

SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE BAIXA RESISTÊNCIA TÉRMICA PODEM PROPORCIONAR MAIS CONFORTO.

Maurício Roriz (1); Karin M. S. Chvatal (2); Fernando Sá Cavalcanti (3)

- 1) Arquiteto, Docente do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos. UFSCar. São Carlos, SP. E-mail: m.roriz@terra.com.br
- (2) Engenheira Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. EESC-USP. São Carlos, SP. E-mail: karin@sc.usp.br
- (3) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos. UFSCar. São Carlos, SP. E-mail: feu_sc@hotmail.com

RESUMO

Entre profissionais e pesquisadores brasileiros da construção civil, é largamente difundido o conceito de que o bom desempenho térmico de uma edificação é sempre diretamente proporcional ao isolamento do envelope. Essa idéia é provavelmente importada da Europa e dos Estados Unidos, que, por serem submetidos a invernos muito rigorosos (grandes diferenças entre temperaturas internas e externas, ventos com altas velocidades, etc.), adotam a resistência térmica como principal solução contra o frio. Adicionalmente, a massiva campanha publicitária de isolantes e mesmo alguns dos métodos de análise bioclimática que utilizamos (Planilhas de Mahoney, Carta de Givoni), também contribuem para a difusão e consolidação do conceito que, incontestado, vai sobrevivendo e se alastrando. No entanto, em monitoramentos, cálculos e simulações que recentemente vêm sendo feitos para construções localizadas no Brasil, há inúmeros casos em que o uso de isolantes mais atrapalha do que ajuda ao conforto e à economia de energia. Estes casos ocorrem para a maior parte do território do país, principalmente em ambientes com valores mais altos de fontes internas de calor ou ganhos solares através de vidro, em que o isolamento restringe as perdas de calor. Em tais casos, os novos estudos começam a indicar que as melhores alternativas são as que aliam boa orientação com baixa absorvância, baixo isolamento e, dependendo do clima específico, inércia, sombreamento e/ou controle da ventilação. O presente artigo relata alguns destes estudos, incluindo também trabalhos desenvolvidos em outros continentes e que corroboram as conclusões dos elaborados no Brasil.

Palavras-chave: Isolamento térmico, resistência térmica, conforto, simulação de edifícios.

ABSTRACT

It is widespread amongst Brazilian civil construction professionals and researchers that the higher the envelope thermal resistance of a building, the better its thermal performance. This idea comes probably from Europe and the United States, where highly insulated envelopes are adopted as the main solution for their rigorous winters, which have high indoor and outdoor temperature difference, high speed winds, etc. Additionally, massive insulators advertisement and even some bioclimatic methods (as Givoni charts and Mahoney tables) also contribute to diffuse and consolidate this concept. As this belief is not disagreed with, it continues to exist and to be disseminated. Nevertheless, in recent observations, calculations and simulations executed for Brazilian buildings, there are numerous cases where added insulation does not contribute to more comfort and less energy consumption. This behaviour was observed in the majority of Brazilian territory, mainly when internal gains or solar gains through the windows are high. In these cases, higher insulated envelopes difficult heat losses. These new studies start to indicate that best alternatives are the ones that consider good sun orientation, low absorbance, low thermal resistance and, depending on the climate, thermal inertia, shading and/or ventilation control. This paper presents some of these Brazilian studies as well as researches carried out in other continents that found similar results.

Keywords: Thermal insulation, thermal resistance, comfort, building simulation.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem apenas duas normas técnicas sobre o desempenho térmico de edificações, a NBR 15220 (ABNT, 2005a e 2005b) e a NBR 15575 (ABNT, 2008), sendo que ambas se referem a habitações e adotam o mesmo zoneamento bioclimático estabelecido na primeira delas. Este zoneamento foi elaborado com base em dois métodos internacionalmente consagrados de análise bioclimática, a Carta de Givoni (1992) e as Planilhas de Mahoney (UNITED NATIONS, 1971). A conjugação entre os mesmos, resultou em recomendações construtivas específicas para cada uma das 8 zonas em que foi dividido o país. Para todas estas zonas, entretanto, a norma indica a adoção de sistemas construtivos que, entre outros requisitos, atendam a um limite máximo para a Transmitância Térmica de coberturas e paredes externas. O pressuposto óbvio dessas recomendações é que envoltórias com Resistências Térmicas mais altas contribuem sempre para elevar os níveis de conforto proporcionados pelas edificações. No presente artigo, constata-se tal pressuposto, certamente válido para diversos tipos de edifícios e de clima, mas que vem se mostrando inadequado para muitas tipologias construtivas situadas em grande parte do território brasileiro.

