

ANÁLISE DO DESEMPENHO LUMINOSO – ESTUDO DE CASO DE UMA SALA DE AULA DO CEFET - MG

Pedrosa, R. P.¹, Bracarense, M. S. S.¹, Braga, A.R.¹, Assis, E.S.², Jota, P.R.S.¹

1. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET – MG, Centro de Pesquisa em Energia Inteligente, Avenida Amazonas, 7675, Nova Gameleira, 30510-000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 55-31- 3319-5263
2. Escola de Arquitetura – Universidade Federal de Minas Gerais 55-31-3269-1823
prsjota@dppg.cefetmg.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar as atuais condições do desempenho luminoso de uma sala de aula localizada num edifício público do CEFET-MG. O uso indevido do sistema artificial durante o dia, contribui para o desperdício de energia. A avaliação da iluminação considerou a contribuição da luz natural e o sistema existente de luz artificial. Os dados foram obtidos através de medições dos níveis de iluminâncias no interior do ambiente em vários pontos sobre o plano de trabalho, considerando as luzes acesas e apagadas. A avaliação qualitativa foi feita através da análise do equilíbrio das iluminâncias, presença de ofuscamento e das características do ambiente. As medições foram realizadas através de equipamento adequado, programado e monitorado por computador. Os dados foram manipulados através de ferramenta computacional, sendo estes analisados em face aos níveis estabelecidos pela norma brasileira. A partir de então, foram feitas algumas recomendações para obter melhor conforto luminoso e economia de energia no ambiente.

ABSTRACT

The main purpose of this work is to evaluate the lighting performance of a classroom at a public building called CEFET-MG. The inadequate use of artificial system during day time contributes to waste energy. The lighting evaluation considered the daylighting contribution and the artificial system. The data was obtained by many measurements of the illuminance levels inside the ambience, considering the light turned on and off. The qualitative assessment has been done through the illuminance balance analysis, the presence of glare and the room characteristics. The measurements were taken by proper equipment, programmed and monitored by computer. The Brazilian standards were used to evaluate the illuminance levels. There were made some recommendations to obtain more luminous comfort and save energy at the ambience.

1. INTRODUÇÃO

Uma das funções dos espaços construídos é atender ao bem-estar do ser humano, de modo que ele possa desenvolver suas atividades com conforto em todos os aspectos sensoriais. A melhoria das condições luminosas no ambiente construído deveria ser uma preocupação constante, tanto por parte dos projetistas quanto dos usuários da edificação (Labaki, 2001).

A luz natural é um fator importante no projeto de interiores interferindo no layout dos espaços, no conforto visual e térmico, na estrutura e no desempenho energético dos edifícios. A maior parte da luz natural que entra nos edifícios advém das áreas envidraçadas e das janelas, propiciando iluminação e ventilação naturais, além de uma atmosfera interior agradável por manter o contato visual com o exterior (Hopkinson, 1963, 1984). Grande parte dos projetos luminotécnicos de escolas

públicas não consideram aspectos como: níveis adequados de iluminação nas salas, possíveis condições de ofuscamento e incidência direta solar (Labaki,2001). Além disso, raramente nesses projetos é considerada a contribuição da luz natural e conseqüente economia de energia, seja por desconhecer a sua importância ou por não possuir verbas para investir na compra de equipamentos mais adequados (dimmers, sensores, etc).

Os princípios de um projeto integrado da luz natural com a artificial baseiam-se nas considerações subjetivas da aparência do local e previsão dos níveis necessários de aclaramento. Estes princípios foram estabelecidos pela equipe de Hopkinson no Building Research Station em Londres no método IASPI - Iluminação Suplementar Permanente para Interiores (PSALI-Permanent Supplementary Artificial Lighting for Interiors (Hopkinson, 1963, 1984; Mascaró, 1992).

Para uma análise e avaliação da qualidade luminosa de um ambiente devem ser considerados níveis de iluminação recomendados para a tarefa visual; uniformidade da iluminação e níveis de contraste; distâncias entre o usuário e o objeto, que afetam a visibilidade; existência de ofuscamentos; uso das cores nas superfícies; elementos externos e internos de proteção da insolação direta, tais como brises e cortinas; iluminação artificial suplementar. A iluminação desnecessária ou inadequada além de prejudicial é custosa. Está provado que um projeto eficiente de iluminação, além de reduzir o consumo de energia traz aumentos significativos de produtividade (Mascaró, 1992).

