

## **O EMPREGO DA INÉRCIA TÉRMICA COMO TÉCNICA DE RESFRIAMENTO PARA EDIFICAÇÕES EM FLORIANÓPOLIS-SC**

**Solange Goulart (1)**

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, LabEEE/ CTC – Cx Postal 476, (48) 3721 5184  
e-mail: solange@labeee.ufsc.br

### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo investigar o papel da inércia térmica, suas limitações e aplicabilidade como técnica de resfriamento nas condições de verão quente-úmido de Florianópolis - SC. O artigo apresenta os resultados de avaliação do desempenho da inércia térmica em residências. O desempenho da inércia térmica é avaliado através de um estudo analítico, onde foram desenvolvidos estudos paramétricos e de correlação, ambos usando simulação computacional. Na análise paramétrica, os seguintes aspectos foram avaliados: paredes com diferentes níveis de inércia térmica; a influência da configuração da cobertura; o potencial da ventilação noturna; tamanho de janelas e o uso de sombreamento. Avaliações complementares foram desenvolvidas através de análises de correlação para revelar a influência de alguns parâmetros nas condições internas de temperatura quando a inércia térmica é empregada. As variações paramétricas mostraram que a ventilação noturna é a medida prioritária a ser empregada para edifícios de maior inércia térmica neste clima, seguido de sombreamento adequado. Além disso, o melhor desempenho térmico foi alcançado por uma combinação de medidas de projeto, ou seja, existem outros fatores a serem considerados do que somente usar a inércia térmica como uma estratégia isolada. A principal conclusão obtida com o estudo de correlação é que a influência do parâmetro avaliado na temperatura interna sempre diminui quando a combinação de medidas de projeto é aplicada.

### **ABSTRACT**

This work investigates the role of thermal inertia as a cooling technique in the climate of Southern Brazil. The paper presents the results of the thermal inertia assessment when applied to residential buildings. The performance of thermal inertia is evaluated through analytical studies, where parametric and correlation studies were developed both based in simulations. In the parametric studies, aspects such as the level of thermal inertia in the walls, the influence of the roof/ceiling construction, the potential of night ventilation, window size and shading are evaluated. Further evaluations are performed through correlation analysis to reveal the influence of some parameters on the internal conditions of temperature when thermal inertia is applied. Results from parametric variations have shown that night ventilation is the priority design measure to be applied for heavier buildings in this climate and adequate shading is also important. Moreover, the best thermal performance is achieved by a combination of design measures rather than to use only thermal inertia as an isolated strategy. The main conclusion that can be made from the correlation study was that the influence of the evaluated parameter on internal conditions always decreases when the combination of design measures is applied.

## 1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o princípio de projeto para residências em clima quente-úmido é a preferência por edificações elevadas, de materiais leves e ventiladas, enquanto o princípio de projeto para climas quente-seco é baseado no uso de massa térmica, assistido por ventilação noturna e o uso de água para resfriamento evaporativo. Recentemente, entretanto, esses princípios tradicionais de projeto estão sendo questionados. Muitas pesquisas vêm investigando a eficiência da inércia térmica como uma técnica de resfriamento em clima quente-úmido [Szokolay (1996); Soebarto (1999); Szokolay (2000)].

A inércia térmica tem sido usada como moderadora do clima interno, já que envoltórias mais massivas de edifícios podem atenuar a flutuação da temperatura diária e reduzir o pico de temperatura interna. Os benefícios do efeito da inércia térmica dependem de vários parâmetros, tais como condições climáticas, propriedades térmicas dos materiais de construção, ventilação, isolamento térmico, ocupação e ganhos internos de calor.

As propriedades termo-físicas dos materiais de construção podem influenciar o desempenho do edifício como um todo. Os materiais construtivos devem ter uma densidade apropriada, além de valores altos de capacidade térmica e condutividade térmica para armazenar calor de uma maneira efetiva.

A localização e distribuição da inércia térmica também são importantes. Somente adicionar massa ao edifício não é suficiente, a massa adicional deve ter área de superfície adequada para trocar calor com o ar interno. As superfícies expostas à radiação solar tais como a envoltória do edifício e o telhado, o qual é exposto à radiação durante a maior parte do dia, necessitarão de uma construção mais pesada com maior tempo de retardo térmico. Além disso, as superfícies internas, as quais estão recebendo radiação solar direta através das aberturas do edifício deveriam ser avaliadas com mais cuidado e o sombreamento nas condições de verão deve ser considerado para evitar o excesso de calor. De acordo com [Balcomb, 1983], a taxa de calor que entra na superfície que está recebendo a radiação solar (uma área aproximadamente do tamanho da janela), é muito maior do que a maioria dos materiais de construção pode acomodar por muito tempo. Então, a maior parte do calor será redistribuída por radiação de onda longa e por convecção.