O crescente aperfeiçoamento dos programas computacionais para simulação do comportamento térmico e energético de edificações, vem contribuindo significativamente para o avanço e a consolidação dessa área de conhecimento. Até então, as principais pesquisas sobre o tema dependiam da construção e do monitoramento de protótipos, cujos altos custos e longos prazos restringiam extremamente a possibilidade de comparação entre os comportamentos térmicos de diferentes soluções construtivas, com diferentes cargas de ocupação e submetidas a diferentes climas. Esta pode ser uma das causas da longa sobrevivência de determinados mitos técnicos e acadêmicos, entre eles o abordado neste artigo e que, graças às simulações, começou recentemente a ser contestado por alguns especialistas.

Em pesquisa de doutorado sobre edificações em Portugal e outros países do Sul Europeu, Chvatal (2007), através de estudos paramétricos elaborados com o programa TRNSYS (Solar Energy Laboratory, 2002), constatou que, para algumas situações de verão, o aumento do nível de isolamento da envolvente exterior provoca mais desconforto. Foram estudadas três tipologias de edifícios, conjugadas a variações dos seguintes parâmetros: espessura do material de isolamento de paredes exteriores e cobertura, taxas e períodos de ventilação, sombreamento das janelas, ganhos internos, climas, inércia térmica e cor das paredes exteriores. O estudo enfocou edifícios naturalmente ventilados e edifícios com sistemas artificiais de resfriamento e de aquecimento. As combinações resultaram em 6180 casos. Os resultados brutos foram tratados através de uma metodologia específica para avaliação do conforto, aplicando critérios da abordagem adaptativa.

Conforme o esperado, em todos os casos analisados, envoltórias mais isoladas corresponderam à maior economia de energia para aquecimento de inverno, pois fechamentos com maior resistência térmica reduzem as perdas de calor para o exterior, mais frio. Já para verão, para ganhos internos e/ou solares mais altos, houve situações em que fechamentos mais isolados provocaram elevação da temperatura interna, com conseqüente aumento do consumo de energia, quando adotado sistema artificial de resfriamento. Assim, para reduzir custos energéticos e elevar o conforto de verão e de inverno, envoltórias mais isoladas deveriam ser adotadas soluções em que o controle dos ganhos solares através de aberturas fossem conjugados com a redução dos ganhos internos.

Em suas conclusões, Chvatal sugere que nos regulamentos térmicos dos países analisados, deve-se fazer uma distinção clara entre os edifícios residenciais e os não residenciais. Se nos primeiros a tendência, para estes climas, deve continuar a ser de aumentar a espessura de isolamento térmico da envolvente e proteção solar dos envidraçados, nos edifícios não residenciais deve ser permitido uma otimização da envolvente, sem obrigar a isolamentos excessivos. Foi esta, precisamente, a estratégia dos novos regulamentos térmicos adotados em Portugal (Direcção Geral de Energia, 2006a e 2006b).

Como resultado final da pesquisa, foi proposto um modelo teórico simplificado, que considera todos os ganhos e perdas de calor do edifício e, através do cálculo de um índice adimensional, permite que se preveja se haverá mais ou menos desconforto com a redução da transmitância térmica da envolvente.

Resultados similares foram encontrados em pesquisa realizada no clima quente e seco de Botswana, na África, por Masoso e Grobler (2008). Por meio do programa EnergyPlus, foi simulado um edifício comercial, com altos ganhos internos e condicionado artificialmente. Distintas temperaturas de controle (*set point*) foram conjugadas a variadas espessuras de isolamento das paredes, enquanto os outros parâmetros permaneceram constantes. Os resultados indicaram que, para temperaturas de controle acima de certo valor, tem-se maior gasto energético para resfriamento ao se aumentar o isolamento das paredes. Para o caso em questão, este ponto de inflexão ocorreu para temperatura de *set point* de 25.72 °C.

Também no Brasil o mesmo tema tem despertado interesse de especialistas. Em dissertação de mestrado, Melo (2007) analisou a influência da transmitância e da capacidade térmica sobre o consumo

anual de energia de duas tipologias de edificações comerciais com 1 e 5 pavimentos, simuladas também no EnergyPlus, para os climas de Florianópolis (SC), Curitiba (PR) e São Luís (MA). Os parâmetros variados foram a carga interna, a absorvância solar externa, o padrão de uso e a razão de área entre janelas e fachadas. Confirmando os outros autores já mencionados, esta pesquisa também identificou situações em que fechamentos de maior transmitância apresentaram-se mais econômicos. Este foi o caso do edifício de 5 pavimentos, sendo que a diferença no consumo de energia é maior para altos ganhos internos e baixa absorvância solar externa. Por outro lado, para a edificação de 1 pavimento o aumento da transmitância sempre provocou aumento do consumo anual de energia.

