



ANÁLISE DO EFEITO LUMINOSO PRODUZIDO PELO USO DE PÉRGULAS EM AMBIENTES ESCOLARES

Leonardo Bittencourt (1); Evelise Leite Didoné (2); Juliana Batista (3); Joyce Fontan (4)

(1) Prof. Adjunto. Depto de Arquitetura e Urbanismo/CTEC/UFAL. E-mail: lsb@ctec.ufal.br

(2) Bolsista PIBIC/CNPq E-mail: evelisedidone@yahoo.com.br (3) Bolsista CAPES/USFC E-mail: juliana@labeee.ufsc.br (4) Bolsista PET/SESU E-mail: joyceabreu@hotmail.com

(1)(2)(4) GECA – Grupo de Estudos em Conforto Ambiental . Depto. de Arquitetura e Urbanismo/CTEC. Universidade Federal de Alagoas, Campus A C Simões, Tabuleiro do Martins, Maceió-AL, CEP 57072-970, Tel.: + 55 82 214 1283

RESUMO

Essa pesquisa investiga o desempenho da iluminação natural através do uso de pérgulas em edifícios escolares. Esse dispositivo pode beneficiar o desempenho energético das edificações, reduzindo os ganhos térmicos do ambiente, proporcionando proteção solar e o sombreamento. A análise do desempenho luminoso das pérgulas foi realizada através de simulações computacionais, utilizando-se para tal, o programa *Lumen Micro v. 2000*. O objetivo deste trabalho consistiu na avaliação do efeito luminoso produzido pelo uso de pérgulas em ambientes escolares, verificando-se quais os coeficientes de luz diurna (C.L.D.) obtidos no interior de salas de aula dotadas desse dispositivo. Em comparação com salas de aula típica os resultados indicam que a utilização de pérgulas apresenta um potencial interessante para incrementar a qualidade da iluminação no interior de ambientes escolares, tendo sido obtidos valores de C.L.D. adequados às necessidades dos usuários desses ambientes, proporcionando uma distribuição mais uniforme da luz natural.

ABSTRACT

This paper examines the daylight performance of *pergolas* in schools buildings. This component may help the buildings energetic performance, reducing the thermal gain of the ambient, while provides shady environment. Computational simulations has been carried out using the *Lumen Micro v. 2000 software*. The objective of this work consisted of the evaluation of the luminous effect produced by the use of *pergolas* in schools environment, assessing daylight factors (D.F.) achieved in the classrooms. Results show that the use of *pergolas* in schools buildings may be interesting to produce better daylight distribution in the classrooms, achieving values of daylight factor adequate to this ambient, providing a distribution more uniform of the daylight.

1. INTRODUÇÃO

Em 2001, em virtude da crise energética ocorrida no Brasil, foi estabelecida uma série de medidas de economia e racionamento de energia, afetando diversos âmbitos: industrial, comercial e residencial. Enquanto um debate generalizado buscava identificar as causas do problema, questionava-se

principalmente a eficácia dessas medidas diante dos profundos impactos sobre a vida da sociedade. (DIEESE, 2004).

Os motivos da crise de abastecimento de energia elétrica são de várias ordens: ausência de investimentos em geração de energia nos últimos anos, aumento no consumo de energia e escassez de chuvas (SAUER,2004).

O setor que mais consome energia elétrica no Brasil é o setor de edificações residenciais e comerciais, relativo a cerca de 43% de toda energia gerada pelo país (MEIRIÑO, 2004). Entretanto, grande parte dessa energia é desperdiçada: 30 a 50%, por falta de controles adequados da instalação, falta de manutenção e também por mau uso, enquanto 25 a 45% da energia são consumidos indevidamente por má orientação da edificação e por desenho inadequado (MASCARO, 1991).

Diante do aumento da demanda no consumo energético, o uso racional da energia nos edifícios assume importância fundamental, justificando a adoção de medidas visando a redução do desperdício e minimizando os riscos de uma nova crise energética (COSTA, 2001).

