



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO LUMINOSO EM SALA DE AULA: ESTUDO DE CASO

**Caio Vinícius Gonzaga de Brito dos Santos (1); Paula Silva Sardeiro Vanderlei (2);
Rosana Bacicheti Gonçalves (3)**

(1) Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá-UEM, caio_bsantos@hotmail.com

(2) Profa. Dra., Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá-UEM, pssvanderlei@uem.br

(3) Mestranda no Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá-UEM, robacicheti@gmail.com

RESUMO

Para que o desempenho de atividades visuais realizadas em sala de aula não seja afetado, é necessário ter uma iluminação adequada, em termos de qualidade e quantidade de luz. O uso planejado de iluminação natural no ambiente interno é mais conveniente, porque a luz natural é uma fonte de energia renovável disponível, abundante e sem custo, promovendo uma edificação mais sustentável. Esta pesquisa tem por objetivo avaliar o desempenho da iluminação nas salas de aula, utilizando a iluminação natural e a mesma complementada com iluminação artificial e comparar os dados obtidos com a opinião dos usuários. Foram selecionados para este experimento quatro salas de aula na Universidade Estadual de Maringá, na cidade de Maringá - PR, seguindo os procedimentos de medição da NBR 15215-4, nas estações de verão e inverno, e aplicação de questionários aos usuários para obter a percepção dos mesmos. Como resultado observou-se o não atendimento aos valores mínimos de iluminância em algumas salas e o excesso de iluminância em outras, e a contribuição dos usuários na percepção da iluminação natural e composta.

Palavras-chave: Iluminação Natural, Conforto Luminoso, Sala de Aula.

ABSTRACT

For that performance of visual activities conducted in the classroom is not affected, it is necessary to have good lighting, which must be controlled so that a shortage, or its excess may cause glare. The planned use of natural lighting in the indoor environment is more convenient, because the natural light is a source of renewable energy available, abundant and without cost, promoting a more sustainable building. This research aims to evaluate lighting performance in classrooms using natural lighting and the same complemented with artificial lighting and compare the data obtained with the opinion of the users. Were selected for this experiment four classrooms at the State University of Maringa in the city of Maringá - PR, following measurement procedures of NBR 15215-4, in the seasons of summer and winter, and applying questionnaires to users to get the perception thereof. As a result there was no compliance with the minimum illuminance in some rooms and excessive illuminance in other, and the contribution of the users in the perception of natural light and comprises.

Keywords: Natural Lighting, Lighting Comfort, Classroom.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação proveniente da radiação solar, dita natural, além de indispensável para que haja vida, é fundamental para a realização das atividades exercidas pelo homem em seu dia a dia, como o estudo, o trabalho e o lazer, que seriam desgastantes ou até mesmo impossíveis de serem realizados com a má qualidade de iluminação (VIANNA E GONÇALVES, 2001).

Os benefícios do aproveitamento da luz natural na medida adequada são muitos, pois além de melhorar o humor, aprimorando o comportamento social, geram a melhor saúde da pele, dos olhos, da secreção hormonal e ainda ajudam a combater a fadiga e o stress (IEA SHC TASK 21, 2000 apud LIMA et all. 2011).

A luz natural para o uso em iluminação interior varia com a localidade (latitude) e depende também da frequência de nebulosidade (VIANNA E GONÇALVES, 2001). Pelo fato da quantidade de nuvens influenciarem na iluminação natural, o céu é dividido em três tipos, segundo a NBR 15215-2: (Tabela 1)

Tabela 1: Classificação de tipos de céu. Fonte: NBR 15215-2

TIPO DE CÉU	% DE NUVENS
Claro	0 – 30
Parcialmente encoberto	40 – 70
Encoberto	80 – 100

Ainda segundo Mascaró (1983), a luz natural pode ser aproveitada de forma direta, onde os raios solares penetram na edificação, ou indireta, onde a luz é aproveitada de forma difusa, que acontece quando os raios são refletidos ou refratados na atmosfera pela existência ou não de nuvens, ou refletidos por obstáculos naturais ou construídos. A iluminação indireta é mais utilizada, pois garante um conforto visual melhor sem a ocorrência de ofuscamentos.

