

ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA

Silvia R. Morel Correa, Dr.

Arquidesc Arquitetura e Iluminação SC. Rua Lauro Linhares 728 sala 309
88036 -002 Florianópolis/ SC. E-mail: silcorrea@terra.com.br

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar o ambiente visual de duas salas de aula com novos sistemas de iluminação. Estas salas foram escolhidas como modelo de teste para otimização do sistema de iluminação das salas de aula do Centro Tecnológico da UFSC. As duas salas possuem janelas horizontais com elemento de controle de iluminação fixo e externo. A metodologia desenvolvida compara os dados medidos antes e depois da implementação dos novos sistemas de iluminação e avalia as condições lumínicas para as tarefas visuais de leitura no quadro negro e escritura nas mesas. Critérios qualitativos como visibilidade, ofuscamento e equilíbrio de luminâncias constituem a base para a análise do campo visual das principais atividades visuais da sala de aula.

ABSTRACT

This paper aims at analyzing the visual environment of two classrooms with a new lighting fixtures. These classrooms have served as a test room in order to improve the lighting system as a lighting pattern useful in the other rooms of the Santa Catarina University. The two classrooms, located at Centro Tecnológico, UFSC, have horizontal windows with fixed control devices. The methodology developed compares the data from measurements before and after the improved lighting fixtures and evaluate how they satisfy the specific and simultaneous visual tasks such as reading and writing. Qualitative criteria - visibility, glare and luminance balance - is assessed based on the analysis of the visual field of the main visual activities.

1. INTRODUÇÃO

As salas escolhidas foram a 826 e a 828 do Centro Tecnológico, que possuem janelas orientadas a oeste e a sul respectivamente. O componente de proteção é composto pelo elemento fixo horizontal em balanço sobre fachada e um elemento plano vertical obstruindo parcialmente a visual da janela. A altura do teto é de 3,60m. As duas salas possuem plantas iguais variando apenas a posição em relação ao pátio central.

Como sistema de iluminação artificial complementar as salas possuem um conjunto de seis luminárias com um par de fluorescentes de 60w dispostas duas a duas de forma homogênea no ambiente. As luminárias não possuem proteção para as lâmpadas e são utilizadas na maioria das salas do Centro Tecnológico.

2. METODOLOGIA

A análise lumínica é baseada em aspectos qualitativos dos sistemas de iluminação natural e de luz artificial complementar. A metodologia desenvolvida compara os dados medidos antes e depois da implementação do aperfeiçoamento do sistema. As salas são medidas com o sistema original e após a

colocação do conjunto de luminárias e lâmpadas com melhor eficiência energética. São considerados os parâmetros básicos de conforto visual: o nível de iluminação e o equilíbrio de luminâncias do campo visual, com o objetivo de determinar se os novos sistemas apresentam uma otimização da qualidade, em função das atividades visuais realizadas nas salas de aula (CORREA, 1997).

3. ANÁLISE LUMÍNICA

A variação do fator de luz diurna é apresentada nas seções das salas em condições de céu nublado, em duas situações distintas: com luz natural e elemento de controle existente; com luz natural, elemento de controle e luz artificial suplementar ,PSALI, (HOPKINSON, R.G. , J.D. KAY, 1969). A distribuição de luminâncias foi avaliada em cinco pontos:

- janela: no plano vertical a 1,50m. de altura.
- mesa: no plano horizontal a 0,75m.
- quadro 1: sobre o quadro negro a 1.00m da janela, no plano vertical a 1,50 de altura.
- quadro 2: centro do quadro negro, no plano vertical a 1,50m. de altura.
- quadro 3: sobre o quadro negro a 1.00 da parede interior, no plano vertical a 1,50 de altura.

Estes planos configuram o campo visual para as atividades principais desenvolvidas em sala de aula e através das informações obtidas no processo visual resulta a interpretação e a percepção final do ambiente.