Edifícios bem projetados caracterizam-se pela utilização de tecnologias mais eficientes e pelo uso de formas passivas de captação de energias renováveis, por exemplo, a iluminação natural, garantindo os níveis de conforto necessários à manutenção adequada da produtividade dos usuários (PROCEL, 2003). No caso das edificações escolares típicas encontradas em Maceió, o potencial da iluminação natural para garantir os níveis de iluminamento adequados em salas de aula não é explorado de modo satisfatório. Usualmente, as salas de aula possuem uma única janela voltada para o exterior produzindo uma má distribuição de luz, bem como baixos níveis de iluminação nos trechos mais afastados (ver Figs.1 e 2).

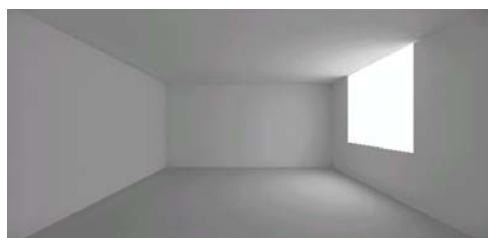


Fig. 2 A: vista interna

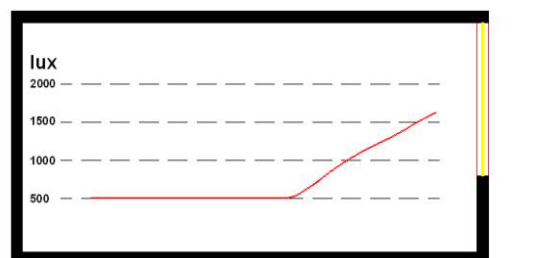


Fig. 2 B: curva de iluminância

Figs. 2A e 2B: Sala de aula iluminada unilateralmente, demonstrando deficiências quanto à uniformidade luminosa.

A opção pela iluminação unilateral prejudica a uniformidade luminosa, resultando em diferenças significativas entre os níveis de iluminação junto à janela e aqueles verificados nos fundos do ambiente.

Outro aspecto observado é a ausência de dispositivos de proteção solar nas aberturas, que obstruam a entrada da radiação solar direta nos espaços interiores e evitem ganhos térmicos indesejáveis (MILLET, LAKIN & MOORE, 1981). Tais deficiências contribuem para um desempenho energético insatisfatório dessa configuração típica.

Proporcionando ambientes sombreados, com excesso de luminosidade filtrado e dotados de aeração e jardins internos, as pérgulas podem ser usadas como eficientes protetores, especialmente em locais onde haja necessidade de circulação de ar (BITTENCOURT, 2000). No caso das edificações escolares, as pérgulas podem funcionar como proteção solar e ao mesmo tempo favorecer a penetração da luz natural difusa, garantindo níveis de iluminação adequados, indispensáveis para o reconhecimento das tarefas visuais (MOORE, 1985). Ainda pouco investigada no âmbito científico, as pérgulas apresentam-se como componentes arquitetônicos de particular riqueza bioclimática e espacial.

Considerando-se a função arquitetônica e a necessidade de se garantir a produtividade dos usuários de ambientes escolares, o presente trabalho avalia o desempenho luminoso de salas de aula dotadas de pérgulas, avaliando-se o potencial desse dispositivo quanto ao incremento dos níveis de iluminação nos ambientes internos.

2. OBJETIVOS

- Avaliar aspectos qualitativos e quantitativos referentes a aplicação das pérgulas em ambientes de sala de aula, no âmbito da iluminação natural;
- Identificar quais os C.L.D. (Coeficientes de Luz Diurna) obtidos em diferentes horas do dia e sob as condições de céu mais frequentes em climas quentes e úmidos (parcialmente encoberto e encoberto).
- Proporcionar alternativas capazes de beneficiar o conforto visual e a produtividades dos estudantes, com a obtenção de níveis adequados de iluminâncias nesses ambientes a partir do uso da luz natural, contribuindo para a redução do desperdício de energia elétrica nos edifícios.

