

ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO E VERIFICAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DA ILUMINAÇÃO NATURAL PARA EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Amilcar José Bogo, Arquiteto e Urbanista - M.Sc.

Departamento de Arquitetura e Representação - Universidade Regional de Blumenau /FURB

Rua Antônio da Veiga, 140 - Bairro Victor Konder CEP 89010-971 Blumenau/SC

Tel. 047 321 0273 Fax. 047 322 8818 E-mail: arqbogo@furb.rct-sc.br

Fernando Oscar Ruttkay Pereira, Engenheiro Civil - Ph.D.

Departamento de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC

Campus Universitário - Trindade CEP 88 040-900 Florianópolis/SC

Tel. 048 331 7080 Fax. 048 231 9770 E-mail: feco@arq.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho avalia o desempenho térmico e o potencial de uso da iluminação natural para edificações escolares em Florianópolis SC, através de simulação computacional com uso do programa DOE-2.1 E, analisando as variáveis formuladoras do projeto de arquitetura (forma; orientação das aberturas; razão entre área de janelas e área de paredes; proteções solares; materiais construtivos e de acabamento).

A análise foi realizada a partir de modelos protótipos, representativos das salas de aula locais, a partir de um arquivo climático do tipo TRY para Florianópolis.

Foram definidas as melhores configurações físicas de salas de aula, em relação ao desempenho térmico e potencial de aproveitamento da iluminação natural do ponto de vista de conservação de energia, resultando em recomendações de projeto de arquitetura.

ABSTRACT

This paper evaluates the thermal performance and the daylighting potential use to school buildings in Florianópolis SC, using the energy program simulation DOE-2.1 E, analysing the architecture design variables (shape; windows orientation; window to wall ratio - WWR; overhangs; building materials).

The analysis was performed using a model Wilding, referring to local schools, with a climatic data base (TRY) for Florianópolis.

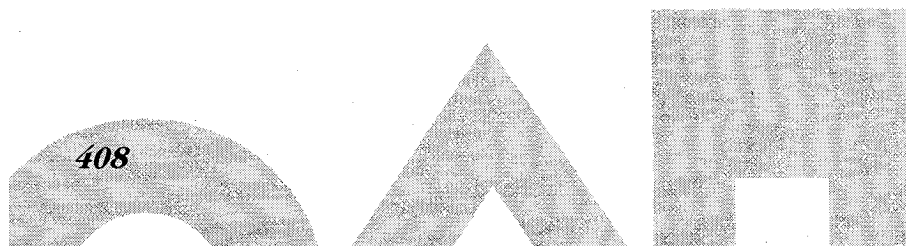
The best classrooms physical characteristics were determined by the thermal performance and daylighting exploitation by energy consumption, resulting on architectural design recommendations.

INTRODUÇÃO:

Este trabalho, desenvolvido a partir de uma dissertação de mestrado, apresenta uma análise do desempenho térmico e da disponibilidade de luz natural para edificações escolares, a partir da avaliação das variáveis formuladoras do projeto de arquitetura, determinantes da envolvente construída (forma; orientação das aberturas; razão entre área de janelas e área de paredes; proteções solares; materiais construtivos e de acabamento). São estas variáveis que regulam as trocas de calor entre o meio externo e a edificação, caracterizando-a como adequada ou não termicamente.

Neste sentido, de acordo com PEREIRA e CUNHA NETO (1988), o caminho científico para se obter a adequação térmica de um projeto ao seu meio ambiente é avaliar o seu desempenho térmico, tendo-se em vista fundamentalmente as exigências térmicas do usuário nas condições climáticas a que a edificação será submetida. AROZTEGUI (1993) menciona que as primeiras decisões gerais da concepção arquitetônica - forma, orientação, distribuição espaço/funcional, transparências, etc, são decisivas para a qualidade térmica do espaço interior. Assim, foram analisadas as salas de aula de acordo com suas características espaciais/construtivas, de ocupação, equipamentos, no clima de Florianópolis SC.

A utilização da iluminação natural nas edificações, devido a elevada disponibilidade de luz natural existente no Brasil, possibilita a economia de energia elétrica em iluminação, a partir do desligamento desta quando a luz natural pode proporcionar os níveis de iluminamento requeridos de forma total ou complementar. MASCARÓ e MASCARÓ (1992), afirmam que o Brasil tem a sua abóboda celeste bem iluminada, permitindo em edifícios bem projetados, a dispensa de iluminação artificial na maioria das horas do dia.