3.1 Sala 826

3.1.1 Variação do Fator de Luz Diurna

A sala 826 apresenta um pequeno aumento do FLD próximo a janela, com uma redução na zona interna. O elemento de controle gera uma redução importante na penetração de luz natural. A diferença entre a zona adjacente à janela e a zona interna da sala é acentuada. Os valores do FLD são muito baixos impossibilitando a iluminação somente através da luz natural para esta sala. A iluminação artificial suplementar altera o padrão de distribuição da luz natural com pequeno aumento na zona central, gerando uma curva com níveis mais homogêneos.

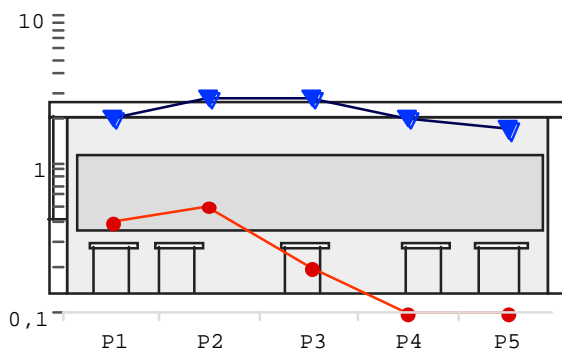


Fig. 1 - Fator de luz diurna medido em cinco pontos da sala

Tabela 1. Sala 826: valores de FLD em % e iluminâncias em lux

	FLD		Iluminâncias	
	FLD nat.	FLD art.	natural	artificial
P1	0,4	2,0	128	530
P2	0,5	2,6	183	683
P3	0,2	2,7	76	719
P4	0,1	2,0	46	536
P5	0,1	1,7	40	443
P0			35900	26450

Os valores de iluminâncias para luz natural medidos no equinócio, ou seja com iluminâncias exteriores pouco elevadas, são inferiores aos recomendados na maioria dos pontos da sala (ABNT; NB 57,1991). A iluminação artificial suplementar produz valores de iluminâncias superiores aos da norma.

3.1.2 Distribuição de Iluminâncias

A sala apresenta a distribuição de luminâncias heterogêneas em condições de luz natural em condições de céu nublado. A sala 826 mostra o valor de luminância mais elevado no plano da janela com luz natural tanto do ponto de vista do observador em **P3**, como em **P5**. No plano da mesa nota-se uma grande variação das luminâncias em **P3** e em **P5**. O suplemento artificial não tem influência nos pontos junto a janela como pode se observar no ponto **janela** e no **quadro 1** a influência é pequena do

ponto de vista de **P3**. A iluminação suplementar tem desempenho similar para o observador em **P3** e em **P5** como mostra a linha do gráfico horizontal definindo luminâncias mais homogêneas que para luz natural nos três pontos sobre plano do quadro negro.

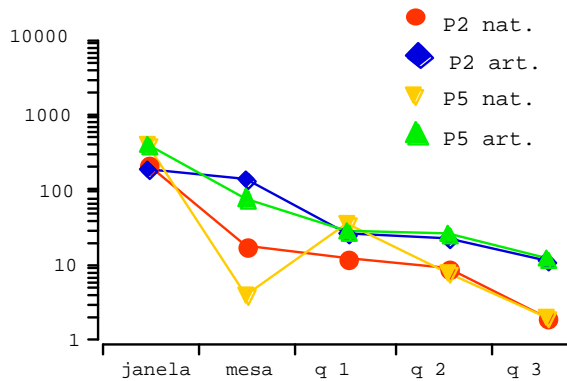


Fig. 2 Distribuição de luminâncias: sala 826

Tabela 2. Sala 826: valores de luminâncias em cd/m²

	P3 nat.	P3 art.	P5 nat.	P5 art.
janela	208	191	393	394
mesa	18	131	4	79
q. 1	13	28	38	30
q. 2	9	23	8	28
q. 3	2	12	2	13

Os valores de luminâncias são muito baixos para luz natural em condições de céu nublado (MANUAL DE ALUMBRADO PHILIPS, 1988). Através do suplemento artificial observa-se um valor de luminância aceitável em P3, mas as luminâncias no plano da mesa em P5, e nos três pontos sobre o quadro negro ainda continuam baixas.