3. METODOLOGIA

As simulações foram desenvolvidas considerando uma tipologia de sala de aula típica da cidade de Maceió-AL. Foram realizadas simulações do desempenho luminoso dessa tipologia através do programa computacional *Lumen Micro v. 2000*. Este programa desenvolve simulações de iluminação natural e artificial, apresentando como resultados, curvas isolux e “renderizações”, reproduzindo em 3D as características do ambiente simulado.

3.1 Descrição do Modelo Computacional

Investigou-se o desempenho luminoso de salas com orientação leste, verificando-se o efeito produzido pelas pérgulas nos níveis de iluminância obtidos no interior de cada sala. O modelo adotado é representativo da configuração típica de sala de aula usualmente encontrada em Maceió: salas medindo 6 x 6 metros e com pé direito igual a 3 m. Quanto às refletividades das superfícies internas do ambiente, os valores adotados foram respectivamente para teto, paredes e piso iguais a 0,8; 0,8 e 0,5. As pérgulas apresentam a cor branca (refletividade 0,8), de modo a maximizar a reflexão da luz natural (ver Fig. 3).

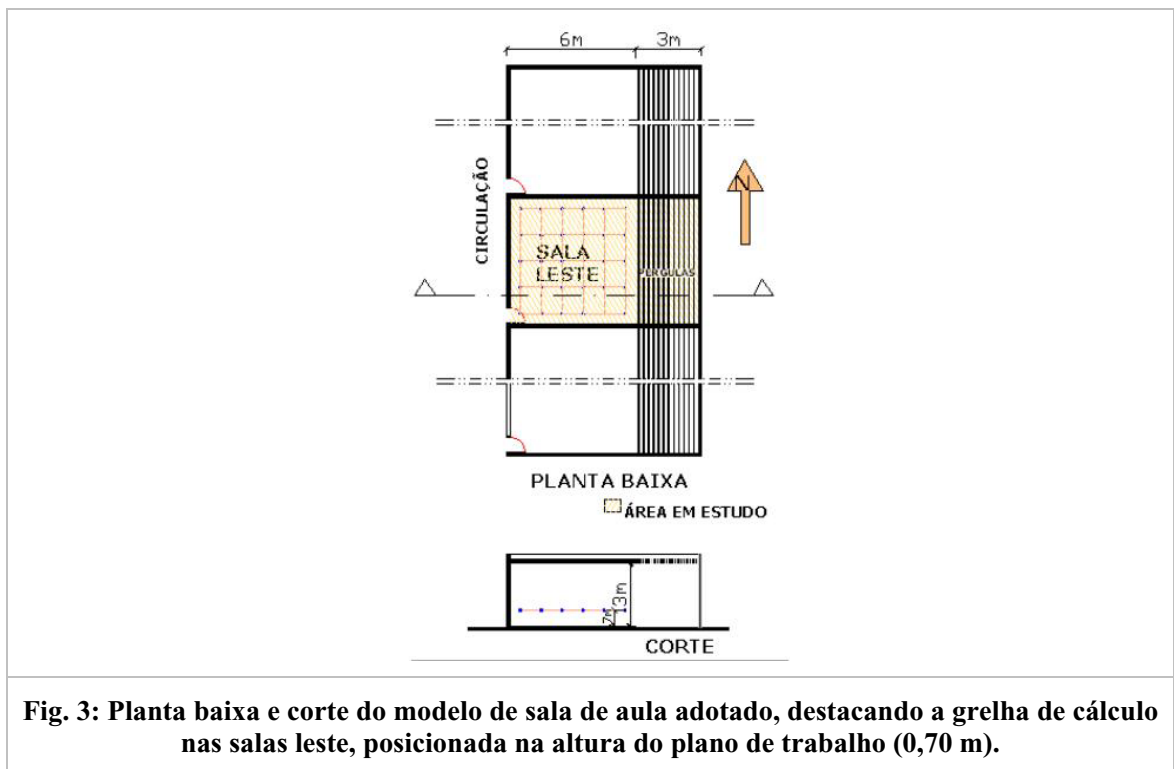


Fig. 3: Planta baixa e corte do modelo de sala de aula adotado, destacando a grelha de cálculo nas salas leste, posicionada na altura do plano de trabalho (0,70 m).