O uso de material isolante pode piorar o desempenho de uma parede com maior capacidade de armazenar calor. Além disso, o uso de um material de acabamento “leve” como, por exemplo, um carpete, quando colocado sobre um piso de concreto vai interferir na absorção da radiação solar ou outro ganho de calor, e reagirá de uma forma diferente. O uso de forros falsos e materiais de acabamentos de paredes ou pisos podem comprometer o desempenho térmico da inércia disponível.

O papel da inércia térmica é associado com o período noturno. Durante as noites de verão, é possível resfriar o edifício com o uso de ventilação noturna, já que as temperaturas externas são usualmente mais baixas que as temperaturas internas. A ventilação aumenta a perda de calor por convecção da massa dos elementos construtivos e dissipa esse calor para o exterior. Ventiladores de teto também podem ser utilizados para aumentar o movimento do ar interno e elevar a transferência de calor por convecção [Balaras,1996]. Alguns estudos também mostram que a massa térmica associada com ventilação noturna pode reduzir a temperatura interna máxima em edifícios no verão [Givoni(1998); Shaviv et al (2001)].

Sobretudo, é importante que projetistas tenham em mente que os usuários representam o fator final determinante na eficiência de qualquer sistema do edifício, incluindo a inércia térmica. Em mudar o uso dos espaços internos e cobrir as superfícies, pode-se reduzir drasticamente a eficiência do armazenamento térmico da estrutura. Além disso, o uso da inércia térmica não é suficiente se os usuários não aplicarem a ventilação corretamente, para garantir a dissipação do calor.

Este artigo se concentra em um estudo analítico, o qual investiga o papel da inércia térmica como técnica de resfriamento no clima de Florianópolis e tem o objetivo de verificar o impacto e as limitações do uso da inércia térmica em residências nas condições de verão. Os aspectos que devem ser considerados ao empregar esta estratégia naquele clima foram avaliados através de simulação computacional. Os resultados desta pesquisa são parte de uma tese de doutorado desenvolvida na *Architectural Association School of Architecture* – Londres.

## 2. O CLIMA

O contexto deste trabalho é o clima da cidade de Florianópolis, localizada no litoral, na região sul do Brasil, e a uma latitude de 27° 40'. A temperatura média anual para o clima de Florianópolis é 20,5°C. O mês mais quente é Fevereiro, apresentando uma temperatura média de 24,5°C e o mês mais frio é Julho, que possui temperatura média de 16,6°C. A média anual da amplitude diária de temperatura é 7,8°C. Em Fevereiro, a média das temperaturas máximas é em torno de 29°C, mas a máxima pode atingir 36°C. A média anual da umidade relativa é 83% e os valores médios mensais não variam muito do valor médio anual (Goulart, 1998).

## 3. METODOLOGIA

As conclusões de um trabalho de campo desenvolvido num estágio anterior (Goulart, 2002), onde quatro residências com diferentes níveis de inércia térmica nas paredes foram monitoradas durante o verão em Florianópolis, mostrou alguns aspectos que devem ser considerados no emprego da inércia térmica. Os aspectos que emergiram do trabalho de campo foram: a influência do telhado em ambientes localizados no andar superior; tamanho de aberturas e adequado sombreamento; e a importância do emprego de ventilação noturna. Os principais aspectos salientados no experimento de campo foram, então, investigados num trabalho analítico, o qual inclui estudos paramétricos e de correlação, ambos baseados em simulação.

O programa de simulação térmica *TAS Building Designer* (TAS 8.4) foi utilizado para realizar o estudo. Antes da simulação propriamente dita, foi realizado o processo de construção e calibração do modelo para assegurar a capacidade deste em prever as temperaturas internas levando em conta as características de inércia térmica. Uma vez concluída a validação, as variações paramétricas foram, então, realizadas para estudar o impacto relativo de cada medida no desempenho da inércia térmica nas condições de verão quente-úmido. Tais aspectos incluem:

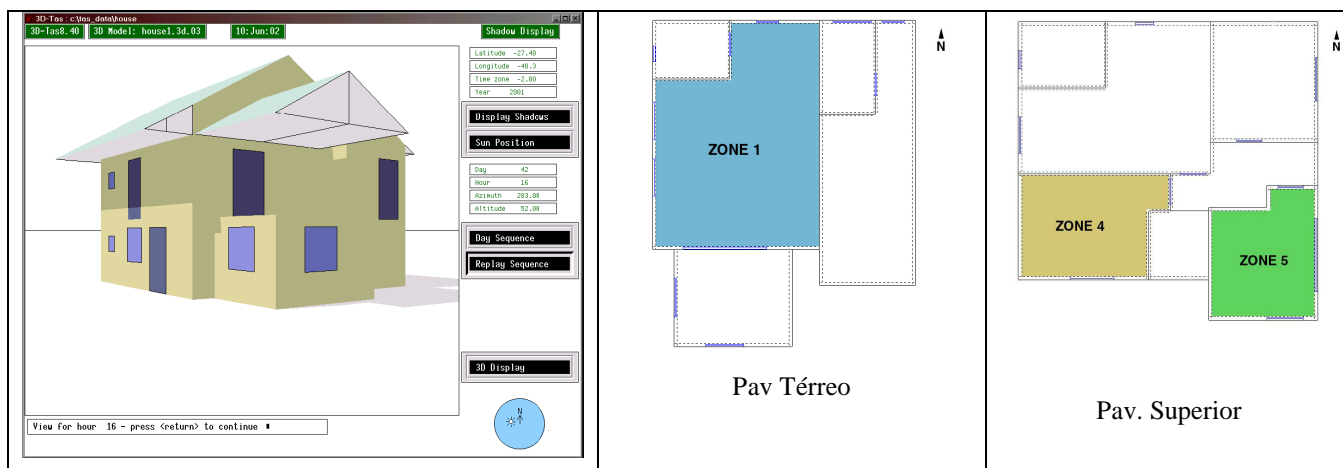
- Ventilação Noturna (mecânica e natural);
- Abertura (tamanho e uso de sombreamento);
- Composição do telhado;
- Diferentes níveis de inércia térmica nas paredes;
- Modelo Melhorado: a melhor combinação dos resultados acima, com diferentes níveis de inércia nas paredes.

Outras avaliações foram realizadas através de análise de correlação para revelar a influência de alguns parâmetros nas temperaturas internas:

- Relação de área de janela/ área de piso e área de massa/ área de janela;
- Ventilação noturna na redução do pico de temperatura interna;
- Superfície da massa que é exposta a troca de calor;
- Ventilação diurna;

### **Caso-Base:**

Para a realização do estudo paramétrico, um caso base é considerado para as comparações. O caso-base representa a residência com maior inércia na envoltória entre as quatro casas estudadas no trabalho de campo (Goulart, 2002) e reproduz as zonas do estudo de caso como elas são originalmente construídas e usadas na realidade. As condições internas, o padrão de ocupação e todos os elementos considerados no caso-base estão reproduzindo a situação real e a rotina normal da edificação: janelas abertas durante o dia; nenhuma ventilação noturna; sem dispositivo de sombreamento na janela. A residência possui dois pavimentos. A figura 1 mostra o Modelo em perspectiva, com as sombras produzidas no dia 11 de fevereiro, às 16 h; e as plantas baixas mostrando os ambientes monitorados.



**Figura 1- Modelo representando o caso-base e plantas baixas.**

Todos os ambientes da residência foram considerados como uma zona diferente para levar em conta as trocas térmicas entre as salas. Entretanto, o interesse nos resultados foi concentrado somente em duas zonas, originalmente denominadas Zona 1, localizada no térreo, e Zona 5, a qual é localizada no pavimento superior. Estas zonas correspondem a dois dos ambientes que foram monitorados no trabalho de campo. Eles foram escolhidos, pois representam duas condições ambientais extremas da residência e, conseqüentemente, indicam os limites do desempenho térmico naquele estudo de caso:

A tabela 1 mostra as informações quanto à geometria das zonas avaliadas no estudo paramétrico.

**Tabela 1 – Geometria das Zonas.**

	Volume Int. (m <sup>3</sup> )	Área Piso (m <sup>2</sup> )	Área de Paredes int. (m <sup>2</sup> )	Área janela/área piso (%)
Zona 1	67,4	29,6	41,5	4.7 (orient: Oeste)
Zona 5	17,4	7,6	23,0	31.6 (orient: Leste)

A Zona 1 é bem protegida de ganhos solares, possui maior área interna e mostrou o melhor desempenho térmico de acordo com o trabalho de campo. Por outro lado, a Zona 5 possui uma grande abertura permitindo o ganho solar, menor volume interno e mostrou o pior desempenho térmico no trabalho experimental. Além disso, a Zona 5 recebe a influência do calor recebido pela cobertura.