O regulamento das construções do Código de Obras de Belo Horizonte assegura que todo compartimento deverá ter pelo menos um vão aberto para iluminação e ventilação naturais (SMAU, 1940). Determina o dimensionamento destes vãos em função do tipo de utilização e área do ambiente, porém, omite outros fatores que podem influenciar no aumento dos níveis de iluminação do ambiente, tais como a utilização de cores claras e limpeza das superfícies, influência do entorno e outros.

As condições de conforto luminoso em várias salas do prédio escolar do CEFET-MG apresentaram-se deficitárias em uma avaliação realizada anteriormente com luxímetros marca ICCEL. (Pedrosa, 2002, Bracarense, 2002, Viana, 2002). Foram realizadas novas medições com equipamento mais preciso e o estudo de um caso será apresentado a seguir.

2. DESCRIÇÃO DA SALA

Este trabalho apresenta um estudo de caso de uma sala de aula do CEFET –MG, localizada no primeiro piso de um prédio de dois pavimentos, possuindo as seguintes características:

- Área: 54,621 m² (5,95m x 9,18m);
- Pé-direito: 2,80 m;
- Sistema de iluminação: 8 luminárias com 3 lâmpadas fluorescentes de 40 W cada;
- Piso: madeira;
- Cor das paredes e teto: cor clara (gelo);
- Número de aberturas unilaterais: 6 janelas com área envidraçada de (1,16 x 1,09) m² e área da veneziana metálica de (1,16 x 0,31) m² cada;
- Orientação das aberturas: sul;
- Relação área envidraçada / área do piso: 0,139

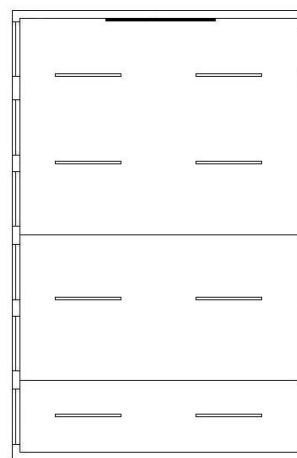


Figura 1 - Croqui da sala (destaque para as vigas e luminárias)

Nos dias em que as medições foram realizadas, uma lâmpada estava queimada e outras oito apresentaram luz de cor avermelhada, significando o fim da sua vida útil. A sala possui duas vigas,

conforme pode ser visto pela figura 1, sendo que as luminárias não estão no mesmo nível destas. Constatou-se que estes elementos também afetaram a uniformidade dos níveis de iluminação.



Figuras 2 e 3 – Vista interior da sala mostrando as obstruções externas sob diferentes ângulos de visão

3. METODOLOGIA

3.1 Definição dos pontos de medição

Os dados de iluminância foram coletados em dezesseis pontos internos à sala, na altura do plano de trabalho (aproximadamente 0,78 m), conforme pode ser visto pela figura 4. Além dessas medições foram realizadas outras quatro no peitoril da janela, alinhados aos demais. Cada teste constou de cinco medições simultâneas em pontos alinhados e posicionados perpendiculares às janelas (linhas A, B, C, D), como mostrado nas figura 4 e 5.

