

# ESTUDO DO DESEMPENHO LUMÍNICO DE SALAS DE AULA COM ILUMINAÇÃO ZENITAL

Silvia R. Morel Correa, doutoranda em Arquitetura  
Universitat Politècnica De Catalunya  
C. Rosal 3, 2<sup>a</sup>, 08004, Barcelona, Espanha  
Fax 34 3 4432247 E-Mail barco@seker.es

## RESUMO

O objetivo principal deste estudo é comparar o comportamento lumínico de duas salas de aula com dois tipos de iluminação zenital: lucernário e clarabóia. Embora ocupando a mesma situação geográfica são duas escolas distintas: 'Escola Vaixell Buriac' e 'Instituto Vilassar', a 60 km de Barcelona. Os dois projetos são de autoria de Manuel Brullet e Alfonso de Luna.

Os níveis de iluminação e o equilíbrio de luminâncias estão relacionados assim como a visibilidade, ofuscamento, cores e contrastes entre luminâncias. Os níveis de iluminação são analisados e comparados através de gráficos de acordo com os requerimentos visuais das tarefas. A partir do critério quantitativo é possível uma aproximação aos aspectos qualitativos.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the visual environment of two classrooms with different forms of top lighting: clerestory and skylight. Although situated in the same geographic site these two classrooms are part of two different schools: a primary and a secondary one, Vaixell Buriac School and Vilassar Institute, both designed by Manuel Brullet and Alfonso de Luna.

The lighting levels and luminances balances of the visual field are correlated and so are the others factors like visibility, glare, luminance distribution, colors and contrasts. These classrooms' lighting levels are analyzed and compared through graphical tables according the visual task requirements. Through the quantitative criteria, lighting level, is possible to approach the qualitative aspects.

## METODOLOGIA

Este trabalho é parte integrante dos estudos de caso de tese doutoral 'Luz Natural e Luz Artificial - Integração de Sistemas e sua Aplicação em Projetos de Escolas'.

Os dados necessários foram obtidos a través de medições 'in situ'. A análise lumínica das salas de aula abrange a iluminação natural e a iluminação artificial suplementar, PSALI, (Hopkinson, R.G. and Kay, J.D., 1969) e está baseada em dois parâmetros principais: o nível de iluminação e a distribuição de luminâncias no campo visual (Kaufman, J., 1968). Entretanto o critério quantitativo, nível de iluminação, consiste apenas na base inicial para a análise, pois são os critérios qualitativos que permitem um estudo mais abrangente e avaliar como são satisfeitos requisitos de conforto visual para tarefas específicas como leitura e escritura. Materiais com diferentes características de reflexão como a folha de papel e o quadro negro são elementos integrantes no campo visual destas tarefas.

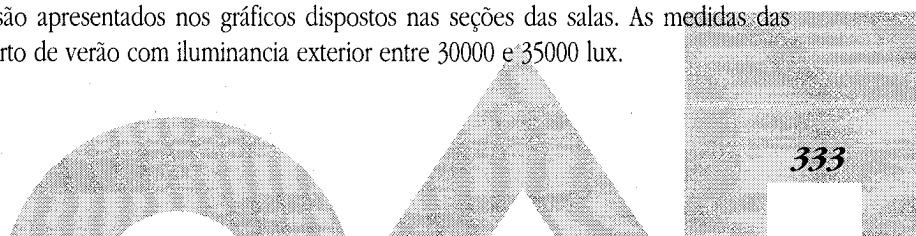
As duas salas de aula são esquematizadas nas figuras 1 e 2. A sala B, da escola Vaixell Buriac tem dois tipos de aberturas: abertura lateral interior e lucernario orientado ao Sul (corresponde a orientação Norte no hemisferio Sul). A sala C do Instituto Vilassar tem uma abertura lateral exterior orientada a Oeste e oito clarabóias ou domos de iluminação zenital, com uma distribuição uniforme na laje de cobertura.

Devido as diferentes orientações solares, a análise é procedida com céu encoberto. Para simplificar os dados, a abertura lateral da sala C é fechada por uma cortina totalmente opaca, de modo a depreciar a contribuição proveniente da luz lateral. A abertura da sala B está voltada para o corredor da escola numa profundidade de 3,50 de distancia da abertura exterior, de modo que sua contribuição lumínica é despreciável em termos quantitativos.