As variações paramétricas foram realizadas para descobrir as causas do aumento ou diminuição do desempenho da inércia quando comparado com o caso-base. Os resultados das variações fornecem, então, respostas para melhorar o desempenho de uma edificação de maior inércia térmica.

#### 4. VARIAÇÕES PARAMÉTRICAS

As variações paramétricas são descritas em maiores detalhes abaixo:

**a) Ventilação Noturna:** Duas condições são avaliadas:

- Por **meios naturais**: isto é, através das aberturas da edificação na qual as janelas são abertas entre 23:00 h e 7:00 h e fechadas no resto do tempo. Duas situações foram consideradas: com 25% e com 50% de proporção da janela aberta.
- Por **meios mecânicos**: a ventilação é feita através de meios mecânicos. Três níveis de ventilação forçada foram estudados (em trocas de ar por ar): 10; 20; e 30.

**b) Abertura:** a janela da Zona 5 (fachada leste) é a principal fonte de calor deste ambiente. Neste caso, somente a janela desta zona é examinada através:

- Razão de área de janela / área de piso: 32% (caso-base); 20% e 10%.
- Proteção Solar: Três condições foram avaliadas: sem proteção solar (caso-base); *brise soleil*; e proteção externa no vidro ou veneziana (transmitância solar equivalente a 0,07).

**c) Diferentes níveis de inércia térmica na cobertura:** na avaliação da cobertura, dois níveis de inércia térmica de forro foram estudados: laje de concreto de 10 cm e forro de madeira, ambos sob cobertura de telha cerâmica. Além disso, a adição de isolamento e barreira radiante foi também testada. As variações são as seguintes:

- Forro de Laje de concreto sob cobertura inclinada de telha cerâmica (caso-base);
- Forro de madeira sob cobertura inclinada de telha cerâmica;
- Forro de laje de concreto e cobertura de telha cerâmica com barreira radiante;
- Forro de laje de concreto, isolamento e cobertura de telha cerâmica;
- Forro de madeira e cobertura de telha cerâmica com barreira radiante;
- Forro de madeira, isolamento e cobertura de telha cerâmica.

**d) Diferentes níveis de inércia térmica nas paredes:** três condições foram estudadas:

- Parede de blocos de granito (caso-base);
- Parede dupla de tijolos cerâmicos;
- Parede simples de tijolos cerâmicos.

**e) Modelo Melhorado:** os melhores resultados de desempenho térmico das variações **a** – **c** são implementadas no modelo. O novo modelo é, então, avaliado considerando os três tipos de paredes acima.

A análise do impacto das técnicas aplicadas nas condições internas é fornecida em termos de número de horas em que a temperatura do ambiente se encontra acima de certos limites de conforto.

Os limites de temperatura de conforto escolhidos neste trabalho são dois: 27°C, o qual é o limite superior da zona de conforto adotada para países de clima temperado e 29°C, o qual é o limite superior da zona de conforto para países de clima quente, considerando a aclimação das pessoas às condições quente-úmidas e que vivem em edificações não-condicionadas. Estes valores de limites de temperatura são sugeridos por Givoni (1992). O limite de 29°C foi testado por ambas as teorias de conforto – Voto Médio Estimado (PMV) e Modelo Adaptativo - sendo perfeitamente aceitável nas condições climáticas do estudo e considerando o ambiente doméstico (ver Goulart, 2004, p. 95).



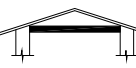
No estudo paramétrico, a redução (ou aumento) no número de horas em que a Temperatura Resultante da zona se encontra acima de ambos os limites (27 e 29) devido às variações é calculado e comparado ao caso-base. A Temperatura Resultante é definida como a média entre a temperatura do ar e a temperatura radiante. O período avaliado no estudo paramétrico inclui 22 dias durante o verão (de 1 a 22 de fevereiro), portanto um total de 528 horas.

## **Resultados:**

Foi organizada uma tabela para os resultados do estudo paramétrico correspondentes aos itens **a** até **c**, indicando a eficiência de cada medida estudada. Os resultados para as variações **d** e **e** são mostradas em tabelas separadas.

As variações paramétricas (Tabela 2) sumariza os resultados para as Zonas 1 e 5, considerando o limite de 29°C somente, já que foi para este limite de temperatura que foram atingidas reduções mais significativas no número de horas de desconforto. O número de horas em que a temperatura da zona excede os 29°C e a respectiva redução (ou aumento) em percentagem em relação ao caso base é mostrado na tabela. As células hachuradas representam as maiores reduções alcançadas pela respectiva medida de projeto. Como informação complementar, o número de graus-hora foi também calculado para a temperatura base de 29°C. O conceito de graus-hora pode ser usado para análises de energia para estimar a carga de resfriamento necessária. A análise da abertura foi realizada somente na Zona 5.

