, à direita, imagem HDR da sala mobiliada e a janela ao fundo. FONTE: os autores.

Antes de iniciar cada experimento, todas as lâmpadas da sala eram desligadas e as persianas abertas para o máximo aproveitamento da luz natural. Os participantes deveriam considerar a sala como um escritório e solicitar (se fosse o caso) o fechamento das persianas conforme a necessidade. O fechamento das persianas era realizado pelo pesquisador, sem a possibilidade de mantê-las parcialmente abertas. O tempo do experimento com cada indivíduo foi em média de 20 minutos.

Os experimentos foram realizados nos dias 30/05, 05/06, 06/06, 12/06, 15/08 e 22/08 de 2017, devido à maior incidência solar na janela. Foram selecionados ao acaso, 41 indivíduos entre estudantes de arquitetura e técnicos-administrativos.

3.3. A Análise dos dados

A análise considerou 10 variáveis correspondentes aos três aspectos de investigação, conforme apresentada no Quadro 1.

Quadro 1. Demonstração das variáveis de investigação.

Variáveis fotométricas e desconforto visual	Variáveis de percepção visual	Atitude do usuário
Iluminância vertical na porta da sala a 1,6m do piso - Ev_Porta	Percepção visual da iluminação da sala	Acionamento do sistema de iluminação artificial - AC. ILM. ART.
Luminância média da cena (Lm_porta)		Acionamento do sistema de iluminação natural - AC. ILUM. NAT.
Luminância média da janela (Lja)		
Luminância média da mesa (L_mesa)		
Contraste da Janela e seu entorno		
DGP-Sala		
DGI- Sala		

FONTE: os autores.

As variáveis consideradas no estudo foram a iluminância vertical a distribuição das luminâncias dentro do campo visual e o índice de ofuscamento DGI. A distribuição de luminâncias foi realizada por meio das imagens HDR geradas no programa Photosphere. Para obtenção do índice DGI utilizou-se o programa específico HDRScope. A ocorrência de ofuscamento pode ser identificada a partir de um intervalo de valores em função da sensação visual do observador, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2. Intervalo dos valores do índice DGI segundo JAKUBIEC; REINHART (2012).

	Imperceptível	Perceptível	Desconfortável	Intolerável
DGI	< 18	18 - 24	24 – 31	> 31

Para realizar as análises de correlação linear das variáveis quantitativas, os dados qualitativos foram transformados em ordinais (MEDRI, 2011). As análises das variáveis qualitativas e das quantitativas foram realizadas segundo o coeficiente de Person (r) com p<0,001.

Além disso, por meio das análises de variância (ANOVA), buscou-se identificar as médias das variáveis fotométricas que caracterizaram a situação de lâmpadas ligadas e desligadas e de persianas abertas e fechadas. Os testes estatísticos foram realizados por meio do programa Jasp (versão 0.9.2).

A análise dos resultados buscou evidenciar respostas que abarcaram a relação entre:

I. A percepção visual e as variáveis fotométricas e de desconforto visual;
II. O acionamento das lâmpadas e as variáveis fotométricas e de desconforto visual;
III. O acionamento das persianas e as variáveis fotométricas e de desconforto visual;
IV. A percepção visual e o acionamento das lâmpadas;
V. A percepção visual e o acionamento das persianas.

Assim, foi possível evidenciar as variáveis fotométricas e os limites que caracterizaram a relação entre a percepção visual e o acionamento das lâmpadas e das persianas.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A amostra apresentou as seguintes características: 25 mulheres (62,5%) e 15 homens (37,5%), com idades entre 21 a 40 anos. Quanto à cor dos olhos: 22 apresentavam olhos castanhos (55%), 8, verdes (20%), 5, castanho escuro (12,5%), 1, castanho-claro e 1 (2,5%), olhos azuis (2,5%) e 3 não responderam (7,5%). Quanto à visão: 23 se disseram de visão normal (57,5%), 13, usam óculos de grau (32,5%), 3, lentes de contato (7,5%) e 1 apresentava visão monocular (2,5%).

As variáveis analisadas foram o índice de ofuscamento DGI e a luminância média da janela (Lja), pois foram as que se apresentaram igualmente na caracterização da percepção visual, do acionamento das lâmpadas e das persianas.

4.1. A percepção visual na sala e as variáveis fotométricas e de desconforto visual

As variáveis fotométricas e de desconforto visual que apresentaram relação com percepção visual foram: o índice DGI, DGP, a Luminância média da janela (Lja), a Iluminância vertical na porta (Ev_porta), a Luminância média da cena (Lm_porta) e a Luminância média da mesa (L_mesa).

