

ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL EM UM EDIFÍCIO INDUSTRIAL. UMA ANÁLISE DE DESEMPENHO

Maíra Vieira Dias⁽¹⁾; Paulo Sergio Scarazzato⁽²⁾

(1) UNICAMP, e-mail: mairavd@yahoo.com.br

(2) UNICAMP, e-mail: paulosca@fec.unicamp.br

Resumo

Embora a indústria seja um dos setores com maior potencial de economia de energia do país, este segmento não tem conseguido fazer com que projetos de eficiência energética sejam uma prioridade. Nos ambientes industriais, os sistemas de iluminação artificial muitas vezes encontram-se fora dos padrões técnicos adequados, com iluminação em excesso, equipamentos obsoletos e sem a devida manutenção. Por outro lado, tem-se observado neste segmento um cuidado crescente com relação à melhoria das condições de trabalho, visando maior produtividade dos funcionários, ao mesmo tempo em que se preza o meio ambiente. A pesquisa teve como objetivo analisar qualitativamente o desempenho dos sistemas de iluminação artificial empregados em um edifício industrial localizado no município de Paulínia/SP, de modo a diagnosticá-los e, eventualmente, elencar possíveis intervenções visando à melhoria da eficiência energética e da iluminação artificial. A distribuição de luminâncias no ambiente foi levantada in loco através de imagens de Grande Alcance Dinâmico - High Dynamic Range (HDR) convertidas em cores falsas. Na sequência foram realizadas simulações computacionais com o software DIALux (validado), a fim de obter uma melhor compreensão acerca da distribuição da luz. O estudo concluiu que os principais problemas relacionados à iluminação artificial na indústria analisada devem-se aos seguintes fatores: iluminação artificial ineficiente, ausência de manutenção dos sistemas de iluminação artificial e natural, falta de integração entre estes dois sistemas e uso indevido da iluminação artificial durante o dia. A presente pesquisa é pertinente e relevante, já que em relação aos ambientes industriais, estudos acerca das condições e da qualidade de iluminação ainda não foram suficientemente abordados na literatura temática.

Palavras-chave: Iluminação artificial, Edifícios industriais, Imagens HDR, Eficiência energética

Abstract

Although industrial is one of the greatest potential sectors when it comes to energy savings in the country, this field hasn't been able to make energy efficiency projects be a priority. At industrial environments, artificial lighting systems are in most cases not appropriated when compared with technical standards, with excessive lighting, equipments obsolete and without proper maintenance. On the other hand, it has been observed an increasing concern related with improving working conditions in order increase employees' productivity, while preserving the environment. This research purpose was to qualitatively evaluate artificial lighting systems performance used on one industrial building located at Paulínia/SP, so that they could be analyzed and, eventually, make a list of possible interventions to improve energy efficiency and artificial lighting. The luminance distribution at the environment was obtained using High Dynamic Range images (HDR) converted to false colors. After that, computer simulations using DIALux software (validated) were performed in order to better understand light distribution. This study concluded that the main problems related with artificial lighting at the industry visited are due to the following factors: inefficient artificial lighting, lack of maintenance of both lighting systems (artificial and natural), poor integration between both systems and not appropriated usage of artificial lighting during day

time. This research is pertinent and relevant, because at industrial environment, studies about condition and quality of illumination were not yet approached at specific literature.

Keywords: *Artificial lighting, Industrial buildings, HDR images, Energy efficiency.*

1. INTRODUÇÃO

Nos ambientes industriais, condições favoráveis de iluminação contribuem para um ambiente de trabalho de qualidade e com trabalhadores mais satisfeitos. A qualidade do sistema de iluminação empregado está diretamente relacionada à disponibilidade de luz para o desempenho da tarefa visual, ausência de brilho e ofuscamento, iluminação uniforme sobre a área de trabalho, e baixo consumo de energia (PHILLIPS, 2000; BENYA, HESCHONG & MCGOWAN *et al.*, 2003).

Apesar do setor industrial apresentar grande potencial para economia de energia, no Brasil não há uma política governamental estruturada, voltada para a eficiência energética, assim como não existe norma, legislação ou código específico voltado para a iluminação nestes setores. De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL (2010), muitas vezes os sistemas de iluminação utilizados encontram-se fora dos padrões técnicos adequados, com iluminação em excesso, uso de equipamentos com baixa eficiência luminosa, ausência de manutenção, entre outros.