**Tabela 2: Sumarização dos resultados paramétricos.**

Alternativas de Projeto			Zona 1			Zona 5		
			Nº horas >29 / R ou A * (%)		Graus-hora (Tb=29)	Nº horas >29 / R ou A (%)		Graus-hora (Tb=29)
<b>Ventilação Noturna</b> 	S/ vent not	56	CB**	27,6	196	CB	249,8	
	Natural	25% abert	49	12,5 (R)	21,7	164	16,3 (R)	214,5
		50% abert	45	19,6 (R)	19,9	150	23,5 (R)	197,8
	Mecânica	10 trocas ar/h	44	21,4 (R)	18,9	147	25 (R)	194,7
		20 trocas ar/h	44	21,4 (R)	17,5	139	29 (R)	185,3
		30 trocas ar/h	44	21,4 (R)	16,7	132	32,6 (R)	179,9
<b>Abertura</b> 	Área Janela/ Área Piso	30%	-	-	-	196	CB	249,8
		20%	-	-	-	186	5,1 (R)	237,1
		10%	-	-	-	182	7,1 (R)	230,3
	Proteção Solar	S/ sombream	-	-	-	203	CB	314,4
		<i>Brise Soleil</i>	-	-	-	176	13,3 (R)	239,3
		Veneziana	-	-	-	141	30,5 (R)	150
<b>Cobertura</b> 	Forro de Laje Concreto		40	CB	19,7	152	CB	177,8
	Forro de Madeira		53	32,5 (A)	33,5	170	11,8 (A)	226,3
	Laje de concr + isolamento		47	17,5 (A)	23,4	136	10,5 (R)	138,6
	Madeira + Barr Radiante		44	10 (A)	20,8	135	11,2 (R)	133,5
	Madeira + isolamento		41	2,5 (A)	20,2	134	11,8 (R)	133,6
	Laje de Concreto + Barr Radiante		34	15 (R)	15,1	123	19,1 (R)	112,6

\* Redução (R) e Aumento (A)      \*\* Caso Base (CB)

Os resultados podem ser resumidos como segue:

A **ventilação noturna** natural é moderada e variável. O desempenho térmico para ambas as zonas não mudou muito quando a ventilação natural com 50% de área aberta e a ventilação mecânica de 10 trocas de ar por hora foram aplicadas. Não houve redução no número de horas em que a temperatura excede 29°C a partir de 10 trocas de ar por hora na Zona 1. Entretanto, na Zona 5, quanto mais alta a taxa de fluxo de ar, maior a redução das horas de desconforto. Além disso, as reduções alcançadas para a Zona 5 foram maiores do que para a Zona 1. Isto pode ser interpretado que, quanto mais alto o ganho de calor de um ambiente, maior o efeito de refrigeração da ventilação noturna, já que a diferença relativa entre a temperatura interna e externa durante a noite é maior, embora, neste caso, seja necessário taxas mais alta de ventilação.

A redução da área de **abertura** mostrou menor influência nas condições internas, com um máximo de 7,1% de redução nas horas de desconforto. O uso de sombreamento forneceu uma redução mais significativa nas horas de desconforto, atingindo 13,3% devido ao uso de um brise e 30,5% devido ao

uso de uma proteção externa no vidro ou veneziana externa. Estes resultados mostraram que o uso de sombreamento adequado em uma abertura conduz a um melhor desempenho térmico em um ambiente do que diminuindo o tamanho da abertura somente. Além disso, se uma grande área de abertura é parte do requisito de projeto e não pode ser evitado pelo projetista, o uso de sombreamento apropriado para as condições de verão deve resolver a maior parte do ganho de calor.

Para verificar se haveria nível aceitável de luz natural no ambiente mesmo com a redução do tamanho da janela e o uso de um dispositivo de sombreamento, uma análise do nível de iluminância foi desenvolvida, mostrando que a razão área de janela/ área de piso de 20% proporcionou um nível apropriado de iluminância, mesmo com o uso de uma veneziana externa.