Neste estudo serão consideradas como atividades visuais a leitura no quadro negro, a escritura na mesa do aluno para as duas salas e atividades com computador somente na sala C

## ANALISE DO FATOR DE LUZ DO DIA

Os fatores de luz do dia (daylightfactor) são apresentados nos gráficos dispostos nas seções das salas. As medidas das iluminancias foram tomadas em um dia encoberto de verão com iluminancia exterior entre 30000 e 35000 lux.



- Sala B: se observa uma distribuição de iluminâncias homogênea nos diversos pontos da sala com um pequeno aumento no ponto central.
  - Sala C: distribuição homogênea com uma ligeira redução nos pontos periféricos.
- A iluminação artificial suplementar reproduz a curva da luz natural nos dois casos como se pode observar no gráfico da figura 1.

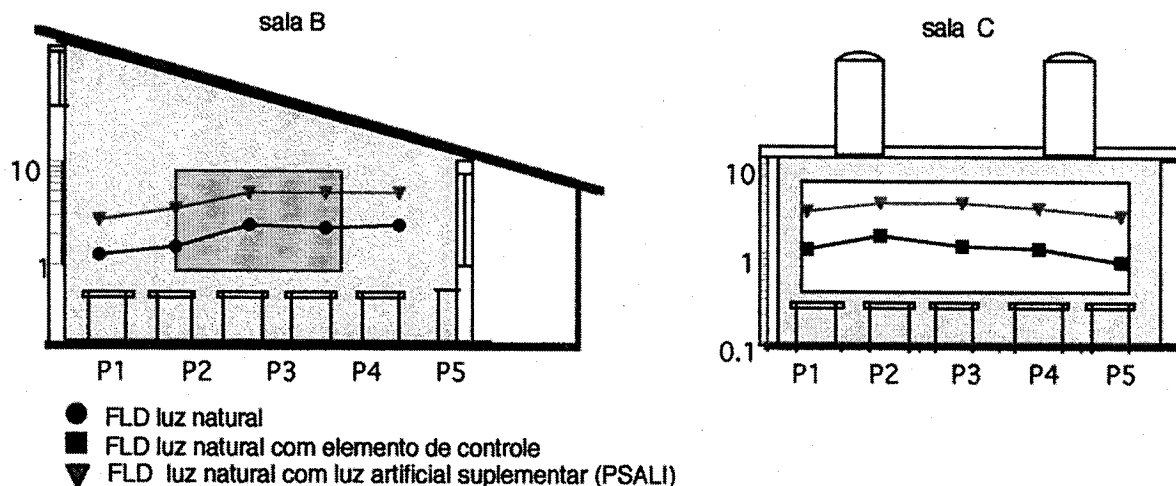


Figura 1. Fator de luz do dia na sala B e C mostra as curvas produzidas através da luz natural, da luz natural com elemento de controle e da iluminação artificial suplementar.

A tabela da figura 2 mostra os valores obtidos nas medidas das salas para níveis de iluminação e fator de luz do dia para as duas salas.

| sala B               |           |       |              |       | sala C |           |       |              |       |
|----------------------|-----------|-------|--------------|-------|--------|-----------|-------|--------------|-------|
|                      | FLD       |       | iluminâncias |       |        | FLD       |       | iluminâncias |       |
|                      | L.Natural | PSALI | L.Natural    | PSALI |        | L.Natural | PSALI | L.Natural    | PSALI |
| P1                   | 1,2       | 2,7   | 368          | 875   | P1     | 1,1       | 3     | 362          | 1036  |
| P2                   | 1,4       | 3,3   | 435          | 1061  | P2     | 1,6       | 3,8   | 535          | 1321  |
| P3                   | 2,5       | 5,1   | 754          | 1637  | P3     | 1,3       | 3,6   | 412          | 1260  |
| P4                   | 2,2       | 4,9   | 671          | 1560  | P4     | 1,1       | 3,2   | 357          | 1107  |
| P5                   | 2,3       | 4,8   | 712          | 1539  | P5     | 0,8       | 2,6   | 271          | 906   |
| iluminância exterior |           |       | 30240        | 32025 |        |           |       | 31920        | 34545 |

Figura 2. Valores de Fator de luz do dia em % e iluminâncias em lux para as salas B e C.

As diferenças entre os valores de fator de luz do dia são pequenas demonstrando a uniformidade do ambiente lumínico. Em condições de céu similares a sala B apresenta níveis de iluminação mais elevados. Os valores mais baixos obtidos na sala B são devidos a elevada altura dos domos. Estes estão situados a 1,70m acima da laje, resultando numa distância maior entre a fonte de luz e o plano de trabalho e conseqüentemente diminuindo os níveis de iluminação nos mesmos. Entretanto as iluminâncias obtidas estão de acordo com os códigos de iluminação para as tarefas consideradas.

## DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÂNCIAS

Quatro pontos representativos do campo visual foram escolhidos para avaliar a distribuição de luminância

- P1: situado na parede esquerda, no plano vertical a 1,30m de altura.
- P3: situado sobre a mesa central, no plano de trabalho horizontal a 0,75m.
- P5: situado sobre a parede direita, no plano vertical a 1,30m de altura.
- P6: situado sobre o plano vertical do quadro negro a 1,30m de altura.

Na sala B a parede esquerda possui um acabamento em madeira clara e a parede direita tem a janela interior. Na aula C a parede esquerda tem um cortina opaca emborrachada revestida em tecido de cor bege e o lado direito consiste em uma superfície de azulejos brancos brilhantes.

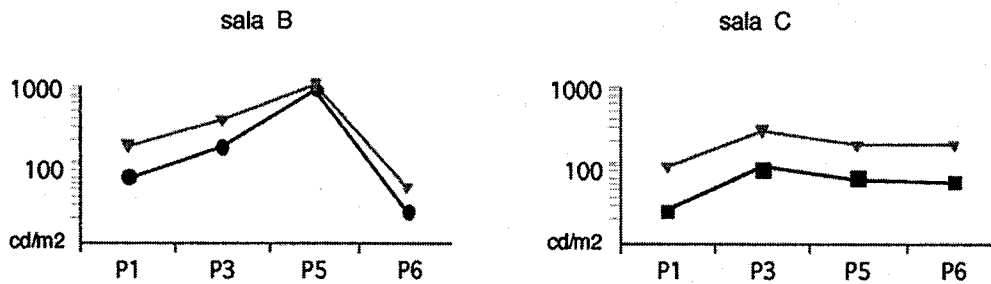


Figura 3. Distribuição de luminâncias nas salas B e C

- Sala B apresenta um alto valor de luminância no ponto P5. Este valor se deve a janela interior. Os valores menores estão no plano do quadro negro.
- Sala C possui o quadro de cor branca, assim a luminância no plano do quadro está em equilíbrio com as demais superfícies do campo visual. A sala C apresenta melhor distribuição de luminâncias como se observa na figura 3.

As duas salas apresentam a iluminação artificial suplementar com uma disposição uniforme, que não altera a distribuição proveniente da iluminação natural. A sala B poderia ser beneficiada pelo suplemento artificial colocado sobre o quadro negro, mas o suplemento existente não demonstrou eficiência, pois praticamente não aumenta a luminância no quadro negro.

| sala B |             |       |              |       | sala C |             |       |              |       |
|--------|-------------|-------|--------------|-------|--------|-------------|-------|--------------|-------|
|        | luminâncias |       | iluminâncias |       |        | luminâncias |       | iluminâncias |       |
|        | L. Natural  | PSALI | L. Natural   | PSALI |        | L. Natural  | PSALI | L. Natural   | PSALI |
| P1     | 72          | 164   | 377          | 861   | P1     | 28          | 94    | 88           | 298   |
| P3     | 168         | 365   | 754          | 1637  | P3     | 92          | 281   | 412          | 1260  |
| P5     | 909         | 1143  | 2856         | 3591  | P5     | 69          | 177   | 257          | 655   |
| P6     | 25          | 54    | 518          | 1138  | P6     | 63          | 174   | 234          | 654   |

Figura 4. Valores de Luminâncias e Iluminâncias para as salas B e C.

A tabela da figura 4 mostra os valores de luminâncias para as duas salas. As luminâncias fornecem uma informação mais efetiva sobre o rendimento lumínico que o nível de iluminação. A sala B, por exemplo, possui níveis de iluminação mais elevados, porém a sala C tem as superfícies com luminâncias melhor distribuídas.

