

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO DE APARTAMENTOS RESIDENCIAIS EM REGIÃO DE TEMPERATURAS ELEVADAS: OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE VEDAÇÃO

Aloísio L. Schmid (1); George Stanescu (2); Mônica T. Druszcz (3); Silvana da Silva (4);

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFPR. E-mail: alschmid@arquit.ufpr.br

(2) Departamento de Mecânica, UFPR. E-mail: stanescu@demec.ufpr.br

(3) (4) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PPGEC - UFPR, Centro Politécnico,
Jardim das Américas, C. P.19011, CEP 81531-990, Curitiba – PR, (41) 361-6345.

e-mail: monicatd@cesec.ufpr.br ; silvanas@cesec.ufpr.br

RESUMO

O trabalho se propõe à redução de carga térmica e aumento de conforto de um edifício residencial em Cuiabá, MT, onde se buscou estabelecer a melhor alternativa de material para as paredes de vedação da edificação, através dos resultados de uma simulação computacional. Apresentaram-se quatro diferentes opções de fechamento, com resistência térmica crescente: uma meada de tijolos, duas meadas de tijolos, duas meadas separadas por uma placa de poliestireno expandido e em seguida por uma camada de ar entre as paredes. Apesar de saber-se que o consumo de energia cresce de modo inversamente proporcional a esta resistência, apresentou-se como desafio maior quantificar esta vantagem, de modo a se poder avaliar cada uma das opções como investimentos alternativos. A simulação foi realizada através de um sistema de múltiplas zonas em Java, desenvolvido pelo autor principal. Como domínio da análise, estabeleceu-se um pavimento inteiro, discretizado em nove zonas (uma climatizada e outra não-climatizada em cada um dos quatro apartamentos e mais a circulação comum). A redução do domínio a um único pavimento foi permitida pela adoção de condições adiabáticas entre os andares. A simulação permitiu conhecer o desempenho térmico dessas variáveis e forneceu subsídios às decisões técnicas quanto à opção mais favorável de material.

ABSTRACT

This work aims to reduce thermal loads and to raise thermal comfort of a residential building in Cuiabá, Brazil, in an attempt to optimize the building envelope by means of a computer simulation. The study considered four different envelope schemes with growing thermal resistance: a single block and a double block thick wall, a double block wall with a layer of expanded polystyrene in the middle, and a double block wall with air in the middle. Despite the inverse relationship of energy and thermal resistance being well known, a major challenge was that of quantifying this advantage in a way to evaluate each of the options as alternative investments. Simulation was done through multiple zones system in Java, developed by the main author. As the analysis domain, it was established an entire floor, discretized in nine zones (in each of the four apartments there were an acclimatized zone, and another one which was not acclimatized, as well as the common circulation area). Reduction of the domain to a single floor was enabled by the adoption of adiabatic conditions between the floors. Simulation results showed the thermal performance of each choice and made the decision possible as for the best building envelope.

1. INTRODUÇÃO

O uso racional da energia é uma das grandes preocupações dos setores responsáveis pela sua produção, fazendo com que, cada vez mais, os profissionais envolvidos com a elaboração de projetos se sensibilizem e busquem soluções que possam minimizar o elevado consumo de energia proveniente do uso das edificações. Utilizando-se de ferramentas de projeto como a simulação, o profissional pode prever o desempenho energético de sua proposta arquitetônica, permitindo a criação de edificações mais eficientes e confortáveis. (LAMBERTS, 1997).

Assim sendo, esse trabalho busca estudar a redução de carga térmica e aumento de conforto de um edifício residencial a ser construído na cidade de Cuiabá, MT. Cumpre observar que naquela condicionamento mecânico do ar é prática estabelecida diante de problemas como o ruído das ruas e a existência de queimadas nas estações secas, que dificultam a ventilação natural. Fazendo-se uso dos recursos que a natureza dispõe para esse fim, o amortecimento das variações de temperatura por meio tanto dos materiais de baixa condutividade, como daqueles de grande inércia térmica, e com auxílio de um programa computacional desenvolvido para análise de conforto térmico do ambiente construído, verificou-se qual a melhor alternativa de material para as paredes de vedação da edificação.