Foram avaliados os coeficientes de luz diurna obtidos em pontos específicos de uma grelha de cálculo posicionada na altura do plano de trabalho das carteiras escolares. A grelha de cálculo foi posicionada a 0,70 m do chão e é composta de 30 pontos uniformemente distribuídos (vide Fig. 3). Observou-se também a relação entre os níveis de iluminância obtidos junto à pérgula e aqueles obtidos nos fundos da sala, avaliando-se o nível de uniformidade luminosa obtido em cada simulação.

Os parâmetros avaliados são: (i) a variação na altura das lâminas verticais das pérgulas e (ii) a variação no espaçamento das lâminas. Foram simulados modelos computacionais apresentando lâminas com alturas iguais a 10, 15 e 20 cm, com 4 cm de espessura. Quanto ao espaçamento entre as lâminas, foram simuladas alternativas com 12 cm e a 18 cm (ver fig. 4). As simulações foram realizadas em dois horários (9h-sol incidindo a 45° em relação ao plano das pérgulas e 12h- incidência do sol a 90°) considerando os períodos do solstício de verão e solstício de inverno, e condições de céu nublado e parcialmente nublado.

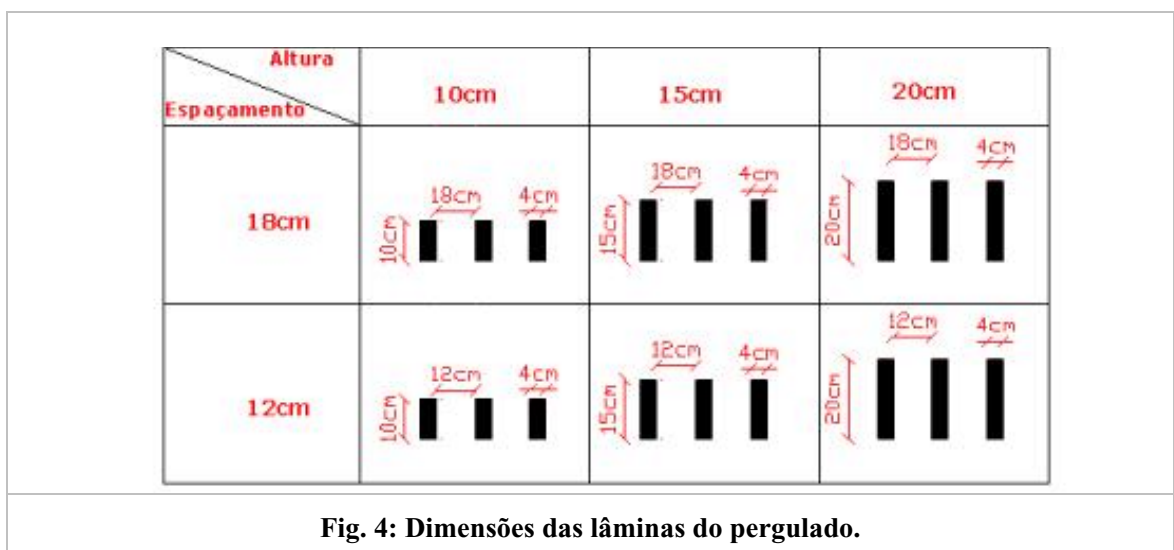


Fig. 4: Dimensões das lâminas do pergulado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados os resultados obtidos na sala de aula típica como referência para a análise das salas simuladas com o pergulado, posteriormente apresentados, com espaçamento de 18 cm e 12 cm entre as pérgulas, respectivamente, tanto sob condição de céu nublado (condição mais desfavorável) como de céu parcialmente nublado (condição mais comum em locais quentes e úmidos).