Na avaliação da **cobertura**, o uso de forro de madeira no telhado apresentou o pior desempenho para a Zona 1 (piso térreo), aumentando o número de horas em que a temperatura excede 29°C. Para a Zona 5, localizada no pavimento superior, os resultados mostraram que as características de um forro de madeira não é suficiente para obstruir ou absorver a quantidade de calor gerada pela exposição do telhado à radiação solar e à temperaturas altas e precisa ser associado ao uso de isolamento ou barreira radiante. Neste caso, o uso de isolamento ou barreira radiante fornece reduções similares: 11,8% (isolamento) e 11,2% (barreira radiante). O uso de um material isolante no telhado melhorou o desempenho da zona localizada no pavimento superior, porém, causa um aumento no número de horas de desconforto para a zona localizada no térreo. Por outro lado, o uso de um forro de maior inércia térmica (laje de concreto) e o emprego de barreira radiante no telhado apresentou o melhor desempenho já que maiores reduções foram conseguidas no número de horas de desconforto em ambas as zonas, comparado com as outras configurações. Nesta pesquisa, as reduções nas horas de desconforto devido ao uso de uma barreira radiante variaram de 15% (zona 1) a 19,1% (zona 5), para a temperatura base de 29°C.

Os melhores resultados das variações acima, as quais foram implementadas no modelo melhorado, são: 1) 10 trocas de ar por hora de ventilação noturna forçada (sem ventilação diurna); 2) 20% de proporção de área de janela/área de piso e proteção externa no vidro (tipo veneziana) na janela da Zona 5; 3) Forro de laje de concreto e cobertura de telha cerâmica com barreira radiante.

Os resultados para os diferentes níveis de inércia térmica nas **paredes** são mostrados nas tabelas 3 e 4. Neste caso, os resultados para o limite de temperatura de 27°C são também indicados.

Primeiramente, paredes de tijolo cerâmico simples e dupla foram avaliadas e comparadas com o modelo de paredes de blocos de granito (Tabela 3). Nenhuma estratégia de projeto foi aplicada aos modelos. As condições internas e padrão de ocupação estão reproduzindo a rotina normal da edificação: janelas abertas durante o dia; sem dispositivos de sombreamento na janela (Zona 5) e sem ventilação noturna.

Na segunda análise, a combinação dos melhores resultados das simulações foi implementada ao modelo, sendo chamado de **Modelo Melhorado**, e nova avaliação foi realizada considerando os três tipos de paredes. Os resultados foram comparados com o caso-base, o qual representa a edificação original: parede de blocos de granito e nenhuma das estratégias acima aplicadas no modelo (Tabela 4). O principal objetivo desta análise foi examinar se a edificação de maior inércia térmica nas paredes apresenta um desempenho térmico melhor quando a combinação de medidas é considerada.

**Tabela 3 – Número de horas acima de 27°C e 29°C; e as reduções alcançadas para os modelos com diferentes níveis de inércia nas paredes.**

	Zona 1				Zona 5			
	Freq>27°C / R ou A (%)		Freq>29°C / R ou A (%)		Freq>27°C / R ou A (%)		Freq>29°C / R ou A (%)	
Parede Bloco de Granito	265	CB	40	CB	368	CB	152	CB
Parede Dupla de tijolo	277	4,5 (A)	55	37,5 (A)	375	1,9 (A)	187	23 (A)
Parede Simples de tijolo	181	31,7 (R)	50	25 (A)	223	39,4 (R)	146	3,9 (R)

A avaliação dos diferentes sistemas de paredes mostrou que:

Quando existe ganho solar no ambiente e não é aplicada a ventilação noturna, a parede simples de tijolo cerâmico apresentou melhor desempenho para o limite de temperatura de 27°C para ambas as zonas, com reduções de 31,7% para zona 1 e 39,4% para zona 5. Como a parede simples de tijolo possui capacidade térmica mais baixa e menor espessura, o calor acumulado na estrutura é rapidamente dissipado durante a noite, quando as temperaturas externas estão mais baixas. Quando o limite mais alto de temperatura é considerado (29°C), a redução na temperatura interna atingida pela parede simples foi insignificante para a Zona 5 (3,9%) e ocorreu um aumento nas horas de desconforto para a Zona 1 (25% de aumento).

**Tabela 4 – Número de horas acima de 27°C e 29°C; e as reduções alcançadas quando o modelo é melhorado.**

	Zona 1				Zona 5			
	Freq>27°C / R ou A (%)		Freq>29°C / R ou A (%)		Freq>27°C / R ou A (%)		Freq>29°C / R ou A (%)	
Parede Bloco de Granito – caso-base	265	-	40	-	368	-	152	-
Parede Bloco de Granito – modelo melhorado	221	16,6 (R)	32	20 (R)	271	26,4 (R)	73	52 (R)
Parede Dupla de tijolo – modelo melhorado	223	15,8 (R)	47	17,5 (A)	281	23,6 (R)	99	34,9 (R)
Parede Simples de tijolo – modelo melhorado	212	20 (R)	49	22,5 (A)	264	28,3 (R)	100	34,2 (R)

Quando as estratégias são empregadas e o ganho solar evitado (Tabela 4), o melhor desempenho térmico foi alcançado pelo modelo com parede de maior inércia térmica (bloco de granito), principalmente para a temperatura base de 29°C (20% de redução para a zona 1 e 52% para a zona 5). Para o limite de temperatura de 27°C, a parede de tijolo simples aumenta o número de horas de desconforto para a Zona 1 e reduz o desconforto para a Zona 5, mas de uma maneira menos eficiente, comparado com as outras paredes.