Entretanto, somente o índice de ofuscamento DGI e a luminância média da janela (Lja) foram analisados por que apresentaram representatividade nos resultados quanto à correlação linear de Pearson. A Tabela 1 apresenta o índice de ofuscamento DGI e a luminância média da janela (Lja) com os coeficientes de correlação (*r-Pearson*) e as médias que caracterizam a percepção visual da sala.

Tabela 1. Correlação da percepção visual da sala em função das variáveis fotométricas e dos índices de ofuscamento. Correlação da percepção visual da sala em função das variáveis fotométricas e dos índices de ofuscamento. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41). p<0,05 (teste Tukey-Kramer).

Variável [unidade de medida]	***r* (*Pearson*) (*p*<0,001)**	**Escuro**	**N_E/N_C**	**Claro**	**Muito_Claro**
DGI-Sala	0,840	10,9 ± 1,3	17,7 ± 0,8	22,0 ± 0,4	23,9 ± 1,1
Luminância Média da Janela -Lja [cd/m²]	0,670	68 ± 18	737 ± 228	3291 ± 416	4591 ± 655
Amostra (N)		5	6	22	8

FONTE: Os autores.

O coeficiente de correlação para a relação do índice DGI e a percepção visual foi significativa ($r = 0,84$). A média para o índice DGI que caracteriza a percepção visual da sala de "Escuro", foi de 10,9 ± 1,3; para "Nem_Escuro/Nem_Claro", de 17,7 ± 0,8; para "Claro", 22,0 ± 0,4 e; para "Muito_Claro", 23,9 ± 1,1, conforme valores apresentados na Tabela 1.

Para a luminância média da janela (Lja), o coeficiente é forte ($r = 0,67$), e os valores para caracterizar a percepção de "Escuro", foi de 68 ± 18 cd/m²; para "Nem_Escuro/Nem_Claro", de 737 ± 228 cd/m²; para "Claro", de 3291 ± 416 cd/m² e; para "Muito_Claro", 4591 ± 655 cd/m² (ver Tabela 1).

Na compilação dos resultados obtidos, observou-se que os mesmos estavam de acordo com o exposto por Jakubiec e Reinhart (2012). A partir disso, foi possível a confecção da Tabela 2 que relacionou a percepção visual e o índice de ofuscamento DGI.

Tabela 2. Relação entre o Índice DGI e a percepção visual da sala.

Intervalos DGI	**Sensação visual**	**Valores de DGI obtidos**	**Percepção visual da sala**
< 18	Imperceptível	10,9 ± 1,3	"Escuro"
18 - 24	Perceptível	17,7 ± 0,8	"Nem_Escuro/Nem_Claro"
		22,0 ± 0,4	"Claro"
24 - 31	Desconfortável	23,9 ± 1,1	"Muito_Claro"
> 31	Intolerável		

FONTE: Os autores.

Destaca-se que a percepção visual de "Nem_Escuro/Nem_Claro" e "Claro" encontram-se na região definida como "Perceptível". Além disso, nenhuma avaliação da sala como "Muito_Claro" apresentou a sensação "Intolerável" (DGI>31), mesmo quando a radiação solar atingia o fundo da sala, próximo da porta.

O gráfico da Figura 4 apresenta a percepção visual em função do índice de ofuscamento DGI. A relação entre a percepção visual da sala e o DGI permitiu evidenciar que o "Escuro" é caracterizado por DGI igual a 10,9, e que para a sensação visual de "Imperceptível" ou "Nem_Escuro/Nem_Claro", o DGI indicou o valor de 17,7, correspondendo à transição de "Imperceptível" para "Perceptível". Para a percepção visual de "Claro", o DGI foi 22,0, definida como "Perceptível", e; para o "Muito_Claro", o DGI foi praticamente 24,0, na transição entre "Perceptível" para "Desconfortável".

O gráfico da Figura 5 apresenta a percepção visual da sala em função das luminâncias médias da janela. Nota-se que a janela apresenta pouco brilho para a percepção visual de "Escuro", caracterizado pela luminância média de 68 cd/m², de "Nem-Escuro/Nem_Claro", por 737 cd/m², de "Claro", por 3291 cd/m² e de "Muito_Claro", por 4591 cd/m².