Lyons (1992) e Filho (2005) apontam para falhas relacionadas à falta de integração entre as fontes luminosas e os postos de trabalho, visto que a disposição errônea das lâmpadas e luminárias pode criar áreas de sombra ou situações de brilho e/ou ofuscamento que irão comprometer o desempenho dos funcionários.

Uma análise do projeto sobre as áreas a serem iluminadas, suas condições e particularidades é fundamental para qualquer planejamento de iluminação (GANSLANDT & HOFMANN, 1992; PHILLIPS, 2000; BINGGELI, 2003 e KARLEN & BENYA, 2003). A acessibilidade ao sistema de iluminação empregado para garantir sua manutenção e eficiência, as proporções do ambiente, os materiais de revestimento e suas refletâncias e texturas, os postos de trabalho e o *layout* da indústria são aspectos importantes a serem considerados (FILHO, 2005).

2. OBJETIVOS

Analisar qualitativamente o desempenho dos sistemas de iluminação artificial empregados na Karcher Indústria e Comércio Ltda. (Paulínia/SP), de modo a diagnosticá-los e, se necessário, propor intervenções visando à melhoria da eficiência energética e da iluminação artificial.

3. METODOLOGIA

3.1. Estudo de caso

A Karcher Indústria e Comércio Ltda. é uma empresa multinacional alemã, com unidade industrial e administrativa na cidade de Paulínia/SP. A indústria é responsável pela produção de equipamentos residenciais e profissionais em soluções de limpeza (ver Figura 1).

Figura 1 - Fachada Karcher Indústria e Comércio Ltda.



Com 8.500m² de área total, sendo 3.375m² de produção, a empresa conta com mais de 300 colaboradores e recentemente sofreu uma ampliação no setor de produção. A nova área construída foi destinada à estocagem de materiais e a linha de produção ocupa toda a área existente anteriormente.

3.2. Avaliação preliminar do sistema luminoso

O levantamento dos sistemas de iluminação artificial e natural empregados foi realizado através de ficha de campo baseada no modelo proposto por Pinto (2008), onde foi observada a relação dos componentes internos com a distribuição da luz no espaço, como: materiais das superfícies, cores, lâmpadas e luminárias (tipo, quantidade, potência, manutenção, estratégia de iluminação e distribuição da luz).

3.3. Avaliação qualitativa

A análise qualitativa dos níveis de luminância foi feita através de imagens de Grande Alcance Dinâmico - *High Dynamic Range* (HDR) e simulações computacionais no *software* DIALux (2010) a fim de compreender como se dá a distribuição da luz no interior da indústria.

A câmera fotográfica Sony Cyber-Shot DSC-S730 foi calibrada de acordo com Inanici & Galvin (2004) e Jacobs (2007), onde a mesma foi acoplada ao tripé Greika WT 3770 e foram realizadas tomadas de fotografias com a resolução de 3MP (2048 x 1536), com ajustes de ISO e foco travados no menu da câmera. Os intervalos de valor de exposição (EV) adotados variaram de -2 a +2, com intervalos de 1,0. Na sequência, estas imagens foram processadas no *websoftware* WebHDR Home (JACOBS, 2010) para obter a curva de resposta da câmera.

Posteriormente, foram coletadas fotografias na indústria analisada e as imagens foram sobrepostas no *software* Picturenaut (2010) para a composição das imagens HDR. Com o *software* RadDisplay (2010) foi possível converter as imagens HDR em cores falsas (CF) e ainda aferir as luminâncias nos pontos escolhidos.

Para as simulações computacionais realizadas no *software* DIALux (2010), validado em conformidade com a norma CIE 171:2006 "*Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs*", as refletâncias dos tetos, paredes e pisos foram fixadas de acordo com o existente no ambiente estudado e as simulações foram realizadas para o horário em que as tomadas de imagens HDR foram coletadas, a fim de comparar com os resultados das mesmas.

4. RESULTADOS

4.1. Avaliação preliminar do sistema luminoso

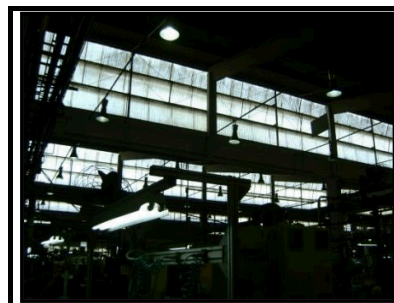
Na Karcher Indústria e Comércio Ltda. a área destinada ao setor de produção apresenta pé-direito de 6m de altura, paredes, vigas e pilares na cor branca, piso acetinado cinza e cobertura escura. O sistema para captação da luz natural é composto por 5 fileiras de *sheds* de 2,5m de altura e 5 fechamentos laterais translúcidos (ver Figura 2).