O ofuscamento é definido por Iida (2005) como a redução da eficiência visual, provocado por objetos ou superfícies de grande luminância presentes no campo visual, ao quais os olhos não estão adaptados. Existem vários níveis de ofuscamento, desde um pequeno desconforto até a total incapacidade visual. Em edificações, a maior fonte de ofuscamento visual é a luz do Sol. Pode-se classificar o ofuscamento em dois tipos: direto, quando o excesso de luz está no campo visual, e indireto, quando a luz reflete em alguma superfície.

Define-se iluminação artificial como toda forma de luz que não provém do Sol. Para Vianna e Gonçalves (2001) dificilmente um edifício é capaz de responder aos problemas de iluminação somente com a iluminação natural. Por isso, este tipo de iluminação fornecida por lâmpadas é útil no período diurno, complementando a luminosidade quando a natural não é suficiente, e extremamente essencial no período noturno, quando a natural está totalmente indisponível.

Para o uso da iluminação natural dentro das edificações, a luz natural deve penetrar por meio de aberturas, que são definidas como um espaço aberto na envoltória da edificação que permite a acessibilidade física ou visual, além da entrada de ar e luz para o ambiente interno. Por meio delas é possível, assim, ter um controle não só da iluminação, mas também da ventilação natural, influenciando no conforto térmico (ASHRAE, 2009 apud GUTIERREZ e LABAKI, 2011).

Segundo Vianna e Gonçalves (2001), o maior problema da iluminação lateral é a falta de uniformidade em termos de distribuição pelo local. Normalmente, quando se têm locais em que a relação entre o tamanho do vão do piso e a altura do piso da parte superior da janela é maior que 1,5 a 2 vezes, deve-se complementar geralmente com iluminação artificial.

Quando há uma significativa incidência de luz sobre as aberturas laterais, são instalados elementos denominados, protetores solares que, quando utilizados de maneira adequada, podem tanto atuar na diminuição de ganhos térmicos, quanto na possibilidade do aumento da ventilação natural (DURANTE et all. 2007). Brises são elementos de proteção solares compostos por uma ou mais lâminas, geralmente paralelas, externas à edificação. Apresentam duas tipologias básicas (horizontal e vertical), e uma solução combinada entre esses tipos denominada mista (GUTIERREZ e LABAKI, 2011).

A minimização do ofuscamento pode ser obtida por meio da implantação de beirais, vidros especiais, cobogós, esses muito utilizados no nordeste brasileiro, e, além de barrarem o excesso de luminosidade, deixam circular a ventilação na edificação, ou ainda pode-se fazer uso de venezianas

fixas ou móveis, que, assim como os cobogós, atenuam a iluminação direta e permitem a ventilação (BITTENCOURT, 1988).

2 - OBJETIVOS

Avaliar o desempenho luminoso em salas de aulas da Universidade Estadual de Maringá-PR com aberturas voltadas para quatro orientações cardeais distintas e confrontar os dados obtidos experimentalmente com a opinião dos usuários.

3. MÉTODO

3.1 – Estudo de caso: Sala de aula

Maringá, cidade localizada no norte do estado do Paraná, tem um clima subtropical, com umidade relativa em torno de 70% e temperaturas anuais médias superiores a 20°C (ROMANI et al 2007). A latitude de Maringá é aproximadamente 23° 25' S, sendo cortada pelo trópico de Capricórnio.

Nessa cidade fica situado o campus sede da UEM – Universidade Estadual de Maringá – que serviu como objeto de análise do conforto luminoso em quatro salas de aula selecionadas. A UEM tem suas novas construções dispostas em três fachadas distintas em forma de colmeia, apresentando algumas voltadas para noroeste e sudeste, outras para leste e oeste e, por fim, fachadas voltadas para nordeste e sudoeste, como mostra a Figura 1.