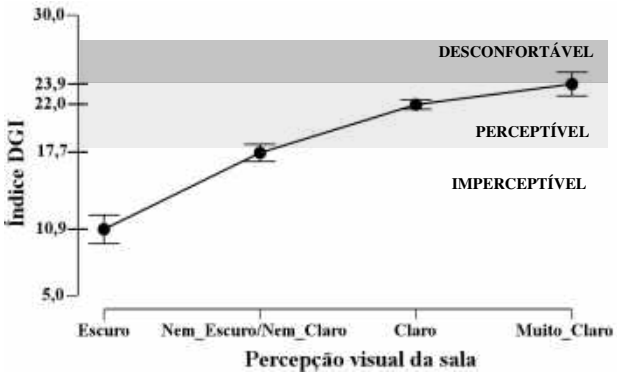


Figura 4. Percepção visual da sala em função do índice de ofuscamento DGI na posição da porta. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41), p<0,05 (teste Tukey-Kramer). FONTE: os autores.

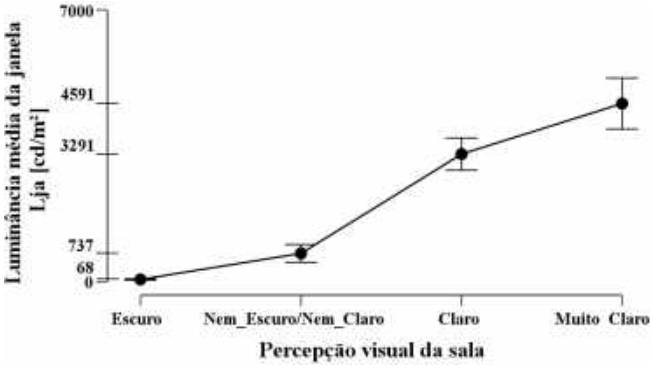


Figura 5. Percepção visual da sala em função da Luminância média da janela. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41), p<0,05 (teste Tukey-Kramer). FONTE: os autores.

4.2. O acionamento das lâmpadas e as variáveis fotométricas e de desconforto visual

As variáveis fotométricas da sala que apresentaram correlação com o acionamento das lâmpadas foram: os índices DGP e DGI e a luminância média da janela (Lja).

A Tabela 3 relaciona o índice DGI e a luminância média da janela (Lja) com o acionamento das lâmpadas, além dos coeficientes de correlação e suas médias.

Tabela 3. Correlação entre o acionamento das lâmpadas e as variáveis fotométricas e dos índices de ofuscamento na porta da sala. Correlação entre o acionamento das lâmpadas e as variáveis fotométricas e dos índices de ofuscamento na porta da sala. Os valores são apresentados com a média +/- e.p.m (N=41), com p<0,05 (teste Tukey-Kramer).

Observador na porta da sala – Variável [unidade de medida]	***r* (*Pearson*) (*p*<0,001)**	**Desligado**	**Ligar**
Índice DGI na porta da sala	-0,399	22 ± 0,8	18,4 ± 1,0
Luminância Média da Janela - Lja [cd/m²]	-0,334	3430 ± 444	1945 ± 502
Amostra (N)		23	18

FONTE: os autores.

Descreve-se a partir da Tabela 3, que o coeficiente de correlação referente ao índice DGI foi considerado como moderado ($r \cong -0,4$) e, o sinal negativo denota que o acionamento das lâmpadas ocorre no sentido oposto, ou seja, o aumento do DGI indica que as lâmpadas permanecerão desligadas.

Essa relação entre o índice DGI e o acionamento das lâmpadas pode ser observada no gráfico da Figura 6. Tem-se também que as lâmpadas foram mantidas desligadas quando a média do índice DGI foi 22,0 ± 0,8 ("Perceptível"), e ligadas quando a média DGI foi 18,4 ± 1,0 (entre "Imperceptível" e "perceptível").

Quanto à luminância média da janela (Lja), que também apresenta correlação moderada e negativa (r = -0,33), as lâmpadas foram ligadas quando Lja foi de 1945 ± 502 cd/m², e as mesmas continuaram desligadas quando Lja foi de 3430 ± 444 cd/m² (ver Figura 7).

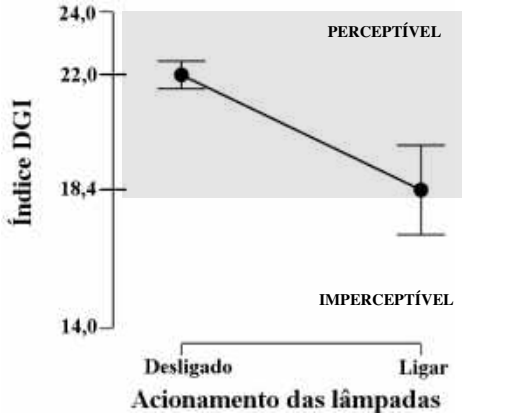


Figura 6. Acionamento das lâmpadas em função do índice de ofuscamento DGI. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41), p<0,05 (teste Tukey-Kramer). FONTE: os autores.