O sistema de iluminação artificial é caracterizado por lâmpadas de alta pressão de vapor de sódio e permanece acionado durante todo o funcionamento da empresa. Há 9 fileiras de luminárias com 15 luminárias em cada uma delas. As luminárias são metálicas e há ainda iluminação de tarefa em alguns postos de trabalho (ver Figura 3). Tanto o sistema de iluminação artificial quanto o natural não possui a devida manutenção, apresentando acúmulo de partículas em suas superfícies, comprometendo a eficiência dos mesmos.

Figura 2 - Vista interna do setor de produção.



Figura 3 - Iluminação artificial acionada durante o dia.



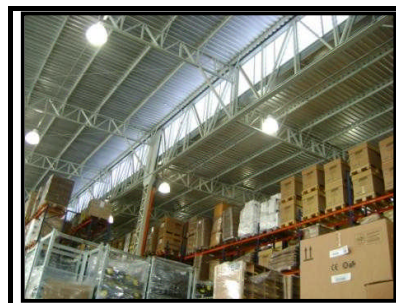
O setor de estocagem possui pé-direito de 9m e apresenta as superfícies com cores mais claras que o setor de produção. As paredes de alvenaria apresentam altura de 2,4m e são pintadas na cor branca e o fechamento lateral é implementado por telhas na cor cinza claro, assim como as vigas e pilares em estrutura metálica. Há 5 fileiras de *sheds*, de 2,5m de altura, com venezianas e 32 fechamentos laterais translúcidos dispostos ao longo do setor (ver Figura 4), sendo que estes apresentam altura maior que os existentes no setor de produção.

O sistema de iluminação artificial conta com lâmpadas de vapor de mercúrio e também é acionado durante todo o funcionamento da empresa. As luminárias metálicas são dispostas em 9 fileiras com 13 luminárias em cada uma (ver Figura 5). O sistema é bem integrado ao *layout* do setor, já que as luminárias encontram-se sobre os corredores e não sobre as prateleiras. Como a ampliação é recente, ambos os sistemas apresentam ótimo estado de manutenção.

Figura 4 - Vista interna do setor de estocagem.



Figura 5 - Iluminação artificial acionada durante o dia.



4.2. Avaliação qualitativa:

Os resultados obtidos através das imagens HDR e das simulações no *software* DIALux (2010) foram analisados qualitativamente de acordo com a percepção pessoal da pesquisadora. Em todas as imagens em CF e simulações computacionais, os valores de cada faixa não são absolutos, mas relativos, uma vez que ambas podem ser manipuladas para ajustes de cores.

4.2.1. Imagens HDR:

As tomadas de imagens HDR na Karcher Indústria e Comércio Ltda. foram registradas no dia 03/08/2010, das 10h30 às 11h30, em 26 pontos, com condição de céu claro.

No ponto 09 foi possível analisar a iluminação de tarefa e a iluminação geral do setor de produção (ver Figura 6). Ambas as fontes apresentam luminância de $449,60\text{cd/m}^2$, assim como o fechamento lateral (ver Figura 7). Nota-se que não há necessidade das fontes de luz artificial estarem acionadas durante o dia, uma vez que a luz natural confere uma iluminação de qualidade no ambiente. Outra observação que deve ser feita é em relação à proximidade da iluminação de tarefa do campo visual do funcionário, já que a distância é pequena e a quantidade de luz admitida é considerável, podendo ocasionar prejuízos à saúde, comprometendo a visibilidade, o desempenho da tarefa, o conforto visual e a segurança do operador.

Figura 6 - CF no ponto 09, escala de 0 a 300cd/m^2 .

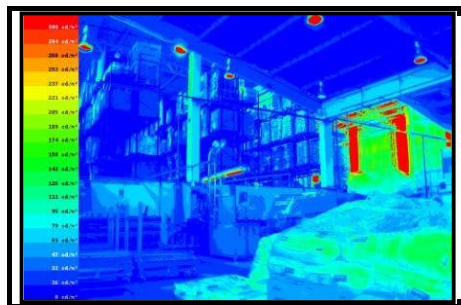


Figura 7 - Valores de luminâncias no ponto 09.