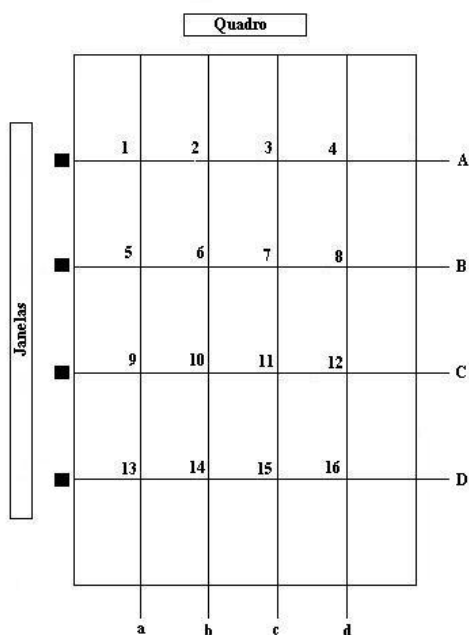


Figura 4 - Esquema dos pontos de medição

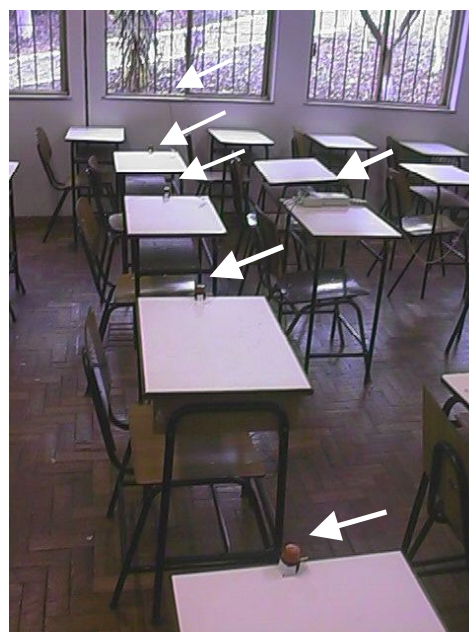


Figura 5 – Destaque para os equipamentos

As medições foram realizadas no dia 01/10/2002 no período da tarde de 14:40 h às 15:07 h. O céu apresentou-se bastante estável, sem a presença de nuvens.

3.2 Equipamentos utilizados

Para a aquisição dos valores das iluminâncias utilizou-se um sistema de equipamentos composto por 5 fotosensores, um bloco terminal e dispositivos para armazenagem dos dados medidos. O software que acompanha o datalogger foi utilizado para transposição dos dados para o computador. Este também foi utilizado para programação dos horários das medições e monitoramento das mesmas .

Os fotosensores LI-COR fornecem os valores de iluminâncias em lux e foram conectados ao datalogger por meio de três conectores tipo BNC e os outros dois ao bloco terminal acoplado no datalogger. Deste modo, tem - se a possibilidade de cinco leituras simultâneas e cinco rotinas de armazenagem dos dados. As fotocélulas estão dentro do período de calibração do fabricante, podendo-se confiar nesta precisão das medições (LI - COR, 1998, 1991).

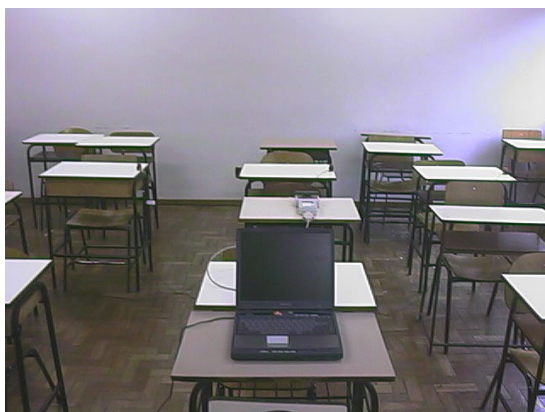


Figura 6 – Vista dos equipamentos utilizados nas medições

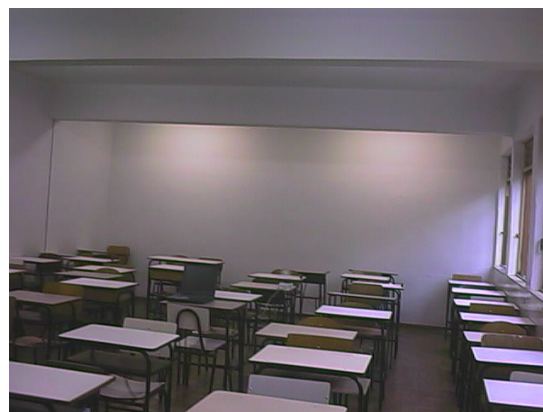


Figura 7 – Vista frontal da sala (destaque para as vigas e efeito da iluminação artificial)

3.3 Medições

O procedimento experimental de medições dos níveis de iluminância cumpriu as seguintes etapas:

- Marcação dos pontos de medição na sala;
- Montagem dos equipamentos;
- Posicionamento e nivelamento dos sensores nas mesas;
- Programação do equipamento e monitoramento dos horários de medições via computador;
- Transferência dos dados coletados do datalogger para o computador.

O experimento realizado constou de oito testes, com cinco medições cada um, sendo quatro deles com luz acesa e os demais com luz apagada. O ideal seria que todas as medições fossem simultâneas, mas por limitações do equipamento isso não foi possível. Foram realizadas medições simultâneas em cinco pontos alinhados perpendicularmente à abertura de iluminação, conforme pode ser visto na tabela 1.

Durante o intervalo das medições, foi feito o novo posicionamento dos sensores na outra linha de medição. O experimento teve a duração de 28 minutos, sendo que cada teste durou um minuto.

Durante este período, o datalogger armazenava quatro valores para cada ponto de medição, resultantes de uma média de 15 medidas.