3.1.3 Contrastes entre Luminâncias

A luz natural produz contrastes elevados entre a janela e os três pontos do quadro que distraem o observador posicionado no ponto P3. Pela diferença entre as relações de luminâncias nos três pontos do quadro observa-se a existência de reflexões na zona próxima a janela. As relações entre a mesa e a janela são adequadas mostrando que não há contrastes excessivos para a tarefa visual onde o plano de trabalho é somente a mesa. No ponto **P5** os contrastes produzidos pela luz natural são excessivos para os dois planos de trabalho mesa e quadro-negro, conforme pode ser observado nas relações entre as luminâncias da janela e da mesa e entre a janela e a zona central do quadro (**q2**) e a zona do quadro oposta à janela (**q3**). As relações entre a mesa e o quadro são adequadas para o observador situado em **P3** e em **P5**.

Tabela 3. Relações entre luminâncias nos pontos das superfícies do campo visual dos alunos posicionados em P3 e em P5.

	P3 nat.	P3 art.	P5 nat.	P5 art.
mesa e q1	1 : 1	5 : 1	1 : 9	2 : 1
mesa e q2	2 : 1	6 : 1	1 : 2	3 : 1
janela e q1	15 : 1	5 : 1	10 : 1	13 : 1
janela e q2	21 : 1	5 : 1	49 : 1	14 : 1
janela e q3	96 : 1	10 : 1	196 : 1	30 : 1
janela e mesa	11 : 1	1 : 1	98 : 1	5 : 1

A superfície com luminâncias mais elevadas é a janela, responsável pelos contrastes existentes no campo visual das tarefas. As luminâncias nas três zonas do quadro variam excessivamente mostrando a presença de reflexões na zona adjacente à janela.

3.2 Sala 828

A sala 828 mostra resultados semelhantes ao da sala 826 por isto apresenta-se apenas a tabela de contrastes entre luminâncias.

3.2.1 Contrastes entre Luminâncias

A iluminação natural produz elevados contrastes para o aluno na posição central **P3**, nas relações entre luminâncias da janela e mesa e janela e quadro. No ponto **P5** os contrastes produzidos pela luz natural são excessivos para a janela e os dois planos de trabalho: mesa e quadro-negro. As relações entre a mesa e o quadro são adequadas para o observador situado em **P3** e em **P5**. A iluminação artificial melhora relações entre luminâncias entre a mesa e a janela, mas os contrastes entre o quadro e a janela são muito elevados. Continuam as reflexões na superfície do quadro próxima a janela para o aluno na posição **P5**.

Tabela 4. Contrastes entre luminâncias das superfícies do campo visual para os alunos posicionados em P3 e P5.

	P3 nat.	P3 art.	P5 nat.	P5 art.
mesa e q1	1 : 1	3 : 1	1 : 3	1 : 1
mesa e q2	3 : 1	3 : 1	1 : 1	2 : 1
janela e q1	377 : 1	128 : 1	71 : 1	23 : 1
janela e q2	1132 : 1	132 : 1	283 : 1	35 : 1
janela e q3	1510 : 1	179 : 1	425 : 1	45 : 1
janela e mesa	348 : 1	32 : 1	242 : 1	19 : 1

A superfície com luminâncias mais elevadas é a janela, responsável pelos contrastes existentes no campo visual das tarefas. As luminâncias nas três zonas do quadro variam excessivamente mostrando a presença de reflexões na zona adjacente à janela. Na figura 3 pode-se observar o campo visual para as tarefas de leitura e escritura onde a relação entre as luminâncias da janela e o quadro negro, que consiste no foco visual da tarefa, gera reflexões no quadro negro.

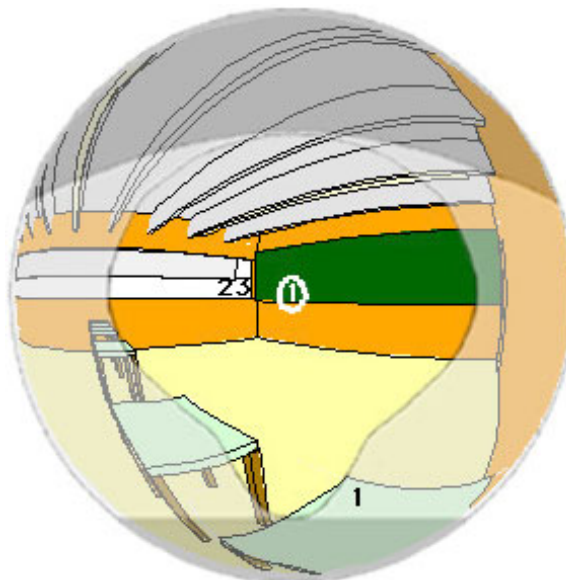


Figura 3: Contrastes entre luminâncias das superfícies do campo visual do aluno na posição P5.