Haja vista que não foi possível a escolha de um bloco de cada disposição para análise, pelo motivo de que os que ficam com as fachadas voltadas para o leste e oeste não possuem mesmas características que os demais, foram escolhidos dois blocos com características similares: o C67 (fachadas nordeste e sudoeste) e o D67 (fachadas noroeste e sudeste). Em cada bloco foram escolhidas duas salas, uma em cada fachada.



Figura 1: Campus UEM e detalhe da disposição dos blocos C67 e D67. Fonte: Google Earth

Bloco C67

Composto por térreo mais 2 pavimentos, onde as salas de aula se concentram no primeiro piso. Feito de alvenaria cerâmica com revestimento em reboco e esquadrias do tipo basculante. Possui a maior parte da pintura na cor branca, com piso feito de granilite. Nas aberturas tanto do primeiro quanto do segundo piso há protetores solares (Brise horizontal).

O entorno do bloco varia de fachada para fachada, ao sudoeste (Figura 3) há várias árvores de grande porte, porém há uma distância considerável entre elas e as janelas das salas de aula, enquanto que ao nordeste (Figura 2) existem apenas algumas palmeiras e árvores de menores portes próximos às janelas.



Figura 2: Fachada nordeste



Figura 3: Fachada sudoeste

As salas selecionadas para a análise nesse bloco foram: sala 103 na fachada nordeste e 104 na fachada sudoeste, ambas com características semelhantes quanto ao tamanho, materiais e cores dispostos em seus interiores.

Bloco D67

Também composto por térreo e 2 pavimentos, diferente do C67 esse bloco é composto somente por salas de aula, estando dispostas nos 3 pavimentos. É construído com alvenaria cerâmica, sem revestimento até a altura do peitoril e, acima, revestimento feito em reboco. Possui piso cerâmico e janelas do tipo basculante cobrindo quase toda extensão da parede.

O entorno da fachada sudeste (Figura 4) é composto por várias árvores de médio e grande porte, porém se situam a uma distância considerável da janela dado que existe uma calçada para circulação de pessoas entre as árvores e o bloco. Na fachada noroeste (Figura 5) não há árvores de tal porte que possam provocar alguma sombra que fosse considerável nos dados finais das medidas.



Figura 4: Fachada Sudeste do bloco D67



Figura 5: Fachada Noroeste do bloco D67

As salas escolhidas para esse bloco foram: 109 na fachada sudeste e 110 na fachada noroeste. Ambas têm características semelhantes tanto no aspecto da dimensão, quanto dos materiais nos seus interiores, assim como no C67.

3.2 – Medições de Iluminância

De acordo com a Norma 15215-4 – Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – as medições para a avaliação da iluminância de um ambiente devem ser realizadas em um dia próximo ao solstício de verão (22 de dezembro) e em um dia próximo ao solstício de inverno (22 de junho) onde as medições devem ser feitas de 2 em 2 horas a partir do início do expediente.

Os dias determinados para a execução dos experimentos foram: 11 de março de 2013, verão (dado que não houve a possibilidade da realização das medições mais próximas ao solstício pela ocorrência das férias acadêmicas) e 5 de agosto de 2012 (inverno). Após a determinação das datas, foi feito o cálculo do número de pontos, seguindo a NBR 15215-4, que é dado por:

$$K = \frac{c.L}{Hm.(C+L)}$$

Equação 1

Sendo C o comprimento do ambiente em metros, L a largura do ambiente em metros, Hm a distância vertical em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela e K o índice do local. Para as salas escolhidas o resultado de K foi $1 < K < 2$, com isso, pela tabela da NBR 15215-4, o número de pontos mínimos era 16, portanto, adotou-se 24 como ilustra a malha da Figura 6, para se obter uma forma mais próxima possível de um quadrado.

As medições foram realizadas seguindo os procedimentos impostos pela NBR 15215-4, onde a fotocélula ficava aproximadamente 5 minutos exposta à luz antes da primeira medição a cada ciclo, sempre evitando a exposição da mesma a fontes de luz muito intensas, como, por exemplo, a incidência da radiação solar. O plano de trabalho foi sobre as carteiras, com aproximadamente 0,75m de altura.