Tabela 1 – Níveis de iluminância na sala

	Peitoril	a	b	c	d	
A	3619	431	158	89	80	Luz apagada
	3861	909	636	508	492	Luz acesa
B	3087	472	145	97	78	Luz apagada
	3172	874	634	637	662	Luz acesa
C	3103	587	145	94	83	Luz apagada
	3490	1029	618	646	695	Luz acesa
D	2696	587	132	82	72	Luz apagada
	3203	1172	658	649	677	Luz acesa

4. RESULTADOS

A análise dos resultados a seguir teve como parâmetro básico o estudo comparativo entre os valores obtidos com luz acesa e luz apagada e aqueles exigidos pela norma - 300 a 500 lux (ABNT, 1991).

Para a avaliação qualitativa estudou-se a distribuição dos níveis de iluminância e condições de ofuscamento. Os principais fatores que influenciaram nesta avaliação foram luminárias defeituosas e sujas, condições das superfícies e aberturas de iluminação.

Os gráficos a seguir ilustram as condições verificadas nesta sala de aula. As figuras 8 e 9 mostram o comportamento da luz natural no ambiente, apresentando uma superfície iluminante com decaimento exponencial.

Observando os dados, com luz apagada, da tabela 1, no eixo a, observa-se que nesta linha os valores de iluminância atendem às normas sem necessidade de complementação artificial. No eixo b, metade do valor necessário é fornecido naturalmente. Nos eixos c e d, aproximadamente um terço dos níveis são obtidos naturalmente. O sistema complementar (artificial) de iluminação deve suprir às necessidades pontuais, minimizando os gastos com energia.

Os pontos analisados com a luz acesa apresentaram níveis muito acima do necessário, mesmo nos pontos mais distantes da janela. No eixo a, os níveis apresentaram valores três vezes maiores do que aquele necessário por norma. O desperdício é evidente e o desconforto visual também.

Foram feitas medições também no peitoril da janela para reforçar a significativa influência da luz natural nos níveis de iluminância. O valor médio destes níveis de iluminância é de aproximadamente 3300 lux, logo pode-se perceber que nas proximidades deste local a probabilidade de ocorrência de ofuscamento é grande. Os níveis de iluminância próximos às janelas indicam um alto potencial de luz natural a ser aproveitado.

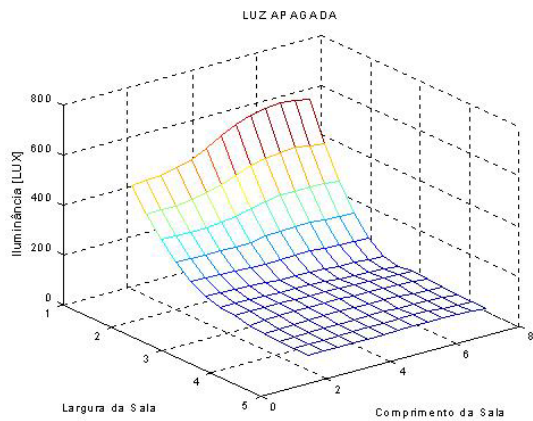


Figura 8 - Superfície - interior da sala – luz apagada

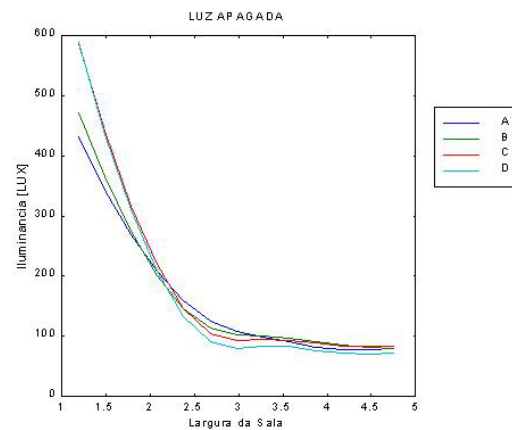


Figura 9 - Iluminâncias – linhas A, B, C, D – luz apagada

O gráfico esperado com as luzes acesas deveria apresentar uma superfície com níveis uniformes de iluminância, considerando-se um projeto luminotécnico eficiente e condições de conforto lumínico. Porém, não é isso que ocorre na sala conforme pode ser visto nas figuras 10 e 11. Como os níveis de iluminância apresentaram um grande decaimento ao se afastar das janelas, é necessário o acionamento do sistema artificial durante todo o dia.