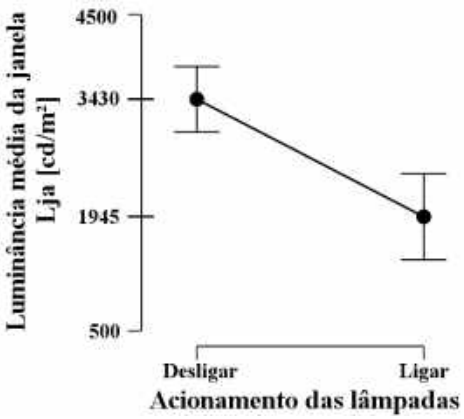


Figura 7. Acionamento das lâmpadas em função da Luminância média da janela. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41), p<0,05 (teste Tukey-Kramer). FONTE: os autores.

Relacionando a percepção visual com o índice DGI e com a luminância média da janela para a situação de acionamento das lâmpadas (DGI = 18,4 ± 1,0), pode-se dizer que as condições de iluminação condizente com um espaço "Nem_Escuro/Nem_Claro", evidenciando a necessidade por mais luz. Neste quesito, a

percepção visual de um espaço de permanência considerado "Muito_Escuro" e "Escuro" também resulta no acionamento da iluminação artificial.

4.3. O acionamento das persianas e as variáveis fotométricas e de desconforto visual

As variáveis fotométricas e os índices de ofuscamento que descrevem a percepção visual em função do acionamento das persianas, são a luminância média da cena (Lm_porta), a iluminância vertical na porta (Ev_porta), luminância da janela (Lja), o contraste da janela e o entorno imediato, os índices DGP e DGI, a luminância da mesa (L_mesa), e os contrastes da janela com o teto da sala e com o piso.

A Tabela 4 apresenta o índice DGI e a luminância média da janela relacionadas com o acionamento das persianas, além dos coeficientes de correlação e suas médias.

Tabela 4. Correlação entre o acionamento das persianas e as variáveis fotométricas e índices de ofuscamento. Correlação entre o acionamento das persianas e as variáveis fotométricas e índices de ofuscamento. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41), p<0,05 (teste Tukey-Kramer).

Observador na porta da sala - Variável	***r* (*Pearson*) (*p*<0,001)**	**Aberto**	**Fechar**
Luminância da Janela - Lja [cd/m²]	0,720	1636 ± 302	4981 ± 419
Índice DGI na porta da sala	0,539	18,7 ± 0,8	23,8 ± 1,0
Amostra (N)		27	14

FONTE: os autores.

A luminância média da janela (Lja) apresentou forte correlação linear com o acionamento das persianas (r = 0,72). A luminância da janela que caracteriza a situação de persianas abertas foi de 1636 ± 302 cd/m² e, fechadas, de 4981 ± 419 cd/m² (ver Figura 8). É interessante destacar que nesse intervalo ocorre o acionamento das lâmpadas, conforme discutido na seção anterior.

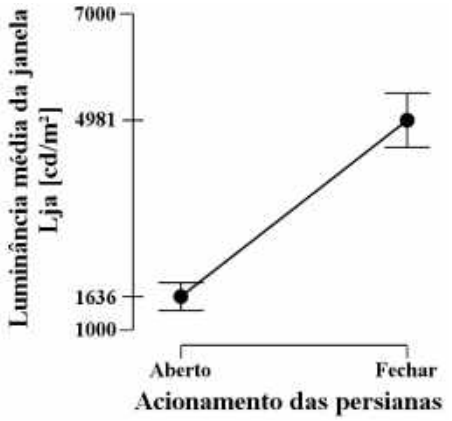


Figura 8. Acionamento das persianas em função da Luminância média da janela na posição da porta. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41). P<0,05 (teste Tukey-Kramer). FONTE: os autores.

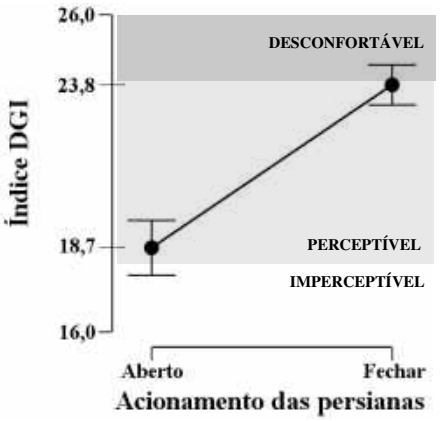


Figura 9. Acionamento das persianas em função do índice de ofuscamento DGI na posição da porta. Os valores estão expressos com a média +/- e.p.m (N=41). P<0,05 (teste Tukey-Kramer). FONTE: os autores.