No ponto 11, localizado no setor de estocagem, os fechamentos laterais translúcidos contribuem de forma significativa para o aumento da qualidade da iluminação e apresentam $1.961,05\text{cd/m}^2$, assim como a iluminação artificial. Através da equivalência desses valores e da imagem em CF (ver Figuras 8 e 9) observa-se que não há necessidade de acionar o sistema

de iluminação artificial, principalmente nos pontos mais próximos aos fechamentos laterais.

Figura 8 - CF no ponto 11, escala de 0 a 300cd/m².

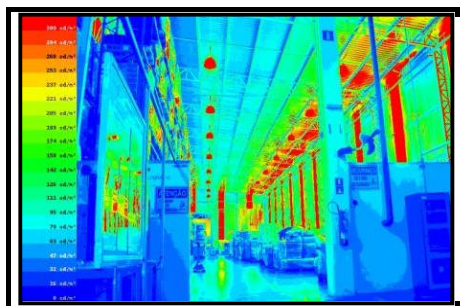


Figura 9 - Valores de luminâncias no ponto 11.



Há falta de integração entre os sistemas de iluminação artificial e natural, visto que há maior quantidade de luz nas áreas próximas aos fechamentos laterais translúcidos e mesmo assim as lâmpadas são acesas durante o dia. Mesmo este acionamento sendo paralelo aos *sheds* e fechamentos laterais há falta de conscientização quanto ao aproveitamento da luz natural por parte dos usuários.

Tais observações podem ser vistas nos pontos 12 e 19. No ponto 12 a luminância nos fechamentos laterais é de 5.788,17cd/m², assim como na iluminação artificial (ver Figura 10). No ponto 19 a luminância nos fechamentos laterais é de 1.091,67cd/m², enquanto que no primeiro módulo da cobertura, na parte mais afastada destes fechamentos esse valor é de 170,41 cd/m² (ver Figura 11). Neste ponto nota-se ainda que as luminárias encontram-se corretamente dispostas sobre os corredores e não sobre as prateleiras e como estas são altas e estão constantemente ocupadas, a luz natural não consegue transpor esta barreira, havendo necessidade da iluminação artificial no local.

Figura 10 - Valores de luminâncias no ponto 12.



Figura 11 - Valores de luminâncias no ponto 19.



4.2.2. DIALux:

A simulação para a condição de iluminação artificial permitiu a análise da eficiência das lâmpadas e luminárias empregadas, uma vez que o tipo e a qualidade das superfícies reflexivas das mesmas são responsáveis pelo nível de eficiência da iluminação do espaço.

Para o setor de produção adotou-se a luminária *HBT - HB Range Luminaries* do fabricante *Lighting Technologies*, com corpo em alumínio fundido e reator fixo na carcaça. Utilizou-se a lâmpada de vapor de sódio NAV-T 250, da OSRAM, com fluxo luminoso de 28.000 lumens e potência de 250W. A curva de distribuição da luminária mostrou que esta não contribui para a

ocorrência de ofuscamentos diretos, pois não apresenta feixe luminoso na zona compreendida entre 60 e 90 graus. Seu feixe é direcionado para baixo e não há pontos de luz na cobertura.

A partir das imagens em CF pôde-se analisar os níveis de luminância e iluminância para o sistema de iluminação artificial adotado (ver Figuras 12 e 13). Em ambas as situações o feixe pontual de luz pode acarretar em desconforto nos usuários, visto que não há distribuição uniforme da luz no ambiente, comprometendo o conforto visual e a visibilidade. Além destas considerações cabe mencionar que o sistema está superperdimensionado, mas ao mesmo tempo não é eficiente. A lâmpada utilizada possui fluxo luminoso e potência altos, capaz de iluminar uma área maior, porém a luminária adotada não permite que isto aconteça.

Figura 12 - Luminâncias no setor de produção, escala de 0 a 100cd/m².

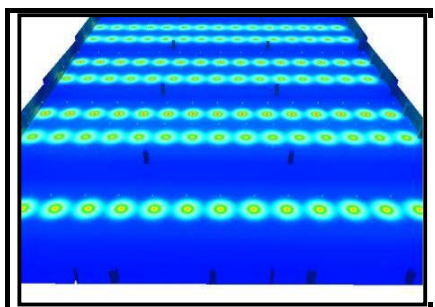
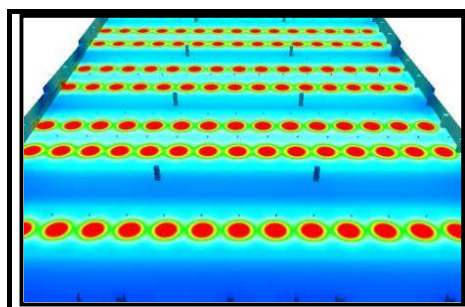


Figura 13 - Iluminâncias no setor de produção, escala de 0 a 150lx.