Westphal e Lamberts (2007) analisaram o impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais, sob os climas de Curitiba (PR), Florianópolis (SC) e Salvador (BA). Por meio de simulações no EnergyPlus, novamente verificaram que o edifício de 5 pavimentos, com alta densidade de carga interna, elevado padrão de uso e cores claras no exterior, fechamentos de menor resistência térmica reduziram o consumo de eletricidade.

Em pesquisa de doutorado, Carlo (2008) desenvolveu um método para avaliar a eficiência energética da envoltória de edificações comerciais e institucionais. Para avaliar o impacto provocado pela Transmitância Térmica das envoltórias sobre o consumo de eletricidade, elaborou simulações no programa EnergyPlus para climas de 7 zonas bioclimáticas do Brasil. Os resultados revelaram que o aumento da Transmitância eleva o consumo de energia em edificações com baixas cargas internas, mas pode reduzi-lo quando estas cargas são mais altas (Figura 1).

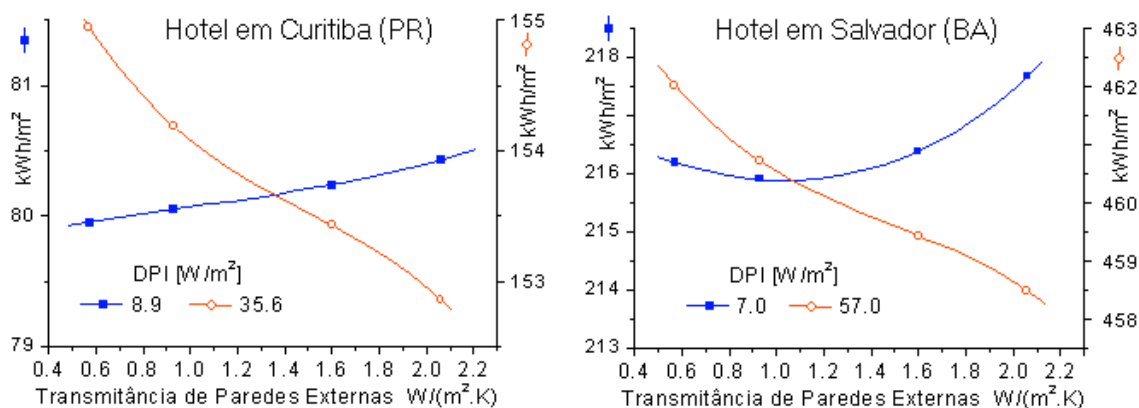


Figura 1: Consumo anual de eletricidade (kWh/m²) em hotéis, simulados em Curitiba e Salvador, em função da Transmitância Térmica das paredes externas e da Densidade de Potência de Iluminação (DPI), para Capacidade Térmica de 400 kJ/(m²K) em Curitiba e 56 kJ/(m²K) em Salvador. (Adaptado de Carlo, 2008)

3. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados de um conjunto de simulações que sugerem a necessidade de ser revista no Brasil a hipótese, generalizada mesmo entre especialistas, de que Transmitâncias Térmicas mais baixas proporcionam sempre ambientes mais confortáveis, para quaisquer climas, fontes internas de calor e demais variáveis arquitetônicas e construtivas. Tendo em vista os custos do isolamento térmico, a revisão daquela hipótese poderá contribuir para a economia e para o conforto.

4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

4.1 O Ambiente Analisado

O ambiente analisado é uma sala de 20 m² (4m x 5m), com pé-direito de 2.8m, situada em pavimento intermediário de um edifício fictício e utilizada como escritório, em horário comercial (Figura 2).

Adotou-se nas simulações a hipótese de que os ambientes vizinhos apresentassem as mesmas condições térmicas que o ambiente estudado, caso em que os únicos fluxos de calor a serem considerados ocorreriam através da fachada, entre a sala e o exterior.

Para identificar os efeitos da resistência térmica sobre o conforto, três tipos de paredes externas foram avaliadas, todas construídas em concreto, com 0.10m de espessura, mas com diferentes condutividades, como consta da Tabela 1.



Figura 2: Planta esquemática e orientação da sala.

Tabela 1: Parede Externa (material variável). Fonte das propriedades: NBR 15220-2 (ABNT, 2005)

Parede externa	Tipo de concreto	Dosagem de cimento [kg/m ³]	Massa Especif. dos inertes [kg/m ³]	Massa Específica [kg/m ³]	Condutiv. [W/(m.K)]	Calor Específico [J/(kg.K)]	Transmit. esp. = 0.1m [W/(m ² .K)]
1	Normal	-	-	2300	1.75	1000	4.40
2	Com argila expandida	> 300	> 350	1700	1.05	1000	3.77
3				1100	0.46	1000	2.58
4		< 250	< 350	700	0.25	1000	1.75