No caso da análise do índice DGI, o coeficiente de correlação pode ser considerado como médio (r = 0,54) e a ocorrência de persianas fechadas é caracterizada quando DGI foi de 23,8 ± 1,0 (ver Tabela 4). Esse valor situa-se no limite definido pela sensação visual de “Perceptível” e “Desconfortável”, conforme pode-se observar no gráfico da Figura 9 que relaciona o acionamento as persianas em função do índice DGI.

Portanto, o intervalo definido como “Perceptível” aparentemente refere-se à situação em que as condições de iluminação são confortáveis.

4.4. A percepção visual da sala e o acionamento das lâmpadas e das persianas

O acionamento das lâmpadas ocorreu quando a percepção visual da sala foi “Nem_Escuro/Nem_Claro” e, as mesmas permaneceram desligadas quando foi “Claro”, ver Figura 10. Quanto ao acionamento das persianas, ver Figura 11, nota-se que elas foram fechadas quando a percepção visual da sala foi “Nem_Escuro/Nem_Claro” e, permaneceram abertas quando foi “Claro”.

Relacionando os gráficos da Figura 10 e Figura 11, notou-se que enquanto o acionamento da iluminação artificial ocorreu quando a sala se mostrou “Nem_escuro/Nem_Claro”, respectivamente, o fechamento das persianas foi determinado pela percepção de “Claro” a “Muito_Claro” ocasionado principalmente pelo excesso de luz natural proveniente da janela.

“Muito_Claro” “Muito_Claro”

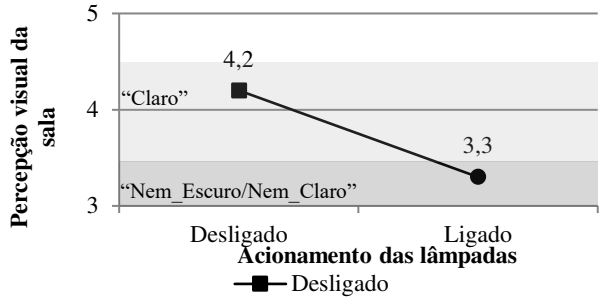


Figura 10. Percepção visual da sala e acionamento das lâmpadas, sendo "Nem_Escuro/Nem_Claro" = 3; "Claro" = 4 e "Muito_Claro"= 5.

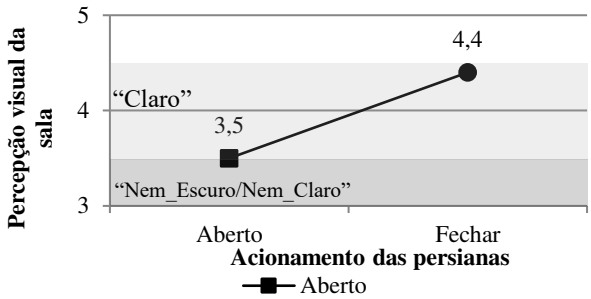


Figura 11. Percepção visual da sala e acionamento das persianas, sendo "Nem_Escuro/Nem_Claro" = 3; "Claro" = 4 e "Muito_Claro"= 5.

É importante destacar que o acionamento das lâmpadas não está relacionado somente quando a percepção visual foi "Nem_escuro/Nem_Claro", mas também, a partir de "Muito_Escuro" e "Escuro".

4.5. A relação do acionamento das lâmpadas e persianas em função do índice DGI

Com base nos resultados apresentados, nota-se que em relação à percepção visual, o índice DGI foi de 10,9 ± 1,3 para "Escuro", de 17,7 ± 0,8 para "Nem_Claro/Nem_Escuro", de 22,0 ± 0,4, para "Claro" e de 23,9 ± 1,0, para "Muito_Claro". No que tange o acionamento das lâmpadas, quando o DGI foi 18,4 ± 1,0, elas eram ligadas e, quando DGI foi 22,0 ± 1,0, elas se mantiveram desligadas. No que se refere ao uso das persianas, o fechamento ocorreu quando o DGI foi 23,8 ± 1,0, ao passo que elas costumavam ficar abertas quando o DGI foi de 18,7 ± 0,8.

Dessa forma, o intervalo para o índice DGI que define o acionamento das lâmpadas e das persianas é apresentado conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Relação entre o DGI e o acionamento das lâmpadas e das persianas.