Além disso, os resultados indicam que paredes de maior inércia é bastante eficiente em reduzir picos de temperatura. Percebe-se que as paredes de tijolo simples trabalham bem até o limite de 27°C. Entretanto, para temperaturas mais altas, paredes de maior inércia apresentam melhor desempenho, principalmente quando o ganho solar é evitado e a ventilação noturna é aplicada.

## 5. ESTUDO DE CORRELAÇÃO

O estudo de correlação examina algumas características com o objetivo de encontrar uma linha de tendência representando a relação entre os dados. Se existe a correlação, o  $R^2$  correspondente pode ser interpretado como a proporção da variação do parâmetro em **y**, o qual pode ser atribuído a variação do parâmetro em **x**. Por questões de espaço, não será possível mostrar os gráficos com os resultados.

Os parâmetros investigados foram:

- A influência do tamanho da abertura nas condições internas através das relações: **área de janela/ área de piso e área de massa/ área de janela**; esta análise foi realizada somente na Zona 5.
- O efeito da **ventilação noturna** no pico interno de temperatura e a relação com a amplitude diária da temperatura externa;
- A influência do aumento da **superfície de massa exposta** às trocas de calor: para realizar esta avaliação, partes das superfícies internas do ambiente foram cobertas com material leve, tais como carpete no piso, forrações nas paredes e forros e comparadas com as superfícies totalmente expostas.
- A consequência da **ventilação diurna** nas condições internas quando se utiliza a inércia térmica associada à ventilação noturna;



As análises foram realizadas para as mesmas zonas do estudo paramétrico. Para desempenhar este estudo, primeiramente o modelo foi considerado sem o emprego de nenhuma medida de projeto. Uma segunda avaliação foi realizada, onde a combinação das medidas de projeto definidas no estudo paramétrico foi aplicada ao modelo. Os principais resultados de cada tópico são sumarizados abaixo:

#### **Abertura:**

- A análise da área de massa em relação à área de janela investigou a seguinte hipótese: “Ao aumentar a área superficial de massa térmica, enquanto a área original de janela é mantida constante, a área de massa adicional irá absorver o excesso de calor ganho através da abertura?” O resultado mostrou que, para o modelo sem as medidas de projeto, houve um decréscimo gradativo nas horas de desconforto à medida que se aumentou a área de massa e foi encontrada uma correlação representada por uma equação polinomial. Porém, a partir de um determinado valor, o aumento da área de massa irá proporcionar um leve aumento nas horas de desconforto. Por outro lado, uma vez que as medidas de projeto são adotadas, a correlação entre os dados diminui, ou seja, o aumento da área de massa não tem efeito significativo nas condições internas. O parâmetro que mais contribuiu para aumentar o desempenho térmico, neste caso, foi ventilação noturna, seguido de sombreamento adequado.
- A análise da relação área de janela/ área de piso mostrou que se nenhuma medida de projeto é adotada, o aumento desta proporção irá aumentar as horas de desconforto do ambiente com uma correlação linear e correspondente  $R^2$  de 0,98. Uma vez adotadas as medidas de projeto, a correlação entre os dados passa a não existir. Além disso, os resultados mostraram que a partir de 20% de proporção, o sombreamento é a estratégia isolada mais importante, mas, novamente, é a combinação das medidas de projeto que proporciona os melhores resultados.

#### **Ventilação Noturna:**

- Quando a ventilação noturna é empregada, maiores reduções no pico de temperatura interna são atingidas.
- Quanto maior a amplitude diária de temperatura, maior é a redução do pico de temperatura interna em relação ao pico externo.
- Quanto maior a inércia térmica das paredes, maior a correlação entre a redução do pico interno de temperatura e a variação de temperatura externa quando a ventilação noturna é empregada.
- As medidas de projeto (sombreamento e barreira radiante no telhado) juntamente com o uso de ventilação noturna proporcionam melhor resposta para a edificação de maior inércia térmica, uma vez que maiores reduções do pico interno são alcançadas.
- Foi demonstrado também que a ventilação noturna tem um efeito maior a partir de 6°C de amplitude diária de temperatura externa.