Em relação ao aproveitamento da luz natural, GATES e WILCOX (1984), num trabalho de análise de iluminação natural para salas de aula realizada para três cidades da Califórnia, EUA, citam economias em iluminação superiores à 90 %. THE EUROPEAN COMMISSION (1994), cita como grande o potencial de aproveitamento da luz natural, podendo variar de 30 a 70%, valores estes próximos ao encontrado por SOUZA (1995), simulando um edifício de escritórios em Florianópolis com o programa DOE-2.1 E, com economia em energia elétrica para iluminação de 35 à 70%. Além disto, o uso da luz natural proporciona uma luz de melhor qualidade (melhor reprodução de cores, melhor definição de objetos), a custo nulo, com melhoria do ambiente visual e benefícios psicológicos e fisiológicos.

METODOLOGIA

A análise de desempenho térmico e verificação do potencial de uso da iluminação natural do ponto de vista de conservação de energia, foi realizada através de simulação computacional, através do programa de simulação energética de edificações DOE-2.1 E, desenvolvido pelo Lawrence Berkeley Laboratory (EUA), em conjunto com a University of Califórnia, LBL (1994).

O programa trabalha com um arquivo de dados climáticos (arquivo meteorológico do tipo TRY), organizado por GOULART (1993), contendo dados horários de um ano típico para Florianópolis, com as seguintes informações para as 8760 (24 X 365) horas do ano:

- mês, dia, hora;
- temperatura de bulbo seco e bulbo úmido;
- umidade relativa;
- direção do vento.
- pressão barométrica;
- nebulosidade;
- radiação solar (estimada a partir da nebulosidade);

Neste arquivo climático foram incorporados ainda a latitude, a longitude e a hora local oficial da região.

Para a simulação computacional, foi definido um modelo protótipo representativo de uma sala de aula típica utilizada na rede escolar em Florianópolis, definido a partir de um levantamento de dados e de campo. Este protótipo foi analisado a partir das suas características construtivas (piso, parede, viga, janela, cobertura); características dos equipamentos (tipo de luminárias); e características de ocupação (número de ocupantes, atividade desenvolvida, horário e período de ocupação), nas diferentes situações existentes quanto à forma, orientação das aberturas, razão WWR, proteções solares, acabamento superficial.

Na avaliação térmica, foram efetuadas dois tipos de análises, uma de consumo teórico de energia pelo programa DOE-2.1 E; outra de conforto térmico, a partir dos dados de saída do programa (temperatura interna do ar, fluxos de calor) e dados externos especificados.

A verificação do potencial de uso da luz natural foi realizada a partir do cálculo da iluminância interna, efetuado de forma que quando a luz natural fornece um nível de iluminamento interno de 300 lux, definido segundo a NBR 5413 (1991) no centro da sala, na altura do plano de trabalho, a iluminação elétrica é totalmente desligada; desta forma, calcula-se o número de horas que a iluminação artificial pode ser dispensada e a respectiva economia.

DESCRIÇÃO DO MODELO PROTÓTIPO SALA DE AULA E SITUAÇÕES DE ANÁLISE

Definido com base no levantamento de campo, a partir das situações predominantes e/ou médias encontradas.

Forma (localização em volume e planta): térrea e no segundo pavimento; em meio e em extremidade de planta.

Dimensões: o modelo protótipo sala da aula possui área de 48 m² (6 x 8), com pé-direito de 3 m.

Orientação das janelas: norte, sul, leste e oeste, nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste.

Razão WWR: 25, 35 e 50%, com janelas de 8 m de comprimento, peitoril de 1 m e altura de 1,05 m, localizadas na maior dimensão da sala de aula.

Paredes externas: parede de tijolos cerâmicos furados, rebocada nos dois lados.

Piso (térreo): piso cerâmico sobre camada de concreto.

Cobertura: laje pré-moldada + telha de fibrocimento e cerâmica.

Vidro: simples 3 mm, com coeficiente de transmissividade de 0,9.

Nível de iluminamento requerido: 300 lux, (NBR 5413).

Refletividade das superfícies interiores: coeficiente de refletividade de 0,7 para piso, paredes e teto.

Refletividade do obstáculo: coeficiente de 0,5.

Absortividade de paredes externas e cobertura: coeficiente de absortividade de 0,2 (cores claras).

Ocupação: 30 alunos e um professor, em atividade de assistência de aulas, de segunda a sexta-feiras, no período do ano letivo definido, com base no ano letivo do ano do arquivo TRY: 25/02 a 05/07 e 29/07 a 06/12..

Iluminação: seis luminárias fluorescentes, cada uma com duas lâmpadas de 40 W e reator (13W/m²).

Características Construtivas: o protótipo sala de aula é composto de: paredes externas (reboco + tijolo + reboco); paredes internas (definidas como paredes do tipo adiabática, não trocando calor com os elementos adjacentes); piso (cerâmico + concreto); cobertura (telha + câmara de ar + laje de forro + reboco); viga externa (reboco + concreto + reboco).

ANÁLISE REALIZADA

Objetivando avaliar o desempenho térmico e o uso da iluminação natural para edificações escolares do ponto de vista de conservação de energia, foi definido um processo de simulação com o programa DOE-2.1 E, analisando as salas de aula em diferentes situações de configuração espacial/construtiva existente, definidas como variáveis otimizadoras do comportamento térmico da edificação.

Assim, as variáveis de configuração espacial dos modelos protótipos (sala de aula), foram analisadas num processo de simulação, objetivando o melhor comportamento térmico e a maior economia de energia em iluminação ao longo do ano.

Neste processo de simulação, foram selecionadas as melhores situações das salas de aula, avaliando as suas características em cinco etapas, incorporando em cada uma elementos otimizadores do comportamento térmico da edificação.

O processo de simulação, analisando as sala de aula a partir do modelo protótipo submetido a diferentes situações de configuração espacial/construtiva, envolveu dois tipos de análises:

- Análise de consumo teórico de energia - considerando um sistema artificial de condicionamento de ar (resfriamento e aquecimento), de forma a avaliar cada sala de aula pelos critérios a seguir descritos, na ordem de prioridade apresentada abaixo:

CTR (consumo teórico de resfriamento): identificação das salas com menores valores anuais de CTR, considerando uma situação "fictícia" de ambientes condicionados artificialmente.

REIN (redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural): identificando os maiores valores anuais de economia de energia (%).

CRIE (consumo real em iluminação com energia elétrica): identificando o consumo real de energia (anual).

CTA (consumo teórico de aquecimento): identificando o consumo real de aquecimento (anual).

Nesta primeira análise foi analisado o modelo protótipo em cinco etapas de avaliação

- Primeira avaliação: envolvendo forma, orientação das janelas e razão WWR;

- Segunda avaliação: envolvendo forma, orientação das janelas e razão WWR + proteção solar nas janelas;

- Terceira avaliação: envolvendo forma, orientação das janelas e razão WWR + proteção solar nas janelas + absorvidade à radiação solar de paredes externas e cobertura (cores claras, $a=0,2$);

- Quarta avaliação: envolvendo forma, orientação das janelas e razão WWR + proteção solar nas janelas + absorvidade à radiação solar de paredes externas e cobertura (cores claras, $a=0,2$) + isolamento térmico na cobertura (2,54 cm de poliuretano expandido sobre a laje de ferro);

- Quinta avaliação: envolvendo forma, orientação das janelas e razão WWR + proteção solar nas janelas + absorvidade à radiação solar de paredes externas e cobertura (cores claras, $a=0,2$) + isolamento térmico na cobertura (2,54 cm de poliuretano expandido sobre a laje de ferro) + obstáculos junto às janelas (em distâncias de 1,5; 5,0 e 20 m), considerando estes como uma edificação de 12 m de altura.

Na análise de consumo teórico de energia, as alterações quanto à configuração espacial/construtiva nas salas de aula se manifestam claramente, permitindo um fácil comparação de resultados, definindo então os melhores resultados segundo os critérios definidos neste tipo de análise.

- Análise de conforto térmico - considerando que na prática as salas de aula não são condicionadas artificialmente, foi realizada uma análise de conforto térmico, a partir de dados produzidos pelo programa DOE-2.1 E sem uso de condicionamento artificial de ar, juntamente com dados complementares. Esta análise foi realizada para o modelo nas situações de menor e maior valores de consumo teórico de resfriamento (CTR), englobando a primeira e a terceira avaliação, permitindo identificar correlações entre consumo teórico de energia e conforto térmico. Outra característica para esta análise, está no fato de que na análise de consumo teórico de energia, a variável ventilação natural não foi avaliada, sendo então aqui analisada.

A análise de conforto térmico foi efetuada com base no método de FANGER (1972), com o cálculo dos índices PMV e PPD, a partir de dados produzidos no programa de simulação, como temperatura do ar, temperatura radiante média e velocidade do ar, juntamente com dados complementares, como umidade relativa do ar, atividade metabólica e vestimenta.

A análise de conforto térmico foi realizada para os períodos de verão, inverno e equinócios, a partir de um dia específico (definido aleatoriamente), representando o comportamento para cada período do ano (verão, inverno, equinócios).

Com base nos resultados coletados nos dois tipos de análises, foram identificadas as seguintes correlações para dias analisados de verão do modelo protótipo com menor valor de CTR (razão WWR de 25%; orientação das janelas sul), considerando este modelo na situação da primeira avaliação e na terceira avaliação + ventilação natural cruzada; o mesmo modelo também foi analisado com razão WWR de 50% na situação da terceira avaliação + ventilação natural cruzada.

A análise de correlação entre consumo teórico de resfriamento e conforto térmico foi realizada para os dias 01 e 06 de março (verão), apresentando as seguintes conclusões:

- Existência de uma tendência de aumento dos valores de CTR, correlacionada com aumento dos valores de PMV;
- Existência de uma tendência de aumento dos valores de CTR, correlacionada com aumento dos valores de PPD.

RESULTADOS ENCONTRADOS

Após a análise realizada, foram recolhidos dois tipos de resultados, a seguir apresentados:

- Resultados em nível de recomendação de desempenho térmico para o projeto de arquitetura de salas de aula, em relação a configuração física/espacial e uso de materiais construtivos e de acabamento, para a situação de calor, predominante no clima de Florianópolis:

SALAS TÉRREAS: devido ao contato com o solo, possibilitam a perda de parte do calor interno por condução através do piso, situação esta adequada para o período de calor;

ORIENTAÇÃO DAS JANELAS PARA SUL, LESTE E NORTE: as duas primeiras orientações apresentam significativas reduções do ganho de calor solar, apresentando um potencial para utilização da iluminação natural acima das demais orientações; a orientação norte, possui valores muito próximos as sul e leste, em relação ao desempenho térmico e disponibilidade de luz natural.

VENTILAÇÃO NATURAL CRUZADA: apresentou bons resultados na redução das temperaturas internas do ar para o período de calor, atuando também na dissipação do suor corporal dos ocupantes, provocando sensação de refrescamento.

PROTEÇÕES SOLARES E ÁREA DE JANELAS: em virtude de bloquear parte da radiação solar direta incidente, as proteções solares nas janelas reduzem os ganhos externos de calor, atuando de forma a permitir grandes áreas de razão WWR, desde que protegidas.

CORES CLARAS NA ENVOLVENTE: reduzem a absorção à radiação solar, reduzindo o armazenamento de calor pelas paredes externas e cobertura e as transmissões de calor para o interior dos ambientes.

ISOLAMENTO TÉRMICO PARA A COBERTURA: dificulta a transmissão de calor do meio externo para o interno, reduzindo as temperaturas internas do ar.

- Resultados em nível de aproveitamento da iluminação natural nos ambientes:

O aproveitamento da luz natural é calculado pelo programa a partir da especificação de um nível de iluminamento interno (300 lux), sendo que quando este nível de iluminamento é atingido devido a luz natural, o sistema de iluminação elétrica é totalmente desligado, calculando desta forma o número de horas que a iluminação artificial pode ser dispensada e a respectiva economia resultante.

É apresentado a seguir um quadro comparativo do potencial de disponibilidade de luz natural para os ambientes analisados, a partir de sua configuração espacial/construtiva e que apresentaram os melhores resultados de desempenho térmico para o período de calor (razão WWR de 25%):

Tabela 1. Potencial de Aproveitamento da Iluminação Natural para as Salas de Aula Analisadas.

Sala de Aula Analisada	Orientação das Janelas		Orientação das Janelas		Orientação das Janelas	
	SUL		LESTE		NORTE	
	CRIE (kWh)	REIN (%)	CRIE (kWh)	REIN (%)	CRIE (kWh)	REIN (%)
SALA sem otimização de projeto	118	86,9	72	91,9	106	88,2
SALA com proteção solar L= 1 m	126	85,9	75	91,7	110	87,8
SALA com obstáculos:						
distância à janela= 1,5 m	268	70,2	387	56,9	274	69,5
distância à janela= 5,0 m	185	79,4	335	62,7	216	76,0
distância à janela= 20,0 m	114	87,3	87	90,3	103	88,6
SALA sem uso iluminação natural	898	0	898	0	898	0

Onde: **CRIE:** consumo real em iluminação com energia elétrica

REIN: redução do uso de energia elétrica com utilização da iluminação natural

Obs.1: A variação de disponibilidade de luz natural calculada pelo programa em função do aumento da razão WWR de 25 para 35 e 50%, não foi significativa, devido a análise ser do ponto de vista de conservação de energia, situação que se alteraria se fosse considerado outros aspectos quanto à iluminação nos ambientes.

LIMITAÇÕES

Na análise de desempenho térmico com o programa DOE-2.1 E, as salas de aula protótipo não trocam calor pelas paredes internas nem pela laje de piso, sendo o modelo protótipo analisado individualmente.

A análise realizada de utilização da iluminação natural é do ponto de vista de conservação de energia, não abordando aspectos relativos ao conforto visual dos ocupantes das salas de aula.

A análise quanto a correlação entre os níveis de conforto térmico (índices PMV e PPD) e o consumo teórico de resfriamento (CTR), foi realizada para dois dias de verão, não sendo generalizável estes resultados para os demais dias do ano, sem uma análise complementar.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento deste trabalho, a partir das análises efetuadas, permitiu uma avaliação das diferentes características existentes em relação às salas de aula em Florianópolis, possibilitando definir recomendações em nível do projeto de arquitetura, citadas na apresentação dos resultados.

Neste sentido pode-se citar as seguintes conclusões:

1. As variáveis formuladoras do projeto de arquitetura, determinantes da envolvente construída, são fundamentais na determinação das condições de desempenho térmico das edificações.
2. Mesmo com a utilização de proteções solares junto as janelas, no sentido de evitar os ganhos de calor excessivos devido à radiação solar (melhorando o desempenho térmico para as condições de verão), o potencial de aproveitamento da luz natural continua grande, o mesmo acontecendo na situação de obstáculo junto à janela.
3. Além dos aspectos relativos ao projeto da envolvente da edificação, a definição de um sistema de controle para o desligamento da luz artificial é de vital importância, possibilitando aproveitar a luz natural economizando energia elétrica em iluminação.
4. O consumo teórico de energia, pode ser utilizado como parâmetro para comparação do desempenho térmico das salas de aula, sendo extremamente sensível as alterações quanto à configuração espacial/construtiva. No entanto, para isto ser válido, a comparação só é válida para salas com mesmos valores de razão WWR.
5. A ventilação natural cruzada, mostrou-se como boa alternativa de resfriamento nas condições de verão, de grande valia para as salas de aula, ambientes de ocupação elevada.
6. A utilização de cores claras em paredes externas e cobertura, mostrou-se como uma boa recomendação para redução do ganho de calor solar pela edificação, situação esta adequada para os períodos quentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AROSZTEGUI, José M. Prevision del Desempeno Térmico del Edificio desde las Primeras Decisiones de Proyecto. Montevideo: Servicio de Climatologia Aplicada a la Arquitectura. Universidad de la Republica Oriental del Uruguay, 1993.
- GATES, Steve and WILCOX, Joe, Daylighting Analysis for Classrooms Using DOE-2.1 E. Energy and Buildings, 6 p 331-341, 1984.
- GOULART, Solange, V. G. Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico em Edificações em Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC, 1993.
- LBL. DOE-2 Basics - version 2.1 E. Lawrence Berkeley Laboratory. Berkeley, 1994.
- MASCARÓ, Juan L. e MASCARÓ, Lucía. Incidência das Variáveis Projetivas e de Construção no Consumo Energético dos Edifícios. Porto Alegre: Sagra/DC Luzzatto, 1992.
- NBR 5413 . Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991.
- PEREIRA, Fernando O . R. e CUNHA NETO, José A . B . Princípios para otimização do Desempenho Térmico de Componentes da Edificação: I Simpósio de Desempenho de Materiais e Componentes de Construção Civil. Florianópolis: ANTAC/UFSC, 1988.
- SOUZA, Marcos B. Impacto da Luz Natural no Consumo de Energia Elétrica de um Edifício de Escritórios em Florianópolis. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. UFSC, 1993.