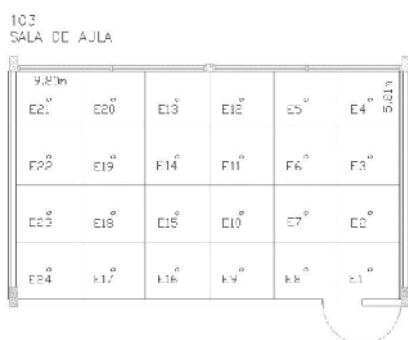


Figura 6: Malha de pontos



Figura 7: Luxímetro LD-200

Os aparelhos utilizados para a realização das medidas foram dois Luxímetros modelo LD-200 (Figura 7), com a escala de utilização dependendo da necessidade do ambiente.

Com todos os dados coletados, de inverno e de verão, foi feito o cálculo de Iluminância média para todas as salas de aula para cada estação, seguindo a fórmula dada pela NBR 15215-4:

$$E = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo E a iluminância média em lux, E_n a iluminância em lux em cada ponto de trabalho e n o número de pontos.

3.3 – Questionário

A elaboração de um meio para conhecer a opinião dos usuários é de extrema importância, pois segundo Sardeiro (2002) com ela pode-se observar o nível de satisfação ou insatisfação desses usuários com relação ao conforto luminoso da edificação e também mostrar se há uso indiscriminado da iluminação artificial durante o dia, além de detectar os problemas relativos ao conforto luminoso.

Foi elaborado para conter doze questões, três delas traçando o perfil do usuário, mostrando a idade, sexo e há quanto tempo utilizava aquela sala. As outras eram relacionadas com opinião dos usuários sobre a utilização da iluminação natural e o seu complemento com artificial, tendo como exemplo, perguntas que buscavam saber se a claridade vinda da janela incomodava e se é necessário o uso da iluminação artificial durante o dia.

Os questionários foram aplicados na estação do inverno, um dia após a realização das medidas de iluminância. A aplicação aconteceu no período da manhã e da tarde, onde a pesquisa foi sincronizada com o horário das medições do dia anterior, totalizando duas pesquisas em cada sala de aula, com condição do céu similar ao dia das medições (céu claro).

4 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na sala 103 do Bloco C67, a iluminância média mínima chegou a aproximadamente 20 lux (às 17h10) no verão e 12 lux (às 7h10) no inverno, enquanto que a máxima para essa mesma sala não passou de 131 lux (às 11h10) no verão, e no inverno foi registrado 103 lux (às 11h10), não alcançando

em nenhuma hora do dia o mínimo previsto na Norma NBR 5413, que é 200lux. Com as medidas de iluminância média da iluminação natural adicionada da iluminação artificial observou-se que a sala 103, em todas as horas do dia nas duas estações, ficou acima dos 300 lux, sem passar dos 468 lux no verão e 516 lux no inverno.

Sendo assim, nota-se que a sala se torna inutilizável para atividades escolares quando não há adição de iluminação artificial, pois nas duas estações somente a luz natural não consegue alcançar o mínimo. O resultado é totalmente compatível com as respostas obtidas pelos questionários, no que se diz respeito à pergunta: “É necessário acender a luz durante o dia?” – onde 100% responderam que sim.

Ainda no bloco C67, na sala 104, foram obtidas as menores medidas quando relacionadas às outras salas. Como se pode visualizar na figura 8, no verão a menor medida não chegou a 10 lux (às 7h20) e a maior não passou dos 120 lux (às 15h20), já no inverno as medidas também não conseguiram alcançar o mínimo previsto pela norma, como nota-se na figura 9. Da mesma forma que ocorreu a sala 103, a utilização da sala só é possível quando se adiciona uma parcela de iluminação artificial, pois quando há esse acréscimo, a iluminância sempre permanece acima da faixa dos 300 lux mínimos.