4.1 Valores de C.L.D. na Sala de Aula Típica

A tabela 1 apresenta as médias dos C.L.D. encontrados na sala de aula típica, provida de uma abertura lateral centralizada, com 3 m de largura, 2 m de altura e peitoril de 1 m.

Tabela 1: Média dos coeficientes de luz diurna obtidos na sala típica.

CÉU NUBLADO						
Local	Próximo à janela		Centro da sala		Fundos da sala	
Hora \ Dia	22/06	22/12	22/06	22/12	22/06	22/12
9h	12,52	12,52	7,23	7,23	5,68	5,68
12h	12,52	12,52	7,23	7,23	5,68	5,68

CÉU PARCIALMENTE NUBLADO						
Local	Próximo à janela		Centro da sala		Fundos da sala	
Hora \ Dia	22/06	22/12	22/06	22/12	22/06	22/12
9h	8.509,5	12.762,9	7.775,8	9.360,4	4.289,7	5.510,8
12h	8.856	7.742,7	4.381,3	5.150,8	3.703,1	4.379,2

4.2 Espaçamento Entre as Lâminas Igual a 18 cm

A seguir serão apresentados os resultados das simulações com o pergulado de espaçamento de 18 cm, sob condições de céu nublado e parcialmente nublado, respectivamente.

4.2.1 Desempenho das Salas Sob Condições de Céu Nublado

Sob tais condições de céu, não há a interferência da radiação direta, portanto a relação entre a iluminação exterior e aquela produzida no interior do ambiente pode ser considerada como constante, independente do horário e do período do ano¹ (ver fig. 5).



Fig. 5: Aspecto da iluminação natural produzida na sala leste, no dia 22/06 às 9 h. Altura das lâminas = 20 cm.

¹ O valor da iluminância exterior difere para cada data e horário simulado e é fornecido pelo programa Lumen Micro quando da realização das simulações, oscilando no céu nublado entre 11.539 e 21.765 lux e no céu parcialmente nublado entre 36.147 e 99.733 lux.

Para efeito de análise, as salas foram divididas em 3 faixas. A primeira junto às pérgulas, a segunda no trecho central da sala e a terceira que se localiza no fundo da sala. Os valores médios dos C.L.D. obtido nos fundos da sala, em sua porção central e nas proximidades das pérgulas encontram-se descritos na tabela a seguir:

Tabela 2: Média dos coeficientes de luz diurna obtidos sob condição de céu nublado.

ORIENTAÇÃO DA SALA	ALTURA DAS LÂMINAS	CLD OBTIDO PARA CADA ZONA DA SALA		
		FUNDOS	ZONA CENTRAL	PROX. AO PERGULADO
SALA LESTE	10 cm	6,42%	7,46%	16,64%
	15 cm	6,38%	7,38%	14,33%
	20 cm	6,54%	7,32%	15,39%

Observou-se que com o aumento da altura da lâmina de 10 para 15 cm, reduz-se a quantidade de luz incidente em todas as zonas da sala. Quando a altura da lâmina aumenta para 20 cm, os percentuais de luz incidente sobre as áreas nos fundos do ambiente se elevam levemente, provavelmente, devido às inter-reflexões ocorridas nas superfícies das lâminas.

Nos três modelos acima examinados a relação entre a iluminância obtida nos fundos da sala e os valores verificados junto ao pergulado, os percentuais obtidos variaram entre 38,58% e 44,51%.

4.2.2 Desempenho das Salas Sob Condições de Céu Parcialmente Nublado

Sob condição de céu parcialmente nublado, há influência da radiação direta na iluminação do ambiente. Desse modo, o efeito da variação da altura das lâminas do pergulado está diretamente relacionado com as datas e os horários simulados, conforme será apresentado a seguir.