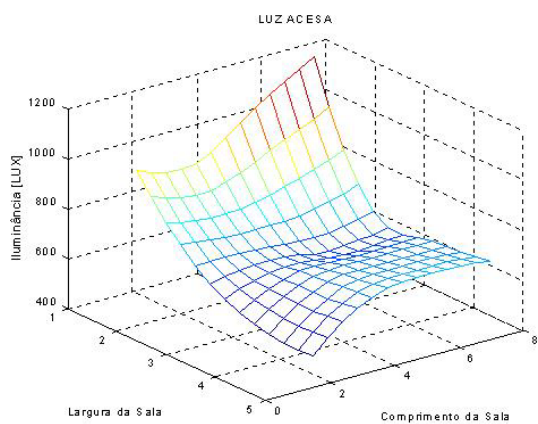


Figura 10 – Superfície - interior da sala – luz acesa

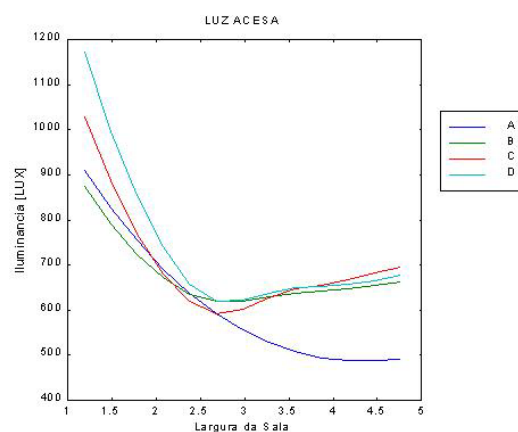


Figura 11 – Iluminâncias – linhas A, B, C, D – luz acesa

As figuras 12 e 13 mostram curvas traçadas com valores obtidos nas linhas a, b, c e d (figura 4). Estes gráficos apresentam curvas que foram construídas ao longo de eixos paralelos às janelas. Como já era de se esperar, na figura 12, à medida que se afasta das janelas, o nível de iluminância vai diminuindo. Observa-se também que, como a distribuição das janelas se dá de forma bastante uniforme (a parede lateral externa é quase totalmente composta de janelas), o mesmo ocorre com o nível de iluminação.

Com o acendimento das lâmpadas, o nível observado excede o nível máximo recomendado pela norma. Os valores mais uniformes foram encontrados ao longo da linha b (figura 13). Os valores mais baixos nesta figura se devem a existência de lâmpadas defeituosas.

Os pontos de menores índices de iluminância são aqueles próximos à lâmpadas defeituosas e embaixo de onde estão localizadas as duas vigas (já que nestes pontos a iluminação fica deficiente). Pelas medições é possível perceber que nenhum ponto para a condição de luz acesa, estava abaixo do mínimo estipulado. Porém, alguns apresentaram valores de iluminância acima do máximo recomendável, o que pode trazer alguns problemas para o conforto luminoso e desperdício de energia.

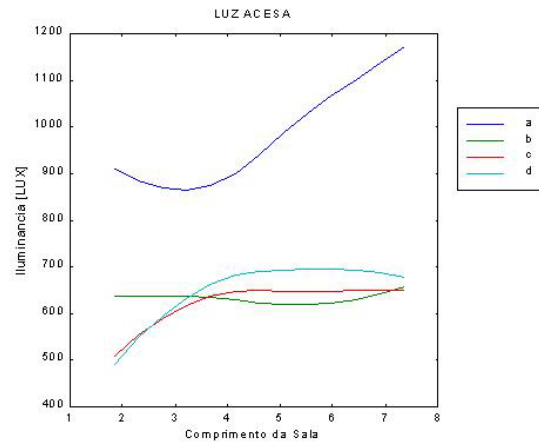
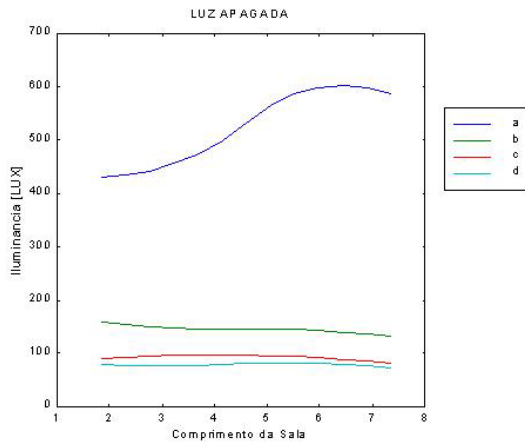