### CONTRASTES ENTRE LUMINÂNCIAS

| sala B                    |       | sala C                     |        |
|---------------------------|-------|----------------------------|--------|
| classe (P3) e parede (P1) | 2: 1  | classe (P3) e cortina (P1) | 3 : 1  |
| quadro (P6) e parede(P1)  | 1: 3  | quadro (P6) e cortina(P1)  | 2 : 1  |
| quadro e classe           | 1: 7  | quadro e classe            | 1: 1,5 |
| quadro e janela(P5)       | 1: 35 | quadro e parede(P5)        | 1: 1   |
| classe e janela           | 1: 5  | classe e parede            | 1: 1   |

Figura 5. Contrastes entre luminâncias das superfícies do campo visual com luz natural

As relações entre luminâncias permitem comparar os contrastes entre as superfícies que configuram o campo visual. A tabela da figura 5 mostra as principais relações entre luminâncias.

| sala B                    |       | sala C                     |       |
|---------------------------|-------|----------------------------|-------|
| classe (P3) e parede (P1) | 2:1   | classe (P3) e cortina (P1) | 3 : 1 |
| quadro (P6) e parede(P1)  | 1: 3  | quadro (P6) e cortina(P1)  | 2: 1  |
| quadro e classe           | 1: 6  | quadro e classe            | 1: 1  |
| quadro e janela(P5)       | 1: 21 | quadro e parede(P5)        | 1: 1  |
| classe e janela           | 1: 3  | classe e parede            | 1. 1  |

Figura 6. Contrastes de luminâncias de superfícies do campo visual sob iluminação artificial suplementar.

A sala B apresenta um elevado contraste entre a janela interior e o quadro negro. O contraste entre as luminâncias dos dois planos de trabalho, constituídos pela superfície da classe e do quadro negro é de 1:7, que pode ser considerado elevado para duas tarefas simultâneas. Este contraste resulta em que o quadro seja percebido como escuro pelos alunos exigindo um esforço de adaptação visual (Kaufman, J., 1968). As demais superfícies do campo visual estão em equilíbrio. A sala C não apresenta contrastes entre suas superfícies.

A iluminação artificial suplementar otimiza o equilíbrio entre as luminâncias da sala B. A janela interior alcança uma relação de equilíbrio com as demais superfícies do campo visual. Entretanto o contraste entre os dois planos de trabalho se mantém elevado. A conexão da iluminação artificial suplementar na sala C não altera o ambiente lumínico produzido pela iluminação natural. Estas relações obtidas pelas luminâncias de pontos específicos constituem uma simplificação, o campo visual como um todo é mais complexo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas salas obtêm níveis de iluminação adequados em dias com céu encoberto. A sala B apresenta um gráfico de distribuição de luminâncias que se traduz em uma curva assimétrica. Este resultado significa que existem contrastes entre luminâncias que produzem problemas de visibilidade como o ofuscamento. A janela interior consiste em uma fonte de ofuscamento e reflexões no quadro negro. O lucernário não constitui causa de ofuscamento, pois encontra-se fora do campo visual das tarefas consideradas.

Existem ainda outros aspectos que influenciam a percepção dos contrastes entre as duas tarefas. A performance visual do aluno melhora com o aumento do contraste de detalhe (Baker et al., 1993). A definição do contraste para a leitura no quadro negro aumenta quando o mesmo está limpo e a escritura com o giz é espessa e branca. Para a escritura o contraste aumenta quando o papel é branco-fosco e a tinta é negra e acetinada. De fato o olho separa o detalhe do fundo e o detalhe a ser comparado será o giz branco e a tinta negra. Não obstante, esta situação ideal raramente se observa, assim as superfícies são avaliadas como um todo e não apenas o de contraste do detalhe, resultando que a relação 1:7 pode ser considerada elevada. O contraste entre o quadro negro e a mesa não pode ser mais elevado que o contraste entre o quadro e o giz.

É possível observar nos dois casos como os diferentes materiais podem influenciar as relações entre luminâncias das distintas superfícies como por exemplo o quadro negro e o branco e as paredes opacas e a janela interior. Estes materiais produzem efeitos diversos na estrutura lumínica dos campos visuais funcionando como elementos de equilíbrio ou adicionando contrastes.

Os acabamentos das superfícies verticais tem distintas características de cor e valores de luminâncias. Na sala C a cortina opaca bege e a parede de azulejos brancos com alto brilho são de cores neutras. Na sala B, o revestimento em madeira clara encerada é de cor cálida. Contudo estes materiais não produzem contrastes excessivos. Por outro lado a janela interior apesar de produzir uma iluminação desprezível em termos quantitativos, gera valores de luminâncias elevados e contrastes molestos na sala B.

A sala B iluminada através de lucernário e a sala C através de domos de acrílico demonstram um comportamento lumínico similar com uma distribuição bastante homogênea e níveis de iluminação suficientes para as atividades visuais em questão. As reflexões e ofuscamento observados nos dois estudos de casos são devidos aos seguintes fatores:

- a janela interior, que se encontra no campo visual, é causadora de ofuscamento e reflexões no quadro negro na aula B.
- superfícies com elevada especularidade como o quadro de laminado branco da aula C, que pode ser observado na figura 8.