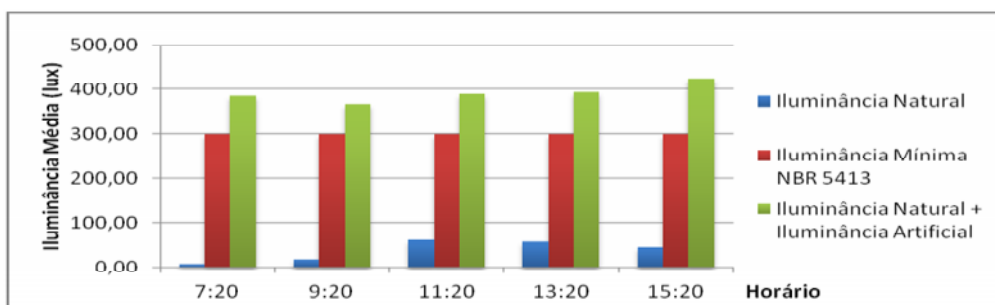


Figura 8: Iluminância Média da sala 104 no Verão

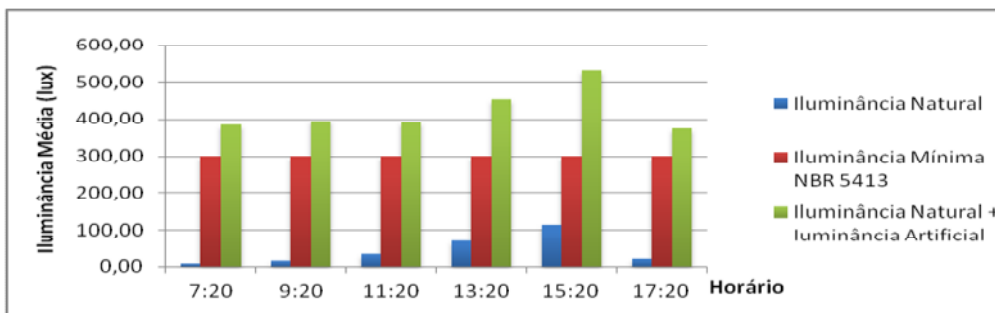


Figura 9: Iluminância Média da sala 104 no Inverno

No questionário foi perguntado “Você considera a iluminação natural dessa sala como:” (Figura 10), 73% consideraram a iluminação natural da sala como insuficiente, mostrando coerência com os resultados obtidos pela medição, porém 27% do usuário consideraram como boa.

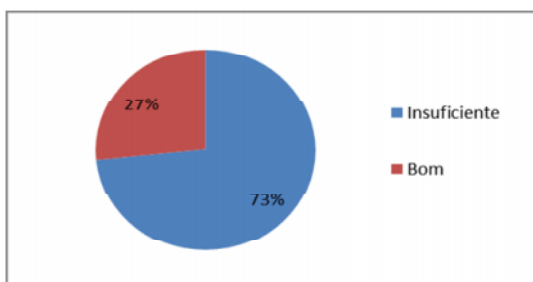


Figura 10: (Sala 104) Você considera a iluminação natural dessa sala como:

Na sala 109 do bloco D67 houve o mesmo problema que o encontrado nas salas do bloco C67 só que não na mesma intensidade. Em algumas horas do dia, a iluminância chegou a ultrapassar 200 lux, chegando até a 274 lux às 14h00 em uma medição realizada no verão, porém como não ocorreu iluminância mínima de 300 lux, a sala também pode ser considerada inadequada às atividades escolares sem adição de iluminação artificial.

O maior problema de iluminação ocorreu na sala 110, onde a incidência de radiação solar ocorreu em uma boa parte do dia. A figura 12 mostra o resultado do questionário que tinha a seguinte pergunta: “Durante as suas atividades em sala o Sol penetra pela janela?” – cerca de 79% dos usuários responderam que sempre há incidência da radiação solar no interior da sala.