Consideraram-se quatro diferentes opções de fechamento, de uma menor a uma maior resistência térmica: uma meada de tijolos, duas meadas de tijolos, duas meadas separadas por uma placa de poliestireno expandido e duas meadas separadas por uma camada de ar de 2 cm. Apesar de conhecido o fato do consumo de energia estar inversamente proporcional a esta resistência, apresentou-se como desafio maior quantificar esta vantagem, de modo a se poder avaliar cada uma das opções como investimentos alternativos.

Foi estabelecido como faixa de temperaturas para conforto térmico aquela entre 17 °C como valor mínimo para o período de inverno e de 24 °C para os dias de verão. A variável, ou combinação delas, mais adequada, é aquela que consumir menor energia para climatização do ambiente nas temperaturas acima mencionadas.

A simulação foi realizada através de um sistema de múltiplas zonas escrito em linguagem Java, desenvolvido pelo penúltimo co-autor e descrito num artigo separado. Como domínio da análise, estabeleceu-se um pavimento inteiro, discretizado em nove zonas (uma climatizada e outra não-climatizada em cada um dos quatro apartamentos, e mais a circulação comum). A redução do domínio a um único pavimento foi permitida pela adoção de condições adiabáticas entre os andares.

O programa permite, entre outros parâmetros, verificar graficamente a incidência da insolação em cada parede externa e o aquecimento da face interna dessas paredes, paralelamente à plotagem dos dados no gráfico que indica as temperaturas. Este recurso possibilitou, por exemplo, a imediata percepção do aquecimento do interior da edificação e, conseqüentemente, uma primeira conclusão quanto ao uso diferencial do material nas quatro faces da edificação.

A simulação permitiu o conhecimento do desempenho térmico dessas variáveis e assim forneceu subsídios às decisões técnicas quanto a opção mais favorável de material, além de contribuir como importante ferramenta inovadora para o mercado do projeto de edificações.

2. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A análise numérica foi dividida em duas etapas: 1) estudo do comportamento térmico das paredes; e 2) aplicação destes resultados à análise de um andar do edifício em múltiplas zonas

A primeira etapa utilizou o software ANSYS 5.3, simulando um regime permanente de transferência de calor por condução bidimensional entre a superfície externa da parede, mantida à temperatura constante de 36⁰ C, e a superfície interna da parede, mantida a 22⁰ C.

Para realizar a integração das equações diferenciais que definem o modelo matemático, foi utilizado elemento PLANE 55 2-D. Este tipo de elemento pode ser utilizado como um elemento plano ou

assimétrico com capacidade de condução térmica bidimensional. Possui quatro nós (com opção para três nós) com um único grau de liberdade e temperatura por nó. O elemento PLANE 55 2-D é recomendado para análises bidimensionais em regime permanente ou transiente.

Depois de ser realizada a modelagem geométrica das paredes, e da especificação das características físicas dos materiais utilizados (Tabela 1), o domínio de integração (superfície resultante ao se cortar a parede por um plano vertical perpendicular à mesma) é dividido em elementos de volumes conforme as malhas mostradas nas Figuras 1^a, 2^a, 3^a e 4^a.

Tabela 1 – propriedades físicas dos materiais utilizados na construção das paredes.

Material sólido dos tijolos	Condutividade térmica, W/mK
Argamassa utilizada no exterior do prédio	0,980
Material sólido dos tijolos	0,720
Argamassa utilizada no exterior do prédio	0,025
EPS	0,033
Argamassa utilizada no interior do prédio	0,780

Por fim, são representados os gráficos que indicam as distribuições de temperatura (figuras 1b, 2b, 3b e 4b) e de fluxo térmico (1c, 2c, 3c e 4c). Com base nos valores do fluxo térmico calculados na superfície interna das paredes são determinados os valores da condutividade térmica para cada tipo de parede analisada.

A segunda etapa, da simulação de um andar do edifício dividido em múltiplas zonas, num novo sistema programado em Java, escrito pelo autor principal e descrito num artigo em separado (SCHMID, 2001).

3. RESULTADOS: CONDUTIVIDADE TÉRMICA DAS PAREDES EXTERNAS

Apresentam-se a seguir os gráficos de visualização dos modelos de cada tipo de parede, bem como a distribuição de temperaturas e por fim a distribuição de fluxo de calor na parede.