Em este estudo o lucernário resulta mais eficiente que os domos porque não produz tantas reflexões sobre o campo de trabalho. A borda inferior do lucernário está a uma altura de 3,50m e as aberturas dos domos estão a uma altura de 2,50m. O aumento da altura do teto na sala B é apropriado a medida que a iluminação se torna mais difusa e diminuem as reflexões. A iluminação artificial suplementar é desenhada como iluminação geral com o suplemento localizado sobre o quadro. Esta iluminação suplementar é dispensável com iluminâncias exteriores da ordem de 30000 lux, pois nesta situação a iluminação natural satisfaz os requerimentos visuais das tarefas.

Sala C:

- a iluminação artificial suplementar diminui os efeitos de reflexões produzidos pelos domos no quadro, mas igualmente produz reflexões.
- o suplemento localizado sobre o quadro produz reflexões na borda superior do mesmo, figura 8, e não evita as reflexões geradas pelo sistema de iluminação suplementar.
- a iluminação artificial suplementar é necessária para diminuir as reflexões produzidas pelas aberturas zenitais sobre as telas dos monitores dos computadores.
- as fontes de iluminação natural e artificial estão localizadas sobre a mesma superfície de teto, o que permite uma integração entre os dois sistemas, embora aspectos de temperatura e reprodução de cor sejam distintos.

Sala B:

- assim como a iluminação artificial suplementar não modifica a distribuição lumínica, ela tampouco soluciona os problemas de contrastes e dos valores reduzidos de luminâncias no quadro negro.
- o suplemento localizado sobre o quadro negro não é eficiente, conforme pode ser observado na figura 7.

A distribuição homogênea de luz não assegura um entorno lumínico confortável. (Carter, D.J. et al, 1994). As duas salas de aula apresentam aspectos a serem solucionados como ofuscamento, excessivas reflexões nos planos de trabalho e contrastes. Novos estudos devem ser feitos no sentido utilizar a iluminação para solucionar estes problemas nas salas de aula. Entretanto um certo grau de contrastes é positivo, pois uma distribuição de luminâncias não-uniforme produz ambientes mais dinâmicos do ponto de vista da percepção. A distribuição homogênea pode resultar em um ambiente demasiado estático (Lam, W.,1986), ou seja pode levar a uma ausência de estímulos que numa sala de aula pode gerar um sentimento de dispersão (Alexander, C., 1980).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HOPKINSON, R.G. and Kay, J.D., The Lighting of Buildings, Faber and Faber, London, 1969. PSALI significa Permanent Supplementary Artificial Lighting in Interiors
2. KAUFMAN, J. et al, IES Lighting Handbook, Illuminating Engineering Society, N. York, 1968.
3. DD 73, Basis Data for the Design of Buildings: Daylight, Draft for Development, British Standards Inst., 1982.
4. BAKER, N. et al, Daylighting in Architecture - A European reference book, James & James, 1993.
5. CARTER, D.J. et al. The influence of a luminance distribution on subjective impressions and performance within a non uniformly lit office. In Proceedings of Cibse National Lighting Conference, 1994.
6. LAM, W., Sunlighting as formgiver for Architecture. Van Nostrand Reinhold, N. York, 1986.
7. ALEXANDER, C., Tres aspectos de matemática y diseño y La estructura del medio ambiente, Tusquet Ed., Barcelona, 1980.



Figura 7. Sala B iluminação natural através de lucernário com iluminação artificial suplementar conectada.

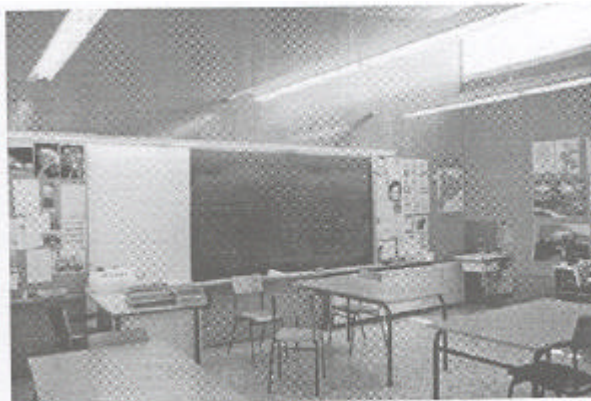


Figura 8. Sala C iluminação natural através de clarabóias com iluminação artificial suplementar conectada.