Os resultados de iluminância média mostraram que realmente ocorreram problemas quando se trata de exagero na iluminação, pois em algumas horas do dia na estação do inverno, quando a iluminância média da luz natural quase alcançou 3000 lux e a da luz natural + luz artificial passou de 3190 lux (Figura 11), estas medidas passaram em 10 vezes o mínimo previsto na norma.

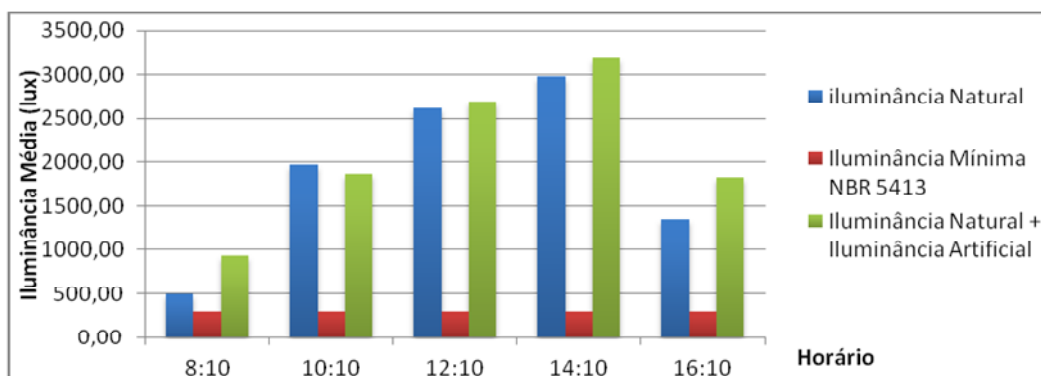


Figura 11: Iluminância média na sala 110 no inverno

Com toda essa incidência direta da radiação solar na sala de aula as atividades escolares ficam prejudicadas, pois ocorre ofuscamento da visão, além da temperatura aumentar gerando também desconforto térmico. Quando foi perguntado “A claridade vinda da janela da sala incomoda?” (Figura 13) houve 18% das respostas correspondentes a “sempre”.

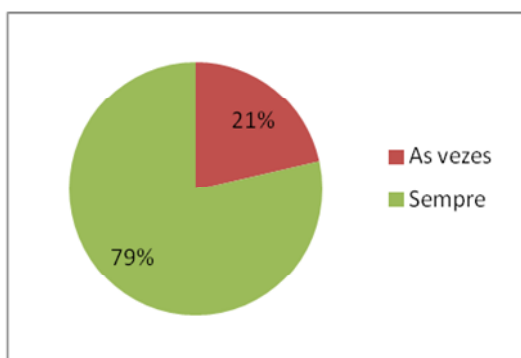


Figura 12: Sala 110 - Durante suas atividades em sala, a luz do sol penetra pela janela?

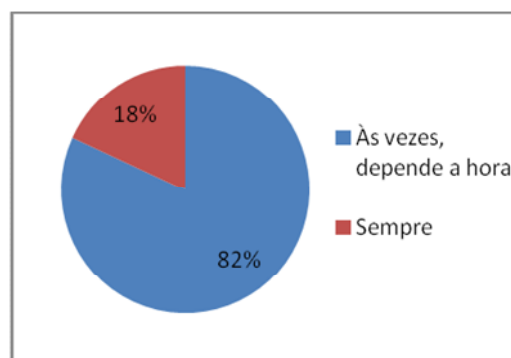


Figura 13: Sala 110 - A claridade vinda da janela da sala incomoda?

5. CONCLUSÕES

Pôde-se verificar o comportamento da iluminação natural e sua complementação com a iluminação artificial nas quatro orientações cardeais distintas em que as salas de aula da Universidade Estadual de Maringá normalmente são dispostas, além de ter a intenção de verificar a percepção do usuário em relação à qualidade visual do espaço.

Os resultados de medição da iluminação natural e artificial apontaram que, enquanto as salas voltadas para Nordeste, Sudoeste e Sudeste apresentaram valores de iluminância média baixos com a

utilização somente da iluminação natural, a sala de aula voltada para Noroeste obteve valores acima do recomendado (500 lux) pela NBR 5413.

