

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE UMA SOLUÇÃO DE FECHAMENTO NA CONDIÇÃO TÉRMICA DE UM AMBIENTE DE AUDITÓRIO: ESTUDO DE CASO

Rita Roseli Corrêa⁽¹⁾; André Luís de Araújo⁽²⁾; Antônio Cleber Gonçalves Tibirica⁽³⁾

(1) Universidade Federal de Viçosa, e-mail: ritaroseli@yahoo.com.br

(2) Universidade Estadual de Campinas, e-mail: a.araujo@fec.unicamp.br

(3) Universidade Federal de Viçosa, e-mail: tibirica@ufv.br

Resumo

As normas bioclimáticas para projetos arquitetônicos se fundamentam, sobretudo, na investigação de condicionantes que interferem no ambiente construído e no conforto térmico de seus usuários. Com vistas a compor o leque de informações que constituem a problemática que envolve o conforto térmico de edifícios, os estudos de caso tem um papel importante na avaliação da abrangência de normas e de especificações. Nesse contexto, o presente artigo teve o objetivo de discutir a influência de uma solução de fechamento na condição de conforto de um ambiente de auditório sob os aspectos térmicos. A partir de registros de temperatura e umidade relativa verificou-se, ao longo de um dia, a influência das soluções de fechamento nas condições microclimáticas dentro do recinto. A partir dos resultados obtidos, discutem-se práticas positivas e negativas para a construção de fechamento dentro do universo deste estudo de caso.

Palavras-chave: *Construção Metálica, Conforto Térmico, Auditório.*

Abstract

The bioclimatic architectural standards are based on the research about the effects of buildings solutions on the thermal comfort of users. Moreover, case studies have an important role in assessing the scope of standardization and specifications. In this context, this paper aims on discussing the influence of vertical closure solution on the users thermal comfort of an auditorium. From the records of temperature and relative humidity taken over one day we have evaluated the influence of the solutions in the in-door thermal conditions. As a result we have discussed the positive and negative practices to the construction of vertical closure regarding this case study.

Keywords: *Steel Buildings, Thermal Comfort, Auditorium.*

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas científicas que versam pela relação entre as variáveis climático-ambientais e a atividade humana de construir são de significativa importância para a constituição de uma prática construtiva mais eficiente em detrimento de técnicas que usualmente negligenciam fatores ambientais.

Um desses fatores se fundamenta da condição de conforto térmico, isto é, no delineamento de uma condição corporal favorável e comum aos seres vivos com vistas a informar a concepção baseada em uma condição de conforto. Em se tratando de uma edificação as diferentes condições de exposição se dão principalmente pela forma e função dos elementos utilizados, já que as trocas de energia entre os meios exterior e interior têm como cerne os elementos construtivos (LAMBERTS, et. al. 1997).

Assim, como em quaisquer mecanismos de trocas térmicas, o ambiente interior apresenta mudanças em sua condição térmica inicial cumprindo-se a base conceitual do fenômeno de transmissão de calor. Dessa maneira, as superfícies que separam o exterior do interior funcionam segundo o coeficiente global de transmissão térmica – U , que engloba as trocas térmicas superficiais (por convecção e radiação) e as trocas térmicas através do fechamento (por condução); portanto compreendem as trocas de calor referentes a um determinado material segundo a espessura da lâmina, o coeficiente de condutibilidade térmica, a posição horizontal e vertical da lâmina e, ainda, o sentido do fluxo (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Quando se admite um regime estacionário temos um fluxo sempre igual de calor, ou seja, em qualquer etapa do processo de transmissão a quantidade de calor transmitida é sempre a mesma. No entanto, qualquer modificação ou diferença térmica que produz em uma das superfícies do fechamento não é notada instantaneamente na outra face. Comprova-se assim um atraso térmico que é medido em unidades de tempo (RIVERO, 1986).

A discretização de um processo físico como esse e sua posterior aplicação na construção civil se complementa com o estudo sobre as variáveis humanas, isto é, com as respostas dos mecanismos sensoriais corpóreos sob determinada situação gerando condições de contorno favoráveis. Estabelecem-se, portanto, limites de conforto por meio da relação entre a temperatura do ar e a quantidade de vapor d'água presente em sua massa (OLGYAY, 1973).

O presente artigo discute a influência de uma solução de fechamento em um auditório de um edifício de estrutura metálica nos seus aspectos térmicos, a partir de registros de temperatura e de umidade sob os aspectos da NBR15220-2(2005). Discute-se as características da solução adotada nos fechamentos e as condições térmicas verificadas, a fim de se evidenciar a relação entre a solução dada as fachadas e a condição de conforto em diversos setores do ambiente.

2. OBJETIVO

O objetivo dessa análise é verificar as diferenças na condição de exposição térmica de um auditório com vistas à variabilidade de exposição solar das fachadas ao longo do dia. A partir da determinação de pontos e registros de variação de temperatura e umidade do ar, pretende-se discutir as relações entre os diversos materiais utilizados e a influência no micro-clima interior.

3. METODOLOGIA

O auditório do qual se trata esta investigação situa-se no Edifício do Pavilhão de Aulas II (PVB) localizado no Campus da Universidade Federal de Viçosa/Viçosa-MG (Latitude: 20° 45'; Longitude: 42° 51'). A construção finalizada no ano de 2004 teve como objetivo atender à demanda por salas de aula em virtude da expansão dos cursos de graduação e pós-graduação da instituição. A maioria dos ambientes é de salas de aula, além de conter banheiros lanchonetes, salas de fotocópias, salas de estudo, laboratórios de computação e dois auditórios dentre outras instalações.

3.1. Características do edifício analisado

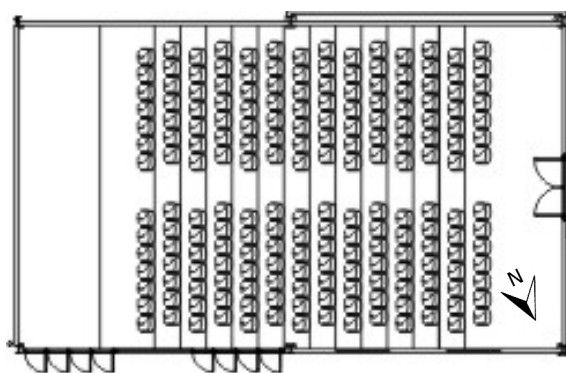
- estrutura metálica com pilares, vigas e contraventamentos em perfis soldados do tipo I revestido com pintura esmalte sintético semi-brilho na cor amarela;
- lajes mistas em concreto com fôrma de aço incorporada (*Steel-Deck*);
- vedações em alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado revestido com pintura látex acrílico na cor branca e texturizada;

- cobertura em telhas calandradas de aço galvanizado revestidas com pintura eletrostática na cor branca.

3.2. Características do auditório analisado (Figura 1)

- piso vinílico semi-flexível constituído por liga termo-plástica, homogênea, composta, aplicada sobre cimentado plastificado executado sobre contrapiso nivelado em argamassa de cimento e areia;
- rampa central com inclinação de 7% revestida com piso vinílico semi-flexível;
- pé-direito de 4,20 metros com a mesma inclinação do piso;
- porta de acesso e porta-brise de vedação com montantes de alumínio e tampo em aço galvanizado revestidos com pintura esmalte sintético na cor cinza;
- esquadrias de alumínio revestida com pintura à óleo na cor cinza e janelas em vidro pintadas na cor cinza;
- vedações em alvenaria de blocos em concreto celular autoclavado.

Figura 1 – disposição do mobiliário no auditório



(a) planta (sem escala)



(b) fotografia interna

3.3. Investigação experimental

O levantamento organizado no mês de junho de 2008 versou pelo monitoramento das variáveis Umidade Relativa (UR), Temperatura de Bulbo Seco (TBS) e das Temperaturas Superficiais dos Fechamentos (TS) em três períodos do dia: às 10hs, às 15hs e às 20hs. Tanto a escolha dos pontos quanto o levantamento das variáveis se deram segundo o sentido no qual houve a coleta de dados. Define-se 16 pontos-base no interior do recinto situados à altura de 1,10 metros do piso (altura de trabalho) e a partir deles foram levantados:

- UR e TBS: utilizando-se de dispositivo eletrônico medidor da marca OAKTLON® thermohygrometer cole parmer. Escala de medição de 0 a 100% de UR, precisão à 20°C (68°F) igual à $\pm 1\%$ de 0% a 90% e igual à $\pm 1,7\%$ de 90% a 100%; sensor de umidade Vaisala HUMICAP 180. Escala de medição de -20% a +60°C (-4 a 140° F) de TBS, precisão de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ (0,36°F), sensor de temperatura Pt100 1EC751 1/3 classe B.
- TS: utilizando-se de termômetro infravermelho com mira a laser da marca INSTRUTHERM® modelo TI-890. Escala: -50° a 1000°C (58° a 1832°F); precisão igual a $\pm 2\%$ de leitura, resolução de 0,1°C/1°C; 0,1°F/1°F; emissividade ajustável de 0,10 a 1,0, coeficiente de distância: 50:1. Laser do tipo diodo laser classe 2 de 1mW em 630 ~ 670nm; resposta espectral de 8 a 14mm. Tempo de resposta menor que 1s; umidade relativa de operação de aproximadamente 10 a 90% e temperatura de operação de 0°C à 50°C.

No levantamento de dados procurou-se simular condições de uso no auditório sem a presença de pessoas em duas situações distintas: 1) portas e janelas fechadas com luzes acesas e; 2) portas e janelas abertas com luzes apagadas e ventiladores ligados. Além dos dados internamente coletados, obtiveram-se informações das mesmas variáveis externas ao edifício, a fim de complementar a base de dados. A partir desta base, construíram-se os diagramas isotérmicos visando mapear as informações de variação da temperatura em cada região interior. Na Figura 2 é apresentada a correspondência gráfica proposta em que cada curva de mesma temperatura é associada.

Figura 3 – Correspondência utilizada entre temperaturas e cores.



Admitindo-se o fluxo de calor em regime estacionário, foi possível determinar a partir de registros de variações de temperatura externa e interna (t_e e t_i) o fluxo de calor nos fechamentos (q) de acordo com o coeficiente de transmissão térmica nas superfícies (U). A equação (1) apresentada por RIVERO (1986) demonstra o cálculo da seguinte forma:

$$q = U(t_e - t_i) \quad [\text{Eq. 01}]$$

De acordo com as velocidades de vento exterior e interior têm-se o valor das resistências térmicas superficiais somadas ($1/h_e + 1/h_i$) da ordem de $0,16 \text{ m}^2\text{°C/W}$. A resistência térmica do fechamento foi dada pela razão entre a sua espessura e a condutividade térmica do material. Desta forma, os valores U para os elementos que compõem as paredes são: 1) blocos de concreto celular autoclavado, $U=1,27 \text{ W/m}^2\text{°C}$; 2) vidro, $U=0,80 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e 3) alumínio, $U=230,0 \text{ W/m}^2\text{°C}$. Assim calculou-se o coeficiente global de transmitância média em função da área dos materiais nos fechamentos como exemplificado por Frota e Schiffer (2003).

A análise do comportamento ambiental atestado in loco foi discutida por meio da construção de gráficos que relacionam as variáveis Umidade Relativa e Temperatura de Bulbo Seco. De acordo com o diagrama de Olgyay (1973), foi possível comparar os dados levantados nos pontos, nas duas situações descritas, com os limites da condição de conforto.

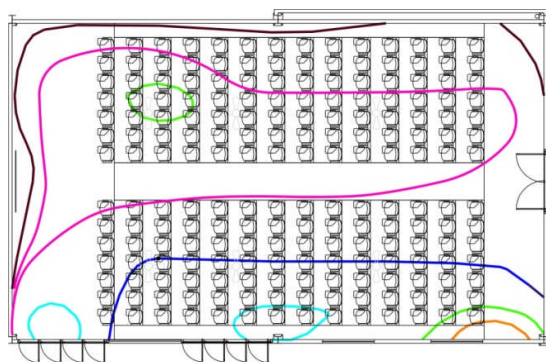
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir da construção dos diagramas isotérmicos é possível perceber oscilações das temperaturas em virtude da condição ambiental exterior. No caso do auditório as regiões próximas as aberturas apresentaram variações de temperatura mais acentuações em consequência das propriedades físicas dos materiais.

Desse modo era esperado que, dependendo da nebulosidade, as superfícies expostas à radiação direta apresentaram maior ou menor temperatura superficial devido a carga de radiação incidente. Assim se verificou uma condição de menor variação dos valores de temperatura no recinto em condições de céu totalmente coberto.

Visando avaliar as condições de maior homogeneidade de taxas de radiação ao longo do dia, percebe-se nos levantamentos do dia 9 de junho uma condição de céu totalmente encoberto durante todo o dia. Além das diferenças de temperatura verificadas nos três períodos de medição as condições de uso em 1 e 2 se diferem em comportamento térmico das regiões próximas às fachadas expostas – região de maior variabilidade, e também nas regiões de menor variabilidade. Na Figura 3 são apresentadas as isotérmicas obtidas neste levantamento.

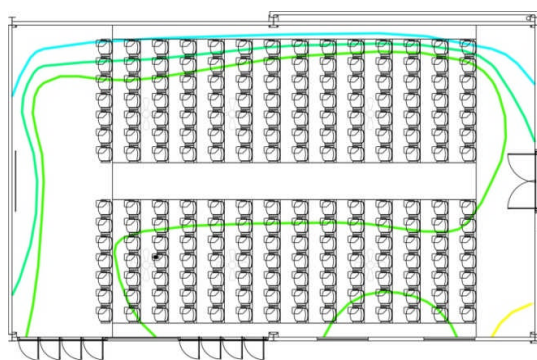
Figura 4 - Isométricas



(a) período: manhã, situação 1



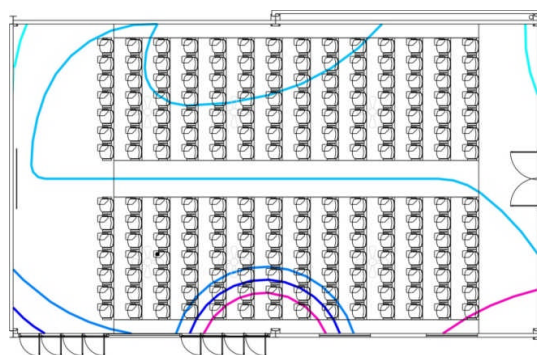
(b) período: manhã, situação 2



(c) período: tarde, situação 1



(d) período: tarde, situação 2



(e) período: noite, situação 1



(f) período: noite, situação 2

Ainda com relação às condições 1 e 2, os movimentos de massas de ar na situação de maior convecção proporcionam maior homogeneidade de temperaturas principalmente das regiões centrais. Pressupõe-se que as regiões próximas as aberturas tendem nessa condição a perder calor para o meio com maior ou menor intensidade dependendo do fluxo de transmissão. Deste modo é possível verificar um fluxo de calor ascendente nas regiões mais afastadas das aberturas, no sentido da homogeneidade. Esse fato é evidenciado mais rapidamente nas situações manhã e noite.

As diferenças físicas entre os materiais componentes da fachada nordeste provocam diferentes sensações térmicas nos assentos mais próximos. Isso porque as taxas de radiação que essa fachada recebe ao longo do dia representa ganhos ou perdas mais ou menos acentuadas e da mesma forma, percebidas mais ou menos rapidamente em virtude da proximidade com a alvenaria, vidro ou alumínio. Essa situação fica clara quando se comparam as duas condições 1 e 2, num regime de radiação direta incidente no plano desta superfície.

A solução da pintura dada ao vidro na parede interior o torna um material com emissividade na superfície interna da ordem de 0,9 – valor comum entre as superfícies não metálicas. Com a incidência da radiação direta verificou-se temperaturas superficiais no vidro de cerca de 53°C; levando em conta a sua baixa espessura (cerca de 0,004 metros) conclui-se que a pintura tornou estes elementos grandes emissores de radiação para o interior do recinto, sendo que, nos assentos próximos, formam-se “bolsões” de calor desfavoráveis à condição de conforto em determinadas circunstâncias.

No caso das janelas do tipo *porta-brise* em que se utilizaram materiais metálicos, verifica-se que embora estes materiais apresentem elevados valores de condutividade térmica, grande parte da energia radiante incidente é absorvida pelo material, aquecendo-o. Do restante da energia incidente, a parcela incidida vai estar relacionada à espessura destes elementos representando sua capacidade de amortecimento e atraso térmico; no momento em que esta atingir sua superfície interna dependerá da emissividade desta, os ganhos de calor das regiões adjacentes através da radiação.

Mais uma vez a pintura de cor cinza não representa uma solução contribuinte à condição de conforto em climas quentes haja vista sua emissividade mencionada anteriormente. As superfícies metálicas sem acabamento que são consideradas como de baixa emissividade se comportam de maneira mais viável nestes tipos de clima.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo, apenas uma pequena parcela das variações climáticas foram levantadas tendo com base avaliar as soluções arquitetônicas utilizadas nas fachadas e sua influencia no comportamento térmico dentro do recinto.

Embora não tenha sido mensurado, existe um déficit de atenção dos espectadores quando estão submetidos a diferentes condições de exposição ambientais, principalmente em ambientes internos que permitem ganhos térmicos demasiados. Desta forma é possível que os espectadores assentados nas proximidades das aberturas tenham sensações térmicas que comprometam a atividade desempenhada devido o grau de atenção exigido na atividade.

Fica demonstrado que a opção pelas portas brise pode ser considerada pouco eficiente do ponto de vista térmico e que a utilização de pintura na cor cinza não favorece a melhoria da condição de conforto. A grande disparidade entre a condição de conforto térmico faz com que os locais mais afastados das janelas sejam ocupados primeiramente.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, A. R. **Manual do Conforto Térmico**. 7.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.
- GIVONI, B. Man, **Climate and Architecture**. London: Elsevier, 1969.
- LAMBERTS, R. et. al. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: PW, 1997. 192p.
- OLGYAY, V. **Design with Climate**. New Jersey: Princeton University, 1973.
- RIVERO, R. **Arquitetura e Clima**: acondicionamento térmico natural. 2. ed. Porto Alegre: Luzzatto, 1986.