Índice DGI	**Percepção visual**	**Acionamento das lâmpadas**	**Acionamento das persianas**
DGI < 17,7 ± 0,8 ("Imperceptível")	"Nem_Claro/Nem_Escuro"	Ligar	Aberto
18,4 ± 1,0 < DGI < 23,8 ± 1,0 ("Perceptível")	"Claro"	Desligado	Aberto
DGI > 23,9 ± 1,0 ("Desconfortável")	"Muito_Claro"	Ligar	Fechar

FONTE: Os autores.

Portanto, na posição da porta de acesso à sala, para o índice DGI entre 18,4 ± 1,0 e 23,8 ± 1,0, cujo intervalo corresponde à sensação visual de "Perceptível", as lâmpadas costumavam permanecer desligadas e as persianas abertas. Esse intervalo indica o máximo aproveitamento da iluminação natural no início da ocupação.

4.6. A relação do acionamento da iluminação artificial e das persianas em função da luminância média da janela (Lja)

Conforme exposto, o acionamento das lâmpadas pelos participantes ocorreu quando a luminância média na janela foi de 1945 ± 502 cd/m², ou seja, quando a sala foi considerada "Muito_Escura", "Escura" e "Nem_Escura/Nem_Clara". Por sua vez, as lâmpadas permaneceram desligadas quando a luminância média da janela foi de 3430 ± 444 cd/m², ou seja, quando a percepção foi "Claro".

O fechamento das persianas ocorreu quando a luminância média da janela foi de 4981 ± 419 cd/m², ao passo que elas costumavam ficar abertas quando foi de 1636 ± 302 cd/m², conforme apresentado no gráfico de dispersão da Figura 12.

Nesse sentido, é possível identificar um intervalo de luminância média da janela (Lja) que definiu o acionamento da iluminação artificial e a manutenção das persianas abertas.

Esse intervalo pode ser explicitado da seguinte forma: quando luminância média da janela foi inferior a 1636 cd/m², ocorreu o acionamento das lâmpadas e as persianas permanecem abertas; quando a luminância média da janela situou-se entre 1636 ± 302 cd/m² e 3430 ± 444 cd/m², as lâmpadas permaneceram desligadas e as persianas continuaram abertas. Acima de 4981 ± 419 cd/m², ocorreu novamente o acionamento das lâmpadas ocasionado pelo fechamento das persianas (ver Quadro 4).

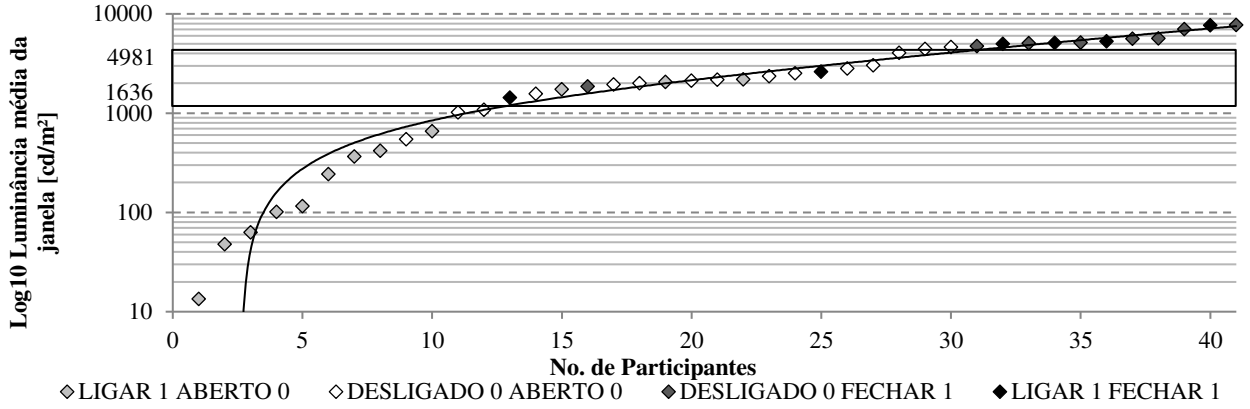


Figura 12. Gráfico da relação do acionamento das persianas e lâmpadas em função da luminância média da janela do ponto de vista da porta de entrada da sala [cd/m²]. FONTE: os autores.

Quadro 4. Relação entre a luminância média da janela, percepção visual, o acionamento das lâmpadas e das persianas.