As paredes internas são construídas em tijolo cerâmico maciço aparente (e = 0.1m) e as lajes em concreto comum (e = 0.1m). A única janela, orientada para norte, tem área envidraçada correspondente a 20% da área da fachada. Além desses aspectos, as simulações consideraram três diferentes taxas de ventilação, respectivamente de 2, 5 e 10 renovações por hora (ren/h), absorvância solar de 50% na face externa da fachada, bem como as cargas térmicas internas indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Cargas térmicas internas, devidas à ocupação (horário comercial):

Fonte	Quantidade	Carga unitária (W)	Carga total (W)
Pessoas	4	80	320
Computadores	4	150	600
Diversos			200

4.2 Simulações Computacionais

As temperaturas internas resultantes dos diversos climas, taxas de ventilação e condutividades do concreto, foram estimadas por meio da aplicação da versão mais recente do programa EnergyPlus (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2008), internacionalmente considerado como um dos mais confiáveis aplicativos atuais para a simulação computacional do comportamento térmico e energético de edificações.

O ambiente estudado foi simulado sob 9 climas (Tabela 3 e Figura 3), para cada uma das três taxas de ventilação (2, 5 e 10 ren/h) e considerando-se a parede externa constituída pelos quatro diferentes tipos de concreto, com condutividades térmicas de 1.75, 1.05, 0.46 e 0.25 W/(m.K), respectivamente.

Os climas utilizados nas simulações foram obtidos na própria base de dados do EnergyPlus, composta por tabelas com valores horários de inúmeras variáveis, ao longo de um ano climático típico de cada localidade. Esta base, entretanto, apresenta alguns (poucos) valores absurdos, que foram corrigidos por interpolação. No caso de Boa Vista (RR), por exemplo, a base indica temperaturas do ar de apenas 0.0 °C.



Figura 3: Localização das cidades

Tabela 3: Cidades cujos climas foram considerados e respectivas Zonas Bioclimáticas (ZB)

N.	UF	Cidade	Latit.	Longit.	Altit.	ZB
1	BA	Salvador	-12.90	-38.33	8	8
2	DF	Brasília	-15.87	-47.92	1171	4
3	MG	Belo Horizonte	-19.85	-43.95	858	3
4	MT	Cuiabá	-15.65	-56.10	176	7
5	PA	Belém	-1.38	-48.48	16	8
6	PR	Curitiba	-25.52	-49.18	934	1
7	RJ	Rio de Janeiro	-22.83	-43.25	2	8
8	RR	Boa Vista	2.83	-60.67	140	8
9	SC	Florianópolis	-27.67	-48.55	3	3

4.3 Intervalos Confortáveis de Temperatura

Para avaliar os níveis de conforto térmico resultantes de cada alternativa, adotou-se os intervalos confortáveis de temperatura estabelecidos na Norma ASHRAE 55-2004 para ambientes naturalmente ventilados (Equação 1, ASHRAE 2004). Importante virtude dessa norma é seu caráter adaptativo, ou seja, o reconhecimento de que populações aclimatadas em regiões quentes preferem temperaturas mais altas que as preferidas pelos habitantes de zonas frias, e vice-versa.

$$T_n = 17.9 + 0.31 \cdot T_{\text{Med}} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Sendo:

T_n = Temperatura operativa interna ideal, ou de “neutralidade térmica” ($^{\circ}\text{C}$). Para pouca diferença entre temperaturas superficiais e temperatura do ar, esta última pode ser aplicada no lugar da operativa.

T_{Med} = Média mensal da temperatura do ar exterior ($^{\circ}\text{C}$), sendo a equação 1 válida para T_{Med} entre 10.0 e 33.5 $^{\circ}\text{C}$.

Em torno da temperatura neutra, a ASHRAE estabelece um intervalo de temperaturas confortáveis, cujo limite superior é dado por $T_n + \text{Tolerância}$ e o inferior $T_n - \text{Tolerância}$. No presente trabalho, adotou-se tolerância de 2.4 $^{\circ}\text{C}$, que satisfaz a 90% dos usuários. Para atender a 80% das pessoas, a norma indica tolerância de 3.4 $^{\circ}\text{C}$.

4.4 Quantificação do Desconforto.

Os níveis de desconforto térmico foram quantificados em graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}$) de calor ou de frio. Cada grau-hora corresponde ao desconforto provocado pela temperatura do ar quando esta é menor que o limite inferior (frio) ou ultrapassa o superior (calor), em 1 $^{\circ}\text{C}$, durante 1 hora. Níveis diários, mensais ou anuais, são a somatória dos ocorridos ao longo das horas desses respectivos períodos de tempo (Figura 4).