#### **Superfície exposta de massa térmica:**

- O melhor desempenho térmico ocorreu quando todas as superfícies estavam expostas às trocas de calor.
- Quando o ganho solar é permitido ao ambiente devido a grandes áreas de abertura, a superfície exposta de massa térmica tem maior influência sobre as condições internas, já que quanto maior a superfície coberta, maior o número de horas de desconforto.
- Quando as estratégias de projeto são adotadas e os ambientes estão protegidos de ganhos solares, a correlação entre os dados se torna insignificante.

#### **Ventilação Diurna:**

- Se as medidas de projeto são consideradas, a ventilação durante o dia tem um efeito negativo menor nas condições internas do que se nenhuma estratégia de projeto é adotada. Entretanto, nos dois casos, o número de horas em que a temperatura interna excede 29°C aumenta gradualmente, à medida que aumenta o número de horas em que a ventilação diurna é permitida.

## 6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa investigou o uso de inércia térmica para edificações residenciais para o clima quente-úmido do verão em Florianópolis. Aspectos tais como a influência da configuração do telhado, tamanho e sombreamento de aberturas, e ventilação noturna foram estudados através de um trabalho analítico, onde estudos paramétricos e de correlação foram realizados baseados em simulação computacional.

O estudo paramétrico permitiu encontrar a melhor combinação das estratégias de projeto que influenciam o desempenho da inércia térmica, melhorando as condições internas.

Os resultados mostraram que a ventilação noturna é a estratégia de projeto prioritária a ser aplicada para edificações de maior inércia. Sombreamento adequado de aberturas também é importante quando o ambiente possui uma grande área de janela localizada numa orientação problemática e permitindo o ganho solar. Além disso, os resultados demonstraram que o melhor desempenho térmico é alcançado por uma combinação de medidas de projeto, e não somente usar a inércia térmica como uma estratégia isolada.

A principal conclusão do estudo de correlação foi que a correlação entre os dados sempre decresce quando a combinação de medidas de projeto que melhoram o desempenho de edificações de maior inércia é adotada no modelo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALARAS, C. A. (1996). "The Role of Thermal Mass on the Cooling load of buildings. An overview of computational methods". in *Energy and Buildings* vol.24: pp. 1-10.
- BALCOMB, J. (1983). "Heat Storage and Distribution Inside Passive Solar Buildings". Los Alamos, New Mexico, Los Alamos National Laboratory.
- GIVONI, B. (1992). "Comfort, climate analysis and building design guidelines." *Energy and Buildings* vol. 18: pp. 11-23.
- GIVONI, B. (1998). "Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods." *Energy and Buildings* vol. 28: pp. 25-32.
- GOULART, S.; R. LAMBERTS; S. FIRMINO (1998). "Dados Climáticos para projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras". NPC/UFSC, Florianópolis, 345p. (in Portuguese)
- GOULART, S. V. G. (2002). "O papel da inércia térmica como técnica de resfriamento passivo para residências em clima quente e úmido - Estudo de caso em Florianópolis". In: ENTAC 2002, Foz do Iguaçu. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- GOULART, S. V. G. (2004). "Thermal inertia and natural ventilation: optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil". Thesis. Architectural Association Graduate School. Londres, Inglaterra. Disponível em [www.labeee.ufsc.br/publicacoes](http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes).
- SHAVIV, E.; A. YEZIOTO, et al. (2001). "Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy". *Renewable Energy* 28: pp. 445-452.
- SOEBARTO, V. I. (1999). "A 'New' approach to passive design for residential buildings in a tropical climate". Sustaining the Future - Energy, Ecology, Architecture, in Proc. of PLEA'99, Brisbane, Australia.
- SZOKOLAY, S. (1996). "Thermal Design of Houses for Warm-humid Climates". Building and Urban Renewal - PLEA 96, 16-18 July, Louvain-la-Neuve, Belgium.
- SZOKOLAY, S. (2000). "Dilemmas of warm-humid climate house design: heavy vs. lightweight + cooling effect of air movement". Architecture, City, Environment - in PLEA 2000, Cambridge, UK, James & James Ltd.
- TAS (v. 8.4, 2002). "TAS Building Designer". Environmental Design Solutions Limited ([www.edsl.net](http://www.edsl.net)).

## 8. AGRADECIMENTOS

O autor agradece a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo suporte financeiro do Doutorado Pleno desenvolvido na Inglaterra (*Architectural Association Graduate School*).