Luminância média da janela (Lja) [cd/m²]	**Percepção visual da sala**	**Acionamento das lâmpadas**	**Acionamento das persianas**
Lja < 1636 ± 302	"Muito_Escuro", "Escuro", Nem_Escuro/Nem_Claro" e "Claro"	Ligar	Aberto
1636 ± 302 < Lja < 3430 ± 444	"Claro"	Desligado	Aberto
Lja > 4981 ± 419	"Muito_Claro"	Ligar	Fechar

FONTE: Os autores.

A partir desses achados, tornou-se interessante observar o valor médio da luminância da janela para a situação de persianas abertas e lâmpadas desligadas, conforme apresentado no gráfico da Figura 13.

O gráfico 13 foi construído a partir das luminâncias médias da janela referentes aos participantes que deixaram as lâmpadas desligadas e as persianas abertas. Nota-se que a média (2413 cd/m²) e a mediana (2170 cd/m²) são relativamente bastante próximas indicando pouca dispersão dos valores. Neste quesito, pode-se entender como sendo o valor médio da luminância na janela que influenciou no aproveitamento da iluminação natural no início da ocupação da sala, de forma que se pode protelar o acionamento das lâmpadas sugerindo economia de energia elétrica.

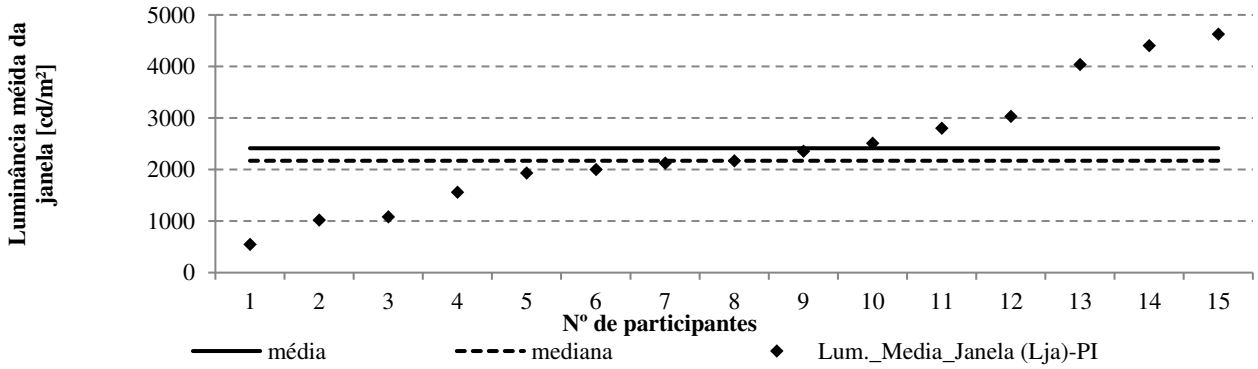


Figura 13. Luminância média da janela para a ocorrência de persianas abertas e lâmpadas desligadas. FONTE: os autores.

5. CONCLUSÕES

As conclusões aqui apresentadas se aplicam especificamente para a situação de um ocupante em sala das condições de iluminação provenientes de uma janela que ocupa em torno de 60% da área do fechamento. Além disso, conclui-se sobre as correlações relacionadas simultaneamente com a ocorrência de acionamento das lâmpadas e das persianas, sendo elas a Luminância média da janela (Lja) e o índice de ofuscamento DGI, ambos do ponto de vista do observador situado na porta da sala.

O intervalo definido para a situação de lâmpadas desligadas e persianas abertas para o DGI foi entre 18,4 ± 1,0 e 23,8 ± 1,0 ("Perceptível"), caracterizado pela percepção visual de "Nem_Escuro/Nem_Claro" a "Claro" (item I). Desse modo, quando DGI situou abaixo de 18,4 ± 1,0, a percepção visual da sala foi "Escura" ou "Muito_Escura" e a ocorrência de persianas abertas e lâmpadas ligadas; enquanto DGI acima de 23,8 ± 1,0, a percepção visual foi "Muito_Claro", e houve maior eventos de persianas fechadas e lâmpadas ligadas (item

IV e V). Para Lja, o intervalo que caracteriza a situação de lâmpadas desligadas e persianas abertas foi entre 1636 ± 302 cd/m² a 4981 ± 419 cd/m² (item IV e V).

Quando a luminância da janela esteve abaixo de 1636 ± 302 cd/m², as ocorrências foram de lâmpadas ligadas e de persianas abertas, enquanto acima de 4981 ± 419 cd/m², a percepção visual foi "Muito_Claro", as persianas foram fechadas e as lâmpadas ligadas (item II e III).