3.3 Sala 826 com Novo Sistema de Iluminação

Como novo sistema de iluminação artificial suplementar, a sala 826 recebeu luminárias da PHILIPS, TMS 500 RA, com 2 lâmpadas PHILIPS TLD RS 32/84 (T8) e reatores eletrônicos ENERTRON EB-220V-2/32, também da PHILIPS. O sensor de presença instalado é Light SLMP-02 of T&T Company.

3.3.1 Variação do Fator de Luz Diurna

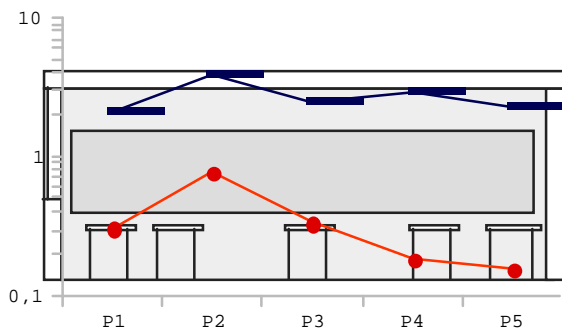


Figura 4 - Sala 826 renovada : Fator de luz diurna nos cinco pontos da sala

Tabela 5. Sala 826 renovada: FLD em % e valores de iluminâncias em lux

	FLD		Iluminâncias	
	FLD nat.	FLD art.	natural	artificial
P1	0,31	2,08	41	314
P2	0,76	3,91	102	589
P3	0,33	2,47	45	372
P4	0,19	2,88	25	435
P5	0,16	2,25	22	340
P0			13350	15060

A sala 826 renovada apresentou o desempenho similar ao anterior figura 1. Os valores de iluminâncias diminuíram, mas estão na faixa de recomendação da NBR 57.

3.3.2 DISTRIBUIÇÃO DE LUMINÂNCIAS

A linha superior de triângulos mostra a distribuição com iluminação artificial suplementar no ponto P3 e a linha de losangos mostra a distribuição em P5. A iluminação suplementar melhora a distribuição de luminâncias nos dois pontos.

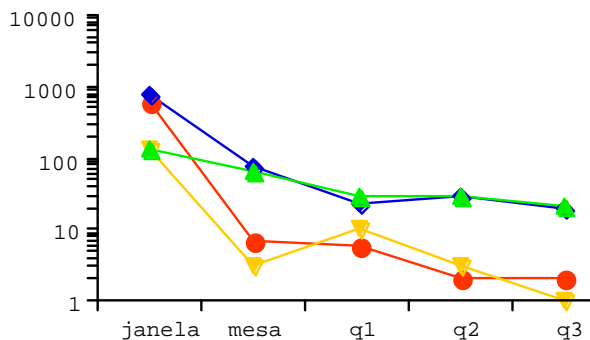


Figura 5 - sala 826 renovada : distribuição de luminâncias

Tabela 6 - Sala 826 renovada: valores de luminâncias

	P3 nat.	P3 art.	P5 nat.	P5 art.
janela	590	800	130	135
mesa	7	76	3	62
q. 1	6	23	10	28
q. 2	2	28	3	30
q. 3	2	19	1	21

3.3.3 Contrastes entre Luminâncias

Os valores de luminâncias produzem contrastes adequados entre as superfícies em condições de iluminação artificial suplementar. Entretanto isto se deve principalmente aos baixos valores de luminâncias medidos no plano da janela (tabela 6) e não ao novo sistema de iluminação.

Tabela 7 - Contrastes entre luminâncias das superfícies do campo visual

	P3 nat.	P3 art.	P5 nat.	P5 art.
mesa e q1	1 : 1	3 : 1	1 : 3	2 : 1
mesa e q2	3 : 1	3 : 1	1 : 1	2 : 1
janela e q1	98 : 1	35 : 1	13 : 1	5 : 1
janela e q2	295 : 1	29 : 1	43 : 1	5 : 1
janela e q3	295 : 1	42 : 1	130 : 1	6 : 1
janela e mesa	85 : 1	10 : 1	43 : 1	2 : 1

3.4 Sala 828

A sala 828 recebeu luminárias do tipo C-2198 da PROJETO, equipada com 2 lâmpadas fluorescentes OSRAM FH 28W/21-840 (T5) e 2 reatores eletrônicos QUICKTRONIC FH 1 X 28 W, da OSRAM. O sensor de presença é modelo LIGHT SLMT-02 da T&T Company.

3.4.1 Contrastes entre Luminâncias

A iluminação natural e também a artificial produzem contrastes máximos para o estudante em P3 e em P5 entre a janela e os três pontos do quadro. As relações entre a mesa e o quadro são adequadas. As luminâncias no plano da janela continuam sendo o principal foco de contrastes no campo visual e o novo sistema de iluminação não altera os excessivos contrastes entre luminâncias. É possível observar, na figura 6, que as luminárias colocadas sob a segunda viga estão no campo visual próximo, dentro do ângulo de visão de 30°, com proteção parcial da fonte de luz, gerando um foco de ofuscamento (HERDE, A., 1995).

Tabela 8 Contrastes entre luminâncias das superfícies do campo visual

	P3 nat.	P3 art.	P5 nat.	P5 art.
mesa e q1	1 : 1	4 : 1	1 : 4	2 : 1
mesa e q2	4 : 1	3 : 1	1 : 1	2 : 1
janela e q1	323 : 1	100 : 1	100 : 1	71 : 1
janela e q2	1130 : 1	75 : 1	600 : 1	73 : 1
janela e q3	2260 : 1	105 : 1	1200 : 1	100 : 1
janela e mesa	251 : 1	24 : 1	400 : 1	37 : 1

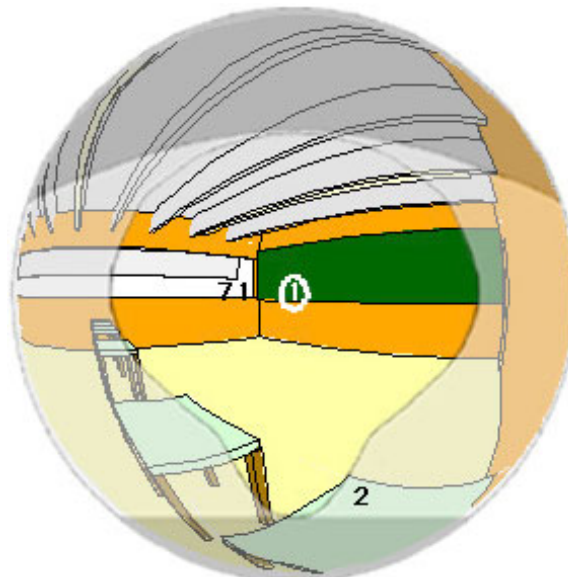


Figura 1 : Contrastes entre luminâncias do campo visual do estudante na posição P5.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise lumínica realizada nas salas 826 e 828 mostra um desempenho similar nas duas salas nas condições de céu nublado e tanto com luz natural como com luz artificial. Estes resultados se devem a geometria das salas e aberturas que são idênticas, apesar da posição diferenciada. Podemos resumir este estudo nos seguintes aspectos:

- A variação do fator de luz diurna abrange uma faixa de 1 a 0,1% para dias com céu nublado, ou seja, são valores percentuais muito baixos para iluminação natural exigindo um suplemento artificial durante todo o período diurno, já que a medição foi realizada no horário de maior disponibilidade de luz natural.
- A distribuição de luminâncias mostra valores muito heterogêneos nos pontos medidos, com valores muito baixos no quadro negro exigindo um suplemento artificial que efetue uma correção nestes valores gerando um maior equilíbrio entre as luminâncias das superfícies das tarefas visuais consideradas.
- Os contrastes entre as superfícies que atuam no desempenho das tarefas são elevados. A janela constitui o elemento chave na relação de contrastes entre superfícies e na produção de reflexões no quadro negro. A utilização de elemento de controle de iluminação natural pode melhorar estas relações, desde que não diminua demasiadamente os níveis de iluminação natural existentes (ERNST & SOHN, 1996).
- Os contrastes entre a mesa e a janela estão situados dentro dos limites máximos admissíveis, embora possam ser reduzidos para um ratio inferior a 1:20.
- A presença da fonte de luz desprotegida no campo visual do aluno é fonte de ofuscamento.

Novos sistemas de iluminação

- O novo sistema de iluminação não alterou muito as relações entre luminâncias. A presença das janelas continua sendo o principal foco de contrastes entre as superfícies
- O novo sistema de iluminação produz valores de iluminâncias sobre as mesas inferiores aos obtidos com o sistema antigo, mas de acordo com as recomendações para as tarefas visuais. Entretanto as relações entre luminâncias que definem os contrastes na sala praticamente não se alteram.
- As luminâncias no quadro negro continuam com valores muito baixos nos três pontos medidos, embora se observe um pequeno aumento no ponto q3, oposto a janela .
- As luminárias estão situadas no campo visual do aluno, sob as vigas como se pode ver no diagrama do campo visual, na figura 6; dispondo de proteção parcial, o que não impede a visão da fonte de luz gerando ofuscamento

Recomendações

- As paredes deveriam receber uma pintura clara visando melhorar a distribuição da iluminação natural e artificial.
- As luminárias utilizadas sobre o quadro devem ser do tipo ‘wall-wash’ para elevar os valores de luminâncias sobre o quadro.
- A pintura das superfícies internas do elemento de controle exterior em concreto aparente pode aumentar os níveis de iluminação interiores aumentando a contribuição da luz natural no ambiente. A pintura em cor clara diminuirá o contraste de luminâncias no plano da janela, pois este plano é dividido entre o elemento fixo de concreto escuro e a visual do céu e da paisagem mais claros.
- A distribuição de luminâncias da sala pode melhorar com a pintura de cor clara das superfícies de tijolo aparente. A superfície do quadro negro deve receber iluminação localizada através de

luminária com dispositivo ótico para proporcionar uma iluminação da superfície vertical homogênea.

- Os contrastes podem ser reduzidos com a melhor iluminação do quadro negro e com a redução da luminância da janela (BAKER, N., FANCHIOTTI A., STEEMERS, K ,1993). Esta redução será melhor proporcionada através de persianas refletantes, ou seja que permitam redirecionar a luz incidente para o teto, gerando um aproveitamento de luz na zona interior da sala. Para a sala 826 com orientação oeste a recomendação é de uso de persianas verticais e para sala 828, orientada a sul, persianas horizontais. Atualmente o tipo de proteção existente é a cortina de tecido opaco azul marinho que bloqueia totalmente a luz natural do ambiente.
- Para evitar o ofuscamento gerado pelas lâmpadas sugere-se utilizar luminárias com proteção da lâmpada através de aletas e ou refletores parabólicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABNT; NB 57 (1991), Iluminância de Interiores. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- BAKER, N., FANCHIOTTI A., STEEMERS, K., (1993) Daylighting in Architecture, James & James, London, p. 2.18.
- CORREA, S., (1997) Luz natural y Luz artificial- integración de sistemas y su aplicación en proyectos de escuelas, tese de doutorado, ETSAB, UPC, Barcelona, p.140-158.
- ERNST & SOHN, Annual of Light and Architecture 1995, (1996), edited by Ingeborg Flagge, Berlin, p. 22.
- HERDE, A., (1995), Le Manuel de Responsable Energie, Universite Catolique de Louvain, p. 106.
- HOPKINSON, R.G. AND J.D. KAY, (1969), The lighting of buildings, Faber and Faber, London, p. 149-167.
- MANUAL DE ALUMBRADO PHILIPS, (1988), Ed Paraninfo, Madrid , p. 48 .