Para o setor de estocagem adotou-se a luminária RADIO-PC 500 L5715 do fabricante *Arcluce*, que também possui corpo em alumínio fundido e refletor de difusão facetado projetado para impedir que a luz refletida volte para a lâmpada causando superaquecimento e assegurando a vida útil da mesma por mais tempo. Utilizou-se a lâmpada de vapor de mercúrio QE HME HQL 250W E40 De Luxe, da OSRAM, com fluxo luminoso de 13.000 lumens e potência de 250W. A curva de distribuição da luminária mostrou que esta contribui para a ocorrência de ofuscamentos diretos, pois apresenta feixe luminoso na zona compreendida entre 60 e 90 graus. Com o feixe direcionado para baixo e apresentando uma reflexão na parte superior, há pontos de luz na cobertura.

A análise das CF mostra que como a maior parte do feixe de luz é voltada para a cobertura, os níveis de luminância (ver Figura 14) e iluminância (ver Figura 15) no plano de trabalho são insatisfatórios. Nesse ambiente, o que se observa é uma maior sensação de luminosidade, porém em termos de quantidade de luz, o setor de produção apresenta-se melhor que este. Mais uma vez o sistema está superperdimensionado e a luminária escolhida não é a adequada.

Figura 14 - Níveis de luminâncias no setor de produção, escala de 0 a 10cd/m².

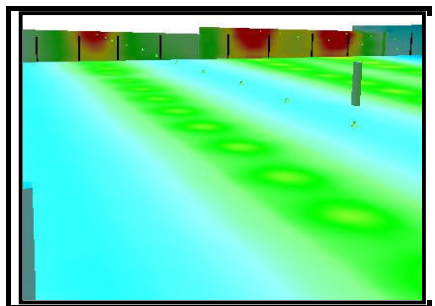
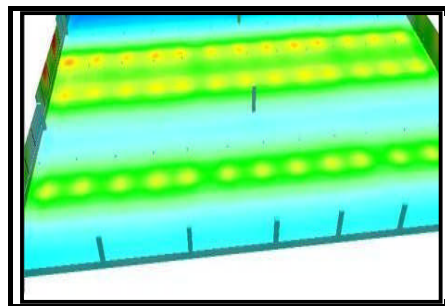


Figura 15 - Níveis de iluminâncias no setor de estocagem, escala de 0 a 50lx.



As imagens obtidas permitiram dizer que nos dois setores a iluminação artificial apresenta-se desnecessária durante o dia, contribuindo para o dispêndio de energia. No setor de produção, o feixe de luz emitido ainda contribui para aumentar a iluminação no plano de trabalho, mas simulações realizadas apenas para a condição de luz natural mostraram que esta é suficiente para suprir o ambiente (ver Figuras 16 e 17). Em áreas onde a iluminação possa ser comprometida ou onde a tarefa a ser executada requer um maior nível de iluminação, o ideal seria instalar iluminação de tarefa.

Figura 16 - Iluminação artificial em complemento à natural no setor de produção.

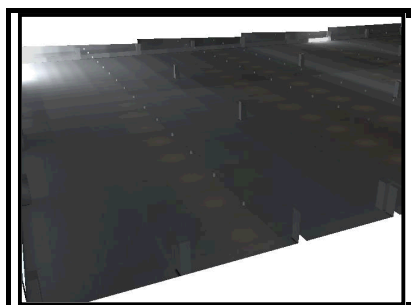
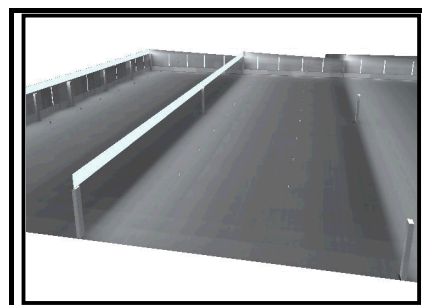


Figura 17 - Iluminação artificial em complemento à natural no setor de estocagem.