Conclui-se que os intervalos para o índice DGI e Luminância média da janela (Lja), caracterizados pela ocorrência de lâmpadas desligadas e persianas abertas, podem ser usados como referência para construção de modelos comportamentais a serem aplicados em simulações com vistas a se obter o máximo aproveitamento da luz natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF, LEONARDO O.; PEREIRA, F. O. R. Perspectivas de la eficiencia energética en la iluminación: desafíos para el desarrollo. **ENCAC-COTEDI**, v. 1, p. 26-42.2003.

BOYCE, P.; HUNTER, C.; HOWLETT, O. **The Benefits of Daylight through Windows**. New York, 2003.

EKLUND, N. H.; BOYCE, P. R. The development of reliable, valid and simple Office Lighting Survey. **Lighting Research Center**, p. 855–880, 1995.

HISCOCKS, P. D. Measuring Luminance with a Digital Camera. 2011.

HUNT, D. R. G. The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy. **Building and Environment**, v. 14, n. 1, p. 21–33, 1979. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0360132379900258>..

IESNA (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA). **Lighting Handbook - 9th edition**. 9ed. New York, NY: IESNA, 2000.

INKAROJRIT, V. Balancing Comfort : Occupants' Control of Window Blinds in Private Offices, 2005. Tese de doutorado.

IWATA, T.; KIMURA, K.-I.; SHUKUYA, M.; TAKANO, K. Discomfort Caused by Wide-source Glare. **Energy & Buildings**, v. 15, n. 16, p. 391–398, 1990.

JACOBS, A. High Dynamic Range Imaging and its Application in Building Research. **Advances in Buiilding Energy Research**, v. 1, n. 1, p. 177–202, 2007.

JAKUBIEC, J.; REINHART, C. The "adaptive zone" - A concept for assessing discomfort glare throughout daylit spaces. **Lighting Research and Technology**, v. 44, n. 2, p. 149–170, 2012.

JAKUBIEC, J. A.; REINHART, C. F. A Concept for Predicting Occupants' Long-Term Visual Comfort within Daylit Spaces. **LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America**, v. 12, n. 4, p. 185–202, 2016.

JASP Team (2019). JASP (Version 0.9.2) [Computer software].

LOVE, J. A. Manual switching patterns in private offices. **Lighting Research and Technology**, v. 30, n. 1, p. 45–50, 1998.

LYNES, J. A; LITTLEFAIR, P. J.; SLATER, A I. Preadaptation and manual switching. **Right Light 4**, 1997.

MANICCIA, D.; RUTLEDGE, B.; REA, M.; MOROW, W. Occupant use of manual lighting controls in private offices.pdf. **IESNA**, n. 34, p. 489–512, 1999.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo, SP.: Editora Altas S. A., 2003.

MEDRI, W. **Análise exploratória de dados**. UEL. Londrina, 2011. (Apostila do Curso de Especialização "Lato Sensu" em Estatística).

PINEAULT, N.; DUBOIS, M. Effect of Window Glazing Type on Daylight Quality: Scale Model Study of a Living Room under Natural Sky. **Journal of the Illuminating Engineering Society (IESNA)**, v. 5, p. 83-99, 2008.

SILVA, P. C.; LEAL, V.; ANDERSEN, M. Occupants interaction with electric lighting and shading systems in real single-occupied offices: Results from a monitoring campaign. **Building and Environment**, v. 64, p. 152–168, 2013. Elsevier Ltd.

REA, M. S. Window blind occlusion: a pilot study. **Building and Environment**, v. 19, n. 2, p. 133– 137, 1984.

REINHART, C. F.; WALKENHORST, O. Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 7, p. 683–697, 2001.

RUBIN, A. I.; COLLINS, B. L.; TIBBOTT, R. L. Window blinds as a potential energy saver-a case study. **NBS Building Science Series**, v. 112, p. 89, 1978.

YUN, G. Y.; KIM, H.; KIM, J. T. Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. **Energy and Buildings**, v. 46, p. 152–158, 2012.

WYMELENBERG, K. V. D.; INANICI, M.; JOHNSON, P. The Effect of Luminance Distribution Patterns on Occupant Preference in a Daylit Office Environment. **Journal of the Illuminating Engineering Society of North America**, v. 7, p. 103–122, 2010.

WYMELENBERG, K. G. V. D. Visual Comfort, Discomfort Glare, and Occupant Fenestration Control: Developing a Research Agenda. **Leukos**, v. 10, n. 4, p. 207–221, 2014.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu agradecimento à UFSC, ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (Pós/Arq) e ao CNPq - Brasil (Bolsa PQ 307179/2016-8). Em particular, o autor principal agradece à UDESC e a todos os participantes dessa pesquisa pelo apoio e colaboração recebidos.