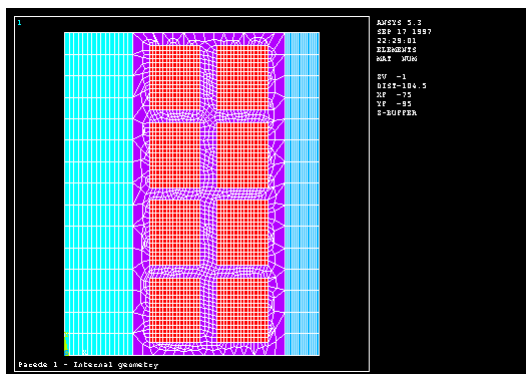


Figura 1^a – Configuração interna da parede tipo 1: 4 cm de argamassa (no lado do exterior do prédio), um tijolo de oito furos e 2 cm de argamassa (interior do prédio).

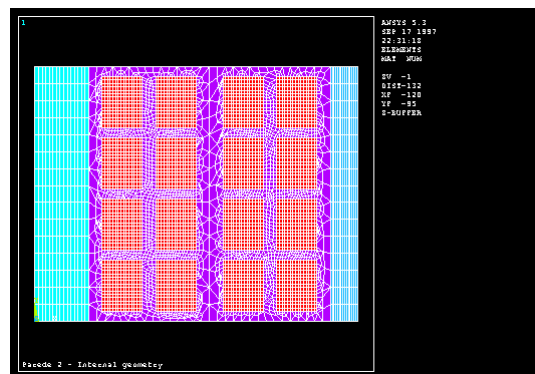


Figura 2^a – Configuração interna da parede tipo 2: 4 cm de argamassa (no lado do exterior do prédio), dois tijolos de oito furos e 2 cm de argamassa (interior do prédio).

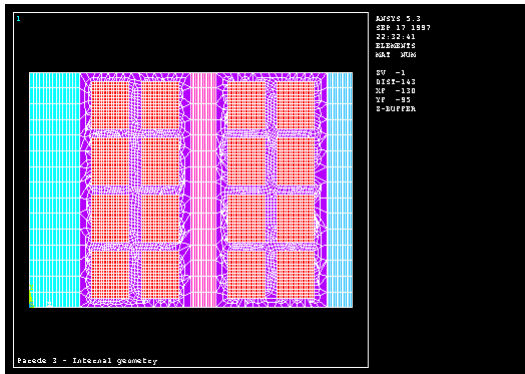


Figura 3^a – Configuração interna da parede tipo 3: 4 cm de argamassa (no lado do exterior do prédio), um tijolo de oito furos, uma camada de EPS de 2 cm, um outro tijolo de oito furos e 2 cm de argamassa (interior do prédio).

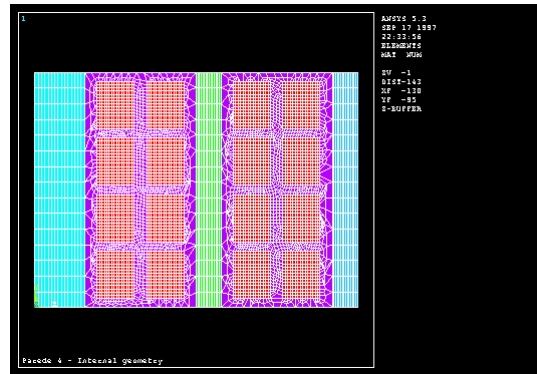


Figura 4^a – Configuração interna da parede tipo 4: 4 cm de argamassa (no lado do exterior do prédio), um tijolo de oito furos, uma camada de ar de 2 cm, um outro tijolo de oito furos e 2 cm de argamassa (interior do prédio).

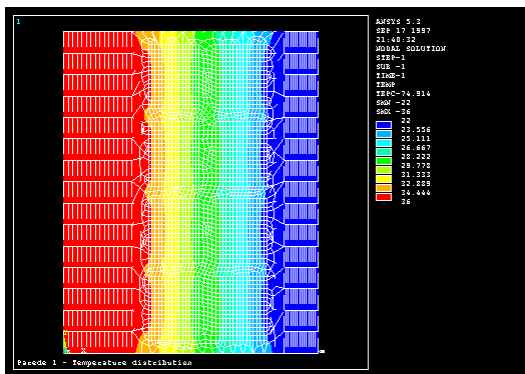


Figura 1b – Distribuição de temperaturas na parede (regime permanente, temperatura externa 36⁰ C, temperatura interna 22⁰ C).

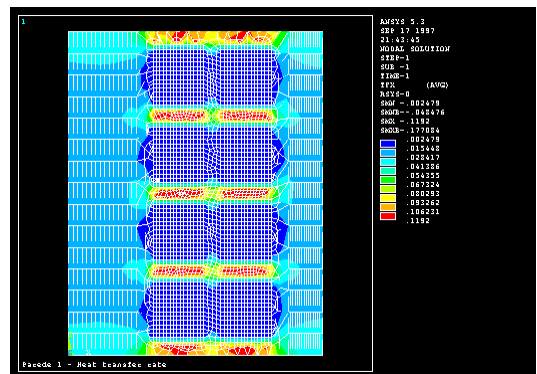


Figura 1c – Distribuição de fluxo de calor na parede.

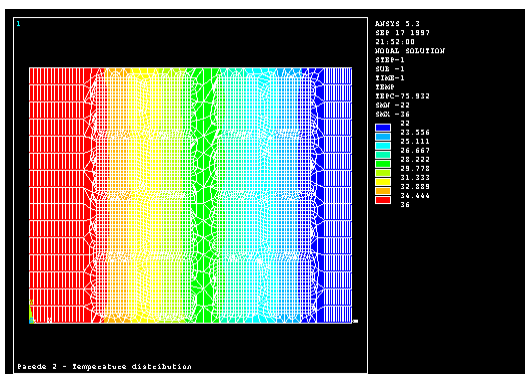


Figura 2b – Distribuição de temperaturas na parede (regime permanente, temperatura externa 36⁰ C, temperatura interna 22⁰ C).

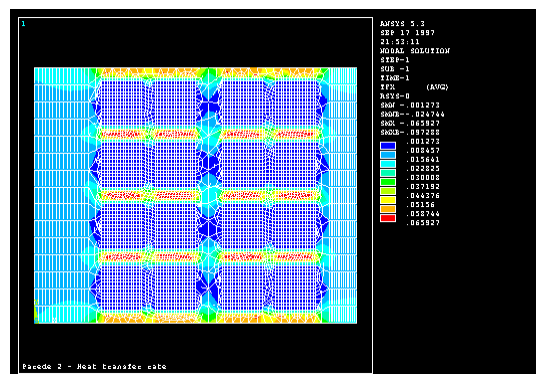


Figura 2c – Distribuição de fluxo de calor na parede.

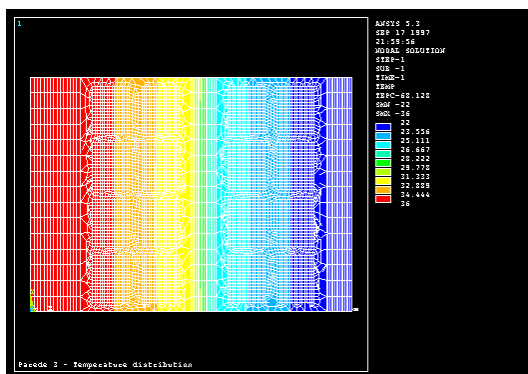


Figura 3b – Distribuição de temperaturas na parede (regime permanente, temperatura externa 36⁰ C, temperatura interna 22⁰ C).

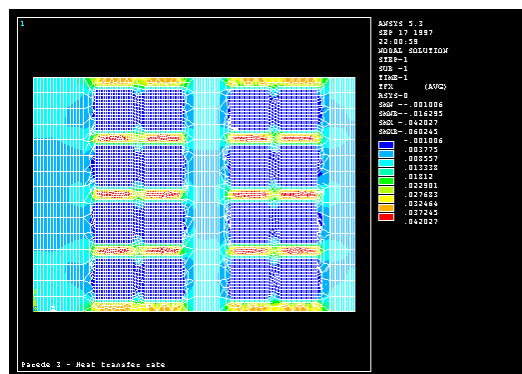


Figura 3c – Distribuição de fluxo de calor na parede.