5. CONCLUSÕES

A presente análise realizada na Karcher Indústria e Comércio Ltda. faz parte da pesquisa de Mestrado intitulada “*Iluminação Natural em Setores de Produção de Edifícios Industriais. Estudos de Caso na Região Metropolitana de Campinas*” e revelou falta de integração do projeto de iluminação artificial com os sistemas para captação da luz natural empregados (DIAS, 2011). Através das imagens HDR e das simulações computacionais no *software* DIALux (2010) foi possível realizar um diagnóstico sobre a condição da iluminação artificial na indústria.

Com as imagens em CF foi possível obter os níveis de luminância e iluminância para cada setor e, como foi mencionado, no setor de produção a iluminação artificial ainda é perceptível, mas não se faz necessária. Neste caso ela apenas contribui para maior gasto energético e possíveis ocorrências de brilho e ofuscamento.

No setor de estocagem a iluminação artificial interfere mais na cobertura que no plano de trabalho. Durante o dia, o sistema de iluminação natural é capaz de suprir o ambiente com

uma iluminação adequada e de qualidade. Ocasionalmente, as luminárias instaladas nos corredores das prateleiras devem ser acionadas, uma vez que estas se apresentam como barreiras para a entrada de luz através dos *sheds*.

Uma alternativa adequada seria a implantação de controles automáticos de iluminação natural, de modo que as luminárias só sejam acionadas a partir de determinado nível de iluminação, para poupar energia. Falta ainda conscientização por parte dos industriais e funcionários, que mantêm as luminárias acionadas em horários em que a disponibilidade de luz natural é suficiente para suprir o ambiente com níveis adequados de iluminação.

REFERÊNCIAS

- BENYA, J.; HESCHONG, L.; MCGOWAN, T.; MILLER, N.; RUBINSTEIN, F. **Advanced Lighting Guidelines Project Team**. EUA: New Buildings Institute, 2003.
- BINGGELI, C. **Building systems for interior designers**. EUA: John Wiley & Sons, 2003.
- CIE, 2006. **CIE 171:2006 Test Cases to Assess the Accuracy of Lighting Computer Programs**. France, 2006.
- DIALUX. Versão 4.9.0.1. Alemanha: DIALGmbH, 2010.
- DIAS, M. V. **Iluminação natural em setores de produção de edifícios industriais**. Estudos de caso na Região Metropolitana de Campinas. Campinas, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2011.
- FILHO, J. M. **Instalações Elétricas Industriais**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2005.
- GANSLANDT, R.; HOFMANN, H. **Handbook of Lighting Design**. ERCO Edition. Alemanha: Vieweg, 1992.
- INANICI, M. N.; GALVIN, J. **Evaluation of High Dynamic Range photography as a luminance mapping technique**. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/841925-QBBn0i/native/841925.pdf>> Acesso em mai, 2011.
- JACOBS, A. High Dynamic Range Imaging and its Application in Building Research. **Advances in Building Energy Research**, v.1, n.1, p.177-202, 2007. Disponível em: <http://www.learn.londonmet.ac.uk/about/doc/jacobs_aber2007.pdf> Acesso em mai, 2011.
- JACOBS, A. **WebHDR Home**. Londres: WebHDR, [200-]. Disponível em: <<http://luxal.dachary.org/webhdr/index.shtml>>. Acesso em ago, 2010.
- KARLEN, M.; BENYA, J. **Lighting Design Basics**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2003.
- LYONS, S. **Lighting for industry and security**. A Handbook for Providers and Users of Lighting. Grã-Bretanha: Butterworth Heinemann, 1992.
- PHILLIPS, D. **Lighting modern buildings**. Inglaterra: British Library Cataloguing in Publication Data, 2000.
- PICTURENAUT. Versão 3.0. [S.I.]: HDRLab, 2010.
- PINTO, S. R. **Análise das condições de iluminação das bibliotecas públicas municipais na cidade de São Paulo**: diretrizes para um melhor aproveitamento da luz natural e redução do uso da iluminação artificial. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2008.
- PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Indústrias**. Brasília: PROCEL, [200-]. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/procel/main.asp>> Acesso em jun, 2010.
- RADDISPLAY. Versão 1.1.1. França: DeLuminae Lab, 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto através do Programa de Mestrado, processo nº. 2009/03778-7 e à Karcher Indústria e Comércio Ltda. e seus colaboradores por terem permitido a realização deste trabalho.