- **Solstício de Inverno – 22/06**

- **Desempenho das salas às 9h**

Neste horário, as pérgulas favorecem o direcionamento da luz natural para a sala, elevando os C.L.D. obtidos junto ao pergulado. No caso das lâminas com altura igual a 10 cm, ocorre penetração da radiação direta e o C.L.D. obtido junto ao pergulado corresponde a 24,33%. Nas demais situações, os C.L.D. obtidos foram 13,22% (lâmina com 15 cm) e 16,82% (lâmina com 20cm). Quanto a uniformidade luminosa (relação iluminância fundos / zona próxima ao pergulado), a sala apresentou percentuais satisfatórios, variando entre 58,5% e 53,5%, respectivamente. O acréscimo nos níveis de iluminância médios nos fundos do ambiente foram iguais a 7% (variação de 10 para 15 cm) e 16,3% (variação de 15 para 20 cm). (ver fig. 6)



Fig. 6: Aspecto da iluminação produzida, às 9h. Ocorre penetração de radiação direta através

das pérgulas quando a altura das lâminas corresponde a 10 cm.

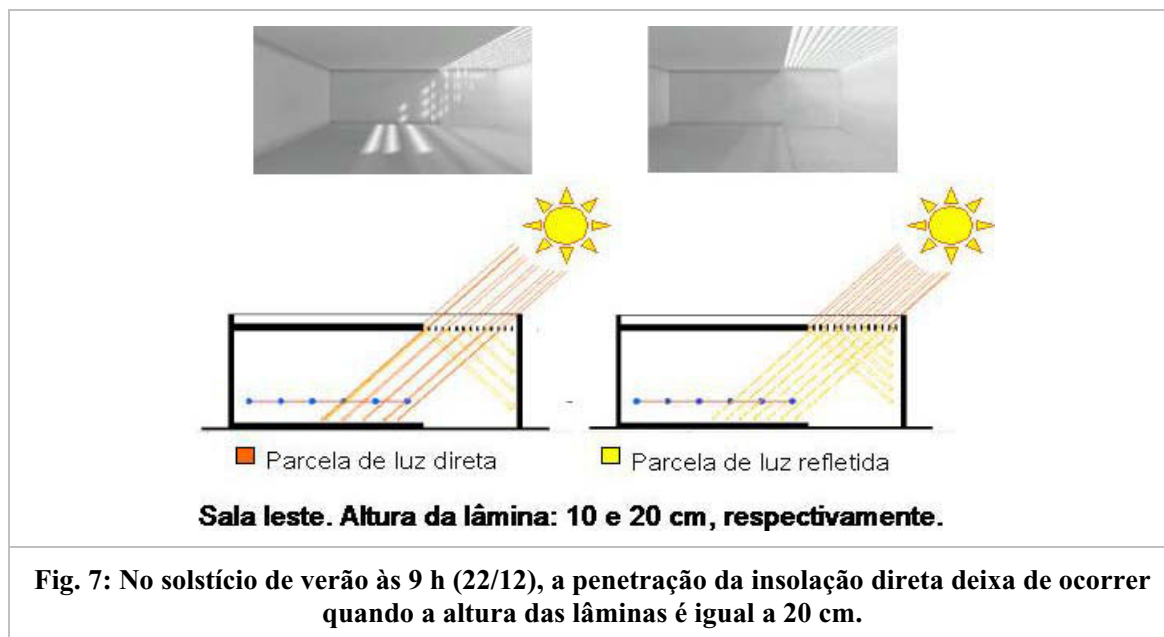
• **Desempenho das salas às 12 h**

Quanto aos C.L.D. obtidos neste horário observou-se que as diferenças relativas à variação da altura das lâminas foram inferiores a 1%. Os C.L.D. nos fundos, na porção central e na área junto ao pergulado são de aproximadamente 5,5%; 6% e 9,8%, respectivamente. O valor das iluminâncias médio de cada zona da sala obteve percentuais de uniformidade luminosa satisfatórios: 54% a 58%.