Figura 12 – Iluminâncias paralelas às janelas – luz apagada

Figura 13 - Iluminâncias paralelas às janelas – luz acesa

5. RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

Propõe - se, tendo em vista a atual situação, algumas recomendações na tentativa de melhorar o conforto luminoso e reduzir o consumo de energia nas salas de aula, como segue abaixo:

- Melhor aproveitamento da iluminação natural e utilização de sistemas diferenciados de iluminação artificial que atendam as necessidades específicas ao longo do dia.
- Substituição das lâmpadas de 40W por outras mais eficientes (32W, por exemplo) e a troca dos reatores eletromagnéticos por reatores eletrônicos.
- Substituição das luminárias por conjuntos espelhados que direcionam a luz para o plano de trabalho a fim de aumentar a eficiência do sistema de iluminação. Como pode ser observada na figura 3, a luz emitida pelas lâmpadas iluminam o teto.
- Rebaixamento das luminárias ao nível das vigas.
- Estabelecimento de um plano de manutenção e limpeza periódica das luminárias, visando o aumento da eficiência do sistema artificial.
- Pintura das superfícies internas e externas com cores claras e manutenção periódica. A poeira acumulada nas superfícies iluminantes, no teto e nas paredes, reduz a transmitância e refletância dessas superfícies.
- Retirada das venezianas fixas das janelas e substituição por vidro, a fim de aumentar a área iluminante atendendo ao mínimo exigido pelo código de obras de Belo Horizonte.
- Colocação de prateleiras de luz (light – shelves). O aproveitamento indireto (por reflexão) desta iluminância traria melhoras nos níveis internos e diminuiria ainda mais a necessidade de complementação.

Conclui-se neste estudo que a condição encontrada nesta sala, orientada a sul, é melhor que de outras deste edifício. Além dos mesmos problemas detectados, soma-se a incidência solar direta que causa desconforto visual e térmico. A real importância deste trabalho deve-se à redução do consumo de energia e conforto dos usuários deste ambiente. É sabido que instituições públicas de ensino têm uma limitação orçamentária, logo é imprescindível que quaisquer decisões no sentido de limitar esses gastos desnecessários sejam tomadas. Algumas dessas decisões são eficazes e de baixo custo podendo ser implementadas a curto prazo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) (maio 1991) Iluminância de interiores, NBR-5413, ABNT.
- BRACARENSE, M. S. S., VIANA, G.F.J., JOTA, P.R.S., ASSIS, E.S. (2002) Public Building Lighting Performance Analysis, 19º Conference on Passive and Low Energy Architecture - PLEA 2002, França.
- HOPKINSON, R. G. (1963) Architectural Physics – Lighting, Department of Scientific and Industrial Research – Building Research Station – London, 360.
- HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P, LONGMORE, J. (1984) Iluminação Natural, Lisboa, 788.
- JOTA, P. R. S. et al (2001) Avaliação do desempenho termo - luminoso e energético edifício administrativo do CEFET-MG.
- LABAKI, L. C., BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. (2001) Avaliação do conforto térmico e luminoso de prédios escolares da rede pública, Campinas, SP, VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO - AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Pedro, São Paulo Brasil, 11 a 14 de novembro de 2001.
- LAM, W. M. C. (1986) Sunlighting as formgiver for architecture, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 464.
- LI-COR, LI-1400 (1998) DataLogger – Instruction Manual, LI-COR Inc. Publication number 9807-122, Lincoln, USA.
- LI-COR (1991) LI-COR Radiation Sensors - Instruction Manual, LI-COR inc. Publication number 8609-60, Lincoln, USA.
- MASCARÓ, L., MASCARÓ, J. L. (1992) Uso racional de energia elétrica em edificação – Iluminação, ABILUX, ELETROBRÁS, PROCEL, S.P.
- MOORE, F. (1991) Concepts and practice of architectural daylighting, Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA.
- PEDROSA, R. P., (2002) Eficiência Energética – Estudo de caso em escolas, Relatório Final (Iniciação científica), PIBIC/ CNPq, Belo Horizonte.
- SMAU (1940) Código de Obras da Prefeitura de Belo Horizonte, Belo Horizonte.
- SOUZA, R. V. G. (1997) Iluminação natural em edificações – Cálculo de iluminâncias internas – desenvolvimento de ferramenta simplificada, dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- VIANA, G.F.J., BRACARENSE, M. S. S. JOTA, P.R.S., ASSIS, E. S. (2002) Avaliação do desempenho luminoso do edifício administrativo do CEFET, Seminário Internacional NUTAU'2002-Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, São Paulo.