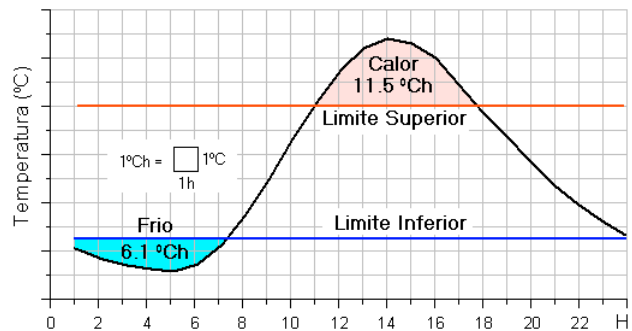


Figura 4: Exemplo de determinação de graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}$)

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Dentre os 9 climas considerados, o de Curitiba foi o que apresentou as temperaturas internas mais baixas, acumulando 12559 $^{\circ}\text{Ch}$ de frio ao longo do ano, para fachada em concreto comum e taxa de ventilação de 10 ren/h. Já as temperaturas internas mais altas ocorrem em Cuiabá, com acúmulo anual de 98880 $^{\circ}\text{Ch}$ de calor, para fachada em concreto de baixa condutividade ($\lambda = 0.25 \text{ W/m.K}$) e ventilação de apenas 2 ren/h. As figuras 5 a 8 mostram exemplos de resultados para estes dois climas extremos, comparando-os com os intervalos confortáveis (faixas verdes) definidos pela Ashrae e que oscilam em função das médias externas da temperatura do ar.

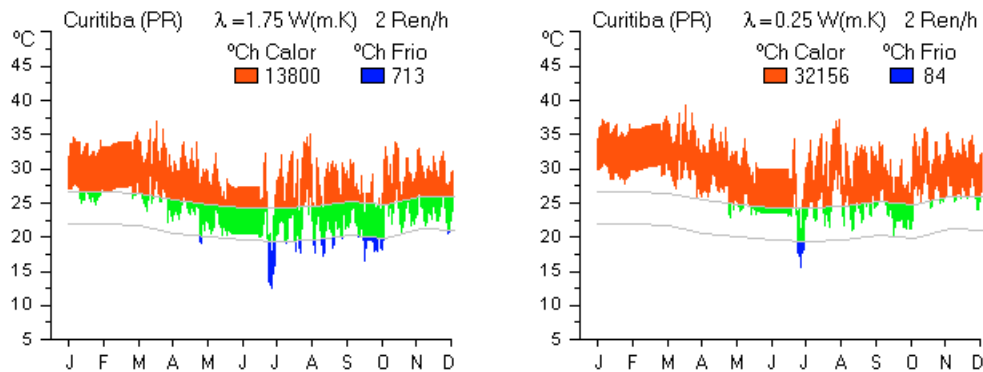


Figura 5. Curitiba (PR): Temperaturas internas e desconforto anual, para 2 Ren/h e dois tipos de concreto.

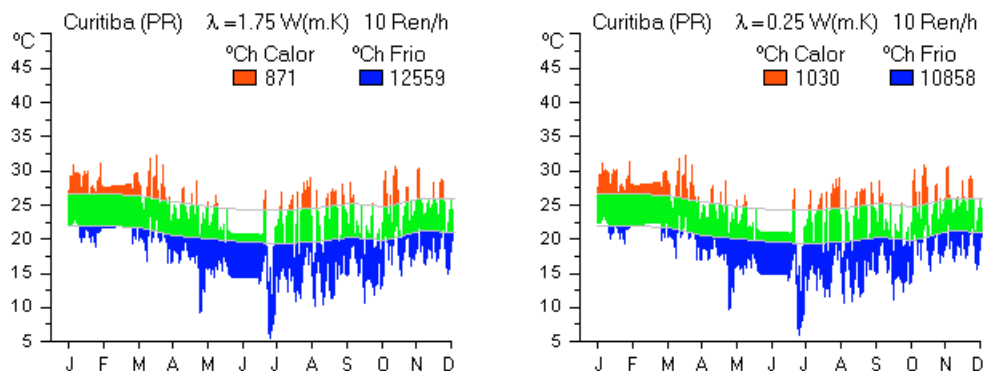


Figura 6. Curitiba (PR): Temperaturas internas e desconforto anual, para 10 Ren/h e dois tipos de concreto.

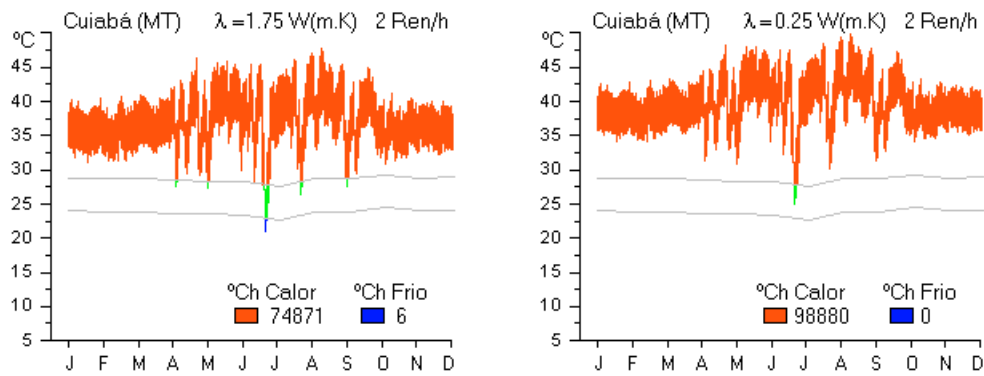


Figura 7. Cuiabá (MT): Temperaturas internas e desconforto anual, para 2 Ren/h e dois tipos de concreto.

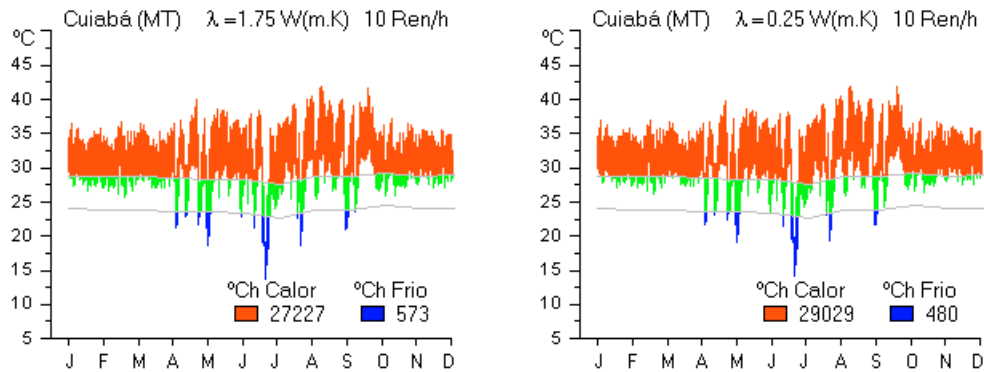


Figura 8. Cuiabá (MT): Temperaturas internas e desconforto anual, para 10 Ren/h e dois tipos de concreto.

As Tabelas 3 a 5 apresentam, para 2, 5 ou 10 ren/h, o desconforto anual acumulado, por frio, por calor e pela soma de ambos, destacando os níveis mais altos em fundo amarelo e os mais baixos em cinza.

Tabela 3: Desconforto Acumulado (°Ch/ano), para Taxa de Ventilação de 2 ren/h

	Concreto W/(m.K)	BA Salvador	DF Brasília	MG B.Horiz.	MT Cuiabá	PA Belém	PR Curitiba	RJ R. Janeiro	RR B. Vista	SC Florian.
Frio	1.75	-	-	-	6	-	713	-	-	11
	1.05	-	-	-	3	-	526	-	-	3
	0.46	-	-	-	-	-	229	-	-	-
	0.25	-	-	-	-	-	84	-	-	-
Calor	1.75	55922	36414	54607	74871	58377	13800	47900	69635	29704
	1.05	59659	40180	58588	78815	61896	16253	51694	73636	32942
	0.46	69181	50339	69093	88880	71146	23471	61301	83706	41588
	0.25	78609	60795	79719	98880	80449	32053	70786	93595	50628
Frio + Calor	1.75	55922	36414	54607	74876	58377	14513	47900	69635	29714
	1.05	59659	40180	58588	78817	61896	16780	51694	73636	32945
	0.46	69181	50339	69093	88880	71146	23700	61301	83706	41588
	0.25	78609	60795	79719	98880	80449	32136	70786	93595	50628

Tabela 4: Desconforto Acumulado (°Ch/ano), para Taxa de Ventilação de 5 ren/h

	Concreto W/(m.K)	BA Salvador	DF Brasília	MG B.Horiz.	MT Cuiabá	PA Belém	PR Curitiba	RJ R. Janeiro	RR B. Vista	SC Florian.
Frio	1.75	-	97	1	149	-	4528	19	-	724
	1.05	-	82	-	136	-	4124	14	-	646
	0.46	-	41	-	101	-	3167	6	-	461
	0.25	-	19	-	75	-	2473	2	-	329
Calor	1.75	27509	12226	23567	45384	30326	3044	20726	44712	10043
	1.05	28807	13051	24683	46687	31509	3373	21788	46312	10704
	0.46	32070	15271	27676	49929	34680	4179	24368	50204	12386
	0.25	35144	17685	30728	52983	37748	5073	26844	53765	14141
Frio + Calor	1.75	27509	12323	23567	45533	30326	7571	20745	44712	10766
	1.05	28807	13133	24683	46823	31509	7497	21802	46312	11350
	0.46	32070	15313	27676	50030	34680	7346	24374	50204	12847
	0.25	35144	17705	30728	53058	37748	7546	26846	53765	14471

Tabela 5: Desconforto Acumulado ($^{\circ}\text{Ch}/\text{ano}$), para Taxa de Ventilação de 10 ren/h

	Concreto W/(m.K)	BA Salvador	DF Brasília	MG B.Horiz.	MT Cuiabá	PA Belém	PR Curitiba	RJ R. Janeiro	RR B. Vista	SC Florian.
Frio	1.75	4	1403	221	573	-	12559	432	-	3023
	1.05	4	1380	220	560	-	12289	411	-	2953
	0.46	3	1250	191	517	-	11523	349	-	2731
	0.25	2	1129	163	480	-	10858	297	-	2540
Calor	1.75	11249	4118	8696	27227	14075	871	8577	27933	3548
	1.05	11562	4226	8854	27531	14332	914	8782	28500	3660
	0.46	12304	4417	9165	28296	15036	973	9190	29877	3880
	0.25	13008	4618	9511	29029	15741	1030	9564	31122	4093
Frio + Calor	1.75	11253	5520	8916	27799	14075	13430	9009	27933	6571
	1.05	11566	5607	9075	28091	14332	13203	9193	28500	6613
	0.46	12307	5667	9356	28813	15036	12496	9538	29877	6612
	0.25	13010	5746	9674	29509	15741	11888	9861	31122	6633

A figura 9 resume graficamente os níveis de desconforto (frio + calor) acumulados ao longo do ano e resultantes das diferentes situações de clima, taxas de ventilação e condutividades do concreto.

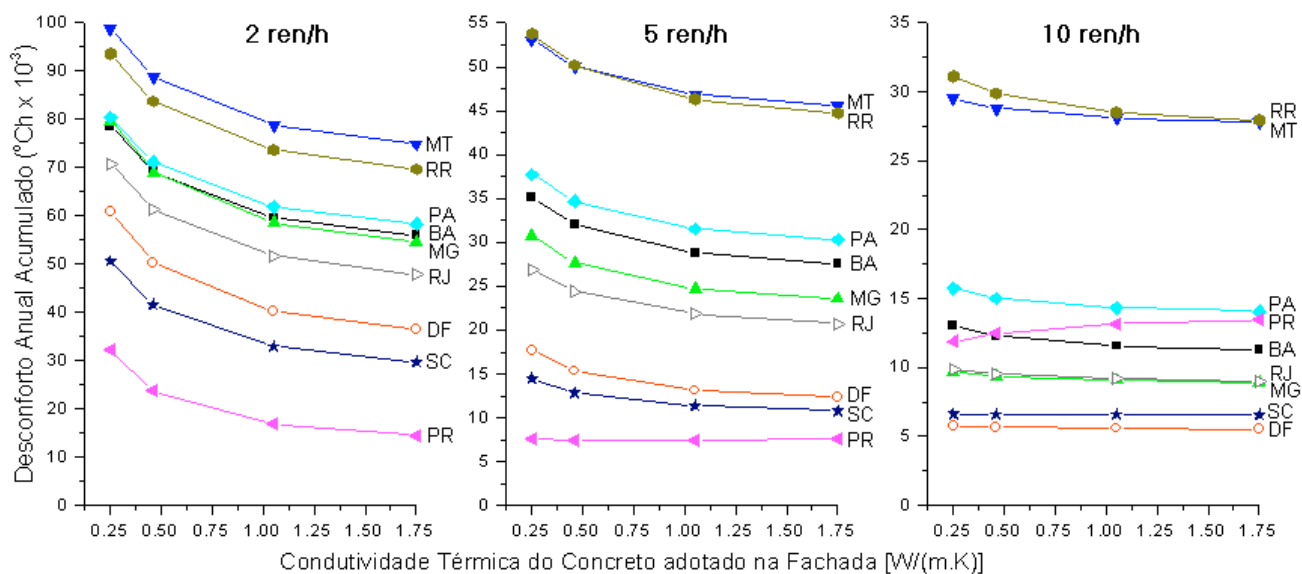


Figura 9: Desconforto Anual Acumulado ($^{\circ}\text{Ch} \times 10^{-3}$), para os 9 climas, variando o tipo de concreto e a taxa de ventilação.

6. CONCLUSÕES

Para 8 dos 9 climas analisados, o desconforto acumulado em 1 ano apresentou-se diretamente proporcional às resistências térmicas das fachadas, ou seja, resistências mais altas provocaram mais desconforto e vice-versa. Sob este aspecto, a única exceção ocorreu com o clima de Curitiba, onde aquela tendência se inverte para taxas de ventilação de 5 e 10 ren/h. No entanto, tal inversão se deve unicamente ao fato de que, neste clima, taxas mais altas de ventilação fazem o desconforto anual por frio predominar sobre o provocado pelo calor, sendo razoável supor que, sob baixas temperaturas, as pessoas procurem reduzir a ventilação indesejável, fechando janelas e portas, caso em que as infiltrações de ar dificilmente ultrapassariam as 2 ren/h, podendo assim a mesma tendência ser admitida também para esta cidade. Curitiba foi também a única cidade em que o desconforto anual por frio superou o provocado por calor.

Em relação ao frio, conforme já era esperado, os níveis de desconforto são diretamente proporcionais às transmitâncias térmicas e às taxas de ventilação. Nenhum registro de frio foi identificado para os climas de Belém e Boa Vista. Para taxa de ventilação de 10 ren/h, valores não significativos (abaixo de $5^{\circ}\text{Ch}/\text{ano}$) aparecem em Salvador e níveis intermediários (entre 163 e $573^{\circ}\text{Ch}/\text{ano}$) ocorrem em Belo Horizonte, Rio de Janeiro e Cuiabá. Os níveis mais altos de desconforto por frio foram observados em Brasília ($1403^{\circ}\text{Ch}/\text{ano}$), Florianópolis ($3023^{\circ}\text{Ch}/\text{ano}$), e Curitiba ($12559^{\circ}\text{Ch}/\text{ano}$). Por outro lado, conforme já foi mencionado no parágrafo anterior, sob condições de frio as pessoas tendem a interromper o vento, reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de taxas de ventilação acima de 1 ou 2 renovações por hora.

O fato do ambiente simulado trocar calor com o exterior apenas por uma fachada, certamente contribuiu para acentuar os níveis de desconforto provocados pelas transmitâncias térmicas mais baixas. Se,

por um lado, esta tipologia evita os ganhos solares pela cobertura, usualmente importantes em latitudes baixas e médias, por outro, dificulta a dissipação do calor produzido ou acumulado internamente.

As simulações consideraram parâmetros conservadores para a orientação da fachada (Norte) e a razão entre área de vidro e de fachada (0.2). Outras pesquisas (CARRIÈRES e RORIZ, 2005; MINKU et al 2005; LIMA et al, 2007), sugerem que no Brasil para a maioria dos edifícios de escritórios estes parâmetros são menos favoráveis ao conforto. Quanto às cargas térmicas internas e às absorvências da parede externa, os valores adotados correspondem a características médias desses edifícios.

Cabe também destacar que os resultados do presente estudo se referem a ambiente de escritório, ventilado naturalmente e ocupado somente em horário comercial, não podendo ser generalizados para ambientes sob climatização artificial ou para outros tipos de edificação, como, por exemplo, as habitacionais ou industriais.

Diante das evidências aqui apresentadas, cabe mobilizar os pesquisadores da área para que sejam revistas as normas técnicas brasileiras sobre o comportamento térmico de edificações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575. Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho (Partes 1 a 6). Rio de Janeiro, 2008.
- _____. 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.
- _____. NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. ASHRAE Standard 55-2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.
- CARRIÈRES, K. M.; RORIZ, M.; Desempenho Térmico e Energético de Edifícios de Escritórios em São Carlos, SP.” Anais do VIII Encontro Nacional e IV Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió, AL, 5 a 7 de outubro de 2005.
- CHVATAL, K. M. S. Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão. Tese (Doutorado). Universidade do Porto, Portugal., 2007.
- CARLO, J.C. Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética da Envolvente de Edificações Comerciais. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA. Decreto Lei 80/2006 de 4 de Abril. Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE). Lisboa, Portugal, 2006a.
- DIRECÇÃO GERAL DE ENERGIA. Decreto Lei 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE). Lisboa, Portugal, 2006b.
- GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Building, 18 (1), 11-23. 1992.
- LIMA, T.B.S.; AMORIM, C.; DAVID, N. Levantamento das Características Tipológicas de Edifícios de Escritórios em Brasília. Anais do IX Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.
- MASOSO, O.T. and GROBLER, L.J. A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption. Energy and Buildings. Volume 40, Issue 10, 2008, Pages 1889-1894.
- MELO, A. P. Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- MINKU, P.M.; SANTANA, M.V.; GHISI, E., LAMBERTS, R. Tipologias Construtivas de Edifícios de Escritório Localizados em Florianópolis - SC. Anais do VIII Encontro Nacional e IV Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído. Maceió, AL, 5 a 7 de outubro de 2005.
- SOLAR ENERGY LABORATORY. TRNSYS, version 15. Wisconsin, USA: Solar Energy Laboratory, 2002.
- UNITED NATIONS. Climate and House Design – Vol. I: Design of Low-Cost Housing and Community Facilities. Department of Economic and Social Affairs. New York. 1971.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. EnergyPlus - Version 3.0.0. Programa computacional. Disponível em [<http://www.energyplus.gov>]. Acesso em 10/12/2008.
- WESTPHAL, F. S. e LAMBERTS, R. Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais. In: Anais do IX Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto: Antac, 2007.