Quanto à iluminação composta (natural mais artificial), nos três primeiros ambientes avaliados as iluminâncias médias atingiram, na maior parte dos horários medidos, os valores mínimos necessários (300 lux) para o adequado desenvolvimento de atividades. Para a sala 110 (Noroeste), os valores extrapolaram em mais de 10 vezes o sugerido, devido à incidência direta da radiação solar no interior da sala, o que pode provocar desconforto visual, em virtude do ofuscamento.

O baixo aproveitamento da iluminação natural das salas do Bloco C67 se dá pela disposição de brises nas aberturas. Um brise mal projetado ou sem manutenção pode implicar nesse tipo de problema.

É interessante notar que a existência da vegetação de porte mais alto, que poderia contribuir para a atenuação da radiação solar direta dentro da sala de aula 110 do bloco D67, é inexistente, e ela só predomina próximo às salas onde há a necessidade de que seja incentivada, ao contrário, a maior penetração de raios solares.

Os resultados demonstram que há a necessidade, portanto, de que na orientação Noroeste haja a previsão de proteções solares que bloqueiem a incidência direta da radiação solar através das janelas, enquanto nas outras orientações haja o aumento da captação de luz solar pelas aberturas, sendo que ambas as formas devem ser praticadas de modo a se obter uma iluminação natural mais difusa e distribuída homogeneamente nos ambientes.

Assim, ainda na fase inicial do projeto arquitetônico tais estratégias deveriam ter sido previstas para que a iluminação natural se distribuisse adequadamente dentro dos ambientes, gerando a minimização do uso da iluminação artificial e, conseqüentemente, um menor consumo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 15215-2: Iluminação natural - Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural**, 2005, Rio de Janeiro
- _____, **NBR 15215-4 – Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição**, 2005, Rio de Janeiro
- _____, **NBR 5413 – Iluminância de Interiores**, 1992, Rio de Janeiro
- BITTENCOURT, L. **Uso das cartas solares – Diretrizes para arquitetos**, Editora EDUFAL – 1988, Maceió – AL.
- DURANTE, L. C.; FERREIRA, A. P.; PIRES, V. K. de S.; SCHADER, F. T.; PEREZ, M. B. **Iluminação natural e o uso de bises móveis: Estudo de caso edifício em Cuiabá** In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído e Encontro Latino americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, ELACAC – 2007, Ouro Preto
- GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. **Associação de vidros e brises-soleil em sistemas de abertura: Análise das temperaturas internas** In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído e Encontro Latino americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, ELACAC - 2011, Búzios
- IIDA, I. **Ergonomia Projeto e Produção - 2ª Edição revista e ampliada**, Editora Edgar Blücher – 2005, São Paulo.
- LIMA, A. B.; PEREIRA, F. R.; VERSAGE, R.; LAMBERTS, R. **A Influência de diferentes aberturas zenitais na distribuição da luz natural e na redução no consumo de energia elétrica** In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído e Encontro Latino americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, ELACAC - 2011, Búzios
- LUKJANTCHUKI, M. A.; CARAM, R. M. **Estratégias de insolação e iluminação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé: Hospitais Sarah de Salvador e Rio de Janeiro** In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído e Encontro Latino americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, ELACAC - 2011, Búzios
- ROMANI, P. T. M.; VICENTE, R. A.; GUEDES, C. DE C.; PAREDES, C. A., **Ventilação Urbana: Estudo de Caso em Maringá**, In: Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído e Encontro Latino americano sobre Conforto no Ambiente Construído, ENCAC, ELACAC – 2007, Ouro Preto
- SARDEIRO, P. S., **Estudo das Janelas Laterais e a Iluminação Natural: Estudo de Caso**, Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 2002, São Carlos – SP
- VIANNA, N. S.; GONÇALVES, J. C. S. **Iluminação e arquitetura**, UNIABC – Universidade do Grande ABC – 2001, São Paulo