• **Solstício de Verão – 22/12**

• **Desempenho das salas às 9h**

Os valores de C.L.D. obtidos na área junto ao pergulado e na porção central da sala foram bastante altos devido a penetração da insolação direta: 30,89% e 25,28%, respectivamente. Esse fato prejudica a uniformidade luminosa do ambiente: a iluminância média nos fundos corresponde apenas a 21,84% daquela obtida junto ao pergulado. Com o aumento da altura da lâmina, a radiação direta é obstruída e os percentuais de C.L.D. nos fundos e na porção central das salas, sofrem uma redução: 13,12% e 8,85%, respectivamente. No caso das lâminas com altura igual a 20 cm, a parcela de luz refletida pelas lâminas é maior do que aquela proporcionada pelas lâminas com 15 cm, resultando numa elevação do C.L.D. de cada zona da sala. Os valores obtidos nas áreas junto ao pergulado, na porção central e nos fundos da sala correspondem a 15,54%; 9,88% e 9,13%, respectivamente. (ver fig. 7)



• **Desempenho das salas às 12 h**

Observa-se uma reflexão da luz devido a incidência da radiação direta, que atinge o piso do pergulado. Nesse caso, são obtidos C.L.D.: em torno de 7% (fundos) e 8% (porção central). Na área junto ao pergulado os percentuais foram em torno de 11%.

Quanto à uniformidade luminosa, os percentuais entre a faixa próxima às pérgulas e a faixa do fundo da sala variaram entre 62% e 63%.

4.3 Espaçamento Entre as Lâminas Igual a 12 cm

Abaixo segue os resultados de C.L.D. obtidos sob condições de céu nublado e parcialmente nublado com o espaçamento entre as lâminas igual a 12 cm.

4.3.1 Desempenho das Salas Sob Condições de Céu Nublado

Com a redução do espaçamento entre as lâminas do pergulado, observou-se uma pequena redução para os C.L.D. obtidos em cada zona das salas, inferior a 1% nos fundos e na porção central desses ambientes. O valor médio do CLD obtido para cada uma das zonas da sala encontra-se descrito na tabela a seguir:

Tabela 3: Média dos coeficientes de luz diurna obtidos sob condição de céu nublado, nas datas simuladas.

ORIENTAÇÃO DA SALA	ALTURA DAS LÂMINAS	CLD OBTIDO PARA CADA ZONA DA SALA		
		FUNDOS	PORÇÃO CENTRAL	PROX. ÀO PERGULADO
SALA LESTE	10 cm	6,19%	6,99%	11,20%
	15 cm	6,66%	7,22%	11,20%
	20 cm	6,34%	6,49%	10,66%

A tabela 3 demonstra que a variação na altura das pérgulas não produziu variação significativa nos C.L.D., em nenhuma das faixas consideradas.

Quanto aos índices de uniformidade, ou seja, a relação entre a iluminância obtida nos fundos da sala e os valores obtidos junto ao pergulado, os percentuais obtidos variaram entre 55,24% e 59,51%.

4.3.2 Desempenho das Salas Sob Condições de Céu Parcialmente Nublado

- **Solstício de Inverno – 22/06**

- **Desempenho das salas às 9h**

Às 9h a iluminância média em cada zona da sala se eleva com a variação da altura das lâminas de 10 para 15 cm, sendo que com o aumento da altura para 20 cm os valores da iluminância média sofrem um decréscimo significativo. Tal decréscimo é da ordem de 40% junto ao pergulado e na porção central da sala. Já nos fundos do ambiente, essa redução chegou a 42%.

- **Desempenho das salas às 12h**

Às 12h observou-se que os C.L.D. diminuíram com a redução do espaçamento entre as lâminas. Com a restrição a penetração da luz natural, os níveis de uniformidade luminosa da sala tornam-se mais elevados para o pergulado com espaçamento igual a 12 cm. A penetração da insolação direta ocorreu apenas numa estreita faixa junto ao piso do pergulado. (ver fig. 8)

A relação entre a iluminância média dos fundos da sala e aquela obtida na área junto ao pergulado situou-se em torno de 70%, em média. Na situação anteriormente simulada (espaçamento entre lâminas igual a 18 cm), esse valor correspondeu a 56%.



- **Solstício de verão – 22/12**

- **Desempenho das salas às 9h**

No solstício de verão, ao contrário das lâminas com espaçamento igual a 18 cm, a iluminância média sempre aumenta junto com a variação da altura das lâminas, em todas as zonas da sala. Isso se deve às inter-reflexões da luz natural no interior do ambiente, favorecidas pelo aumento das superfícies refletoras (altura das lâminas). (ver fig. 9)

Na sala ocorreu penetração de insolação direta através das lâminas com 10 cm de altura, mas tal fato se deu em menor proporção do que no caso das lâminas com espaçamento igual a 18 cm.



5. CONCLUSÃO

As pérgulas consistem em componentes arquitetônicos de particular riqueza bioclimática e espacial, utilizadas em regiões quentes e úmidas, pelo fato de, nestas regiões, poderem permanecer abertas à circulação dos ventos ao longo de todo o ano. Funcionam ainda como protetores solares, e como fonte de luz secundária, refletindo parte da radiação solar para o interior das construções. É um dispositivo ainda pouco investigado no âmbito científico.

A reflexão da luz nas pérgulas parece produzir uma variável significativa na iluminância da sala em função do ângulo de incidência dos raios solares.

Sob condição de céu nublado, a variação do espaçamento entre as lâminas acarretou tanto em melhorias nos índices de uniformidade das salas de aula e em C.L.D. mais elevados para as lâminas de 10 cm de altura, mesmo considerando-se que sob essa condição de céu não ocorre a interferência da insolação direta.

Sob condição de céu parcialmente nublado, a mais comum em localidades caracterizadas pelo clima quente e úmido, o espaçamento menor limita a penetração da insolação direta em várias situações, principalmente no caso das lâminas com 10 cm de altura. Desse modo, obtém-se melhores índices de uniformidade luminosa, evitando-se também o risco de ofuscamentos no plano de trabalho e o prejuízo ao desempenho das tarefas visuais.

Pretende-se como desdobramento deste trabalho, comparar os resultados aqui apresentados com medições realizadas em modelos reduzidos, a fim de verificar a precisão dos resultados encontrados nas simulações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BITTENCOURT, L. **Uso das Cartas Solares: diretrizes para Arquitetos**. 1. ed. Maceió: Edufal, 2000.

COSTA, G. Mudança de Hábito à Força. Mais Suplemento. Separata de: **Mais Arquitetura**. São Paulo, p. 23-26, jul. 2001.

DIEESE. **A Crise Energética e Possíveis Impactos**. Disponível em: <www.dieese.org.br>. Acesso em: 10 Julho, 2004.

MASCARÓ, L. **Energia na Edificação**. 2. ed. São Paulo: Projeto, 1991.

MEIRIÑO, Marcelo. **Projeto Arquitetônico deve Incorporar Elementos de Eficiência Energética**. Março, 2004. Disponível em: <www.arcoweb.com.br>. Acesso em: 10 Julho, 2004.

MILLET, M., LAKIN, J. and MOORE, J. **Light Without Heat: Daylight and Shading**. In: Bowen, A. (Edj), Proc. of International Passive and Hybrid Cooling Conference. Miami, ISES-American Section, 1981.

MOORE, F. **Concepts and Practice of Architectural Daylighting**. New York:Van Nostrand Reinhold, 1985.

PROCEL. **Eficiência energética em edificações. Plano de ação para eficiência energética em edificações**. São Paulo: ELETROBRÁS, 2003.

SAUER, I. L. **Estudos do Racionamento**. Dezembro 2001, Disponível em: <www.iee.usp.br> Acesso em: 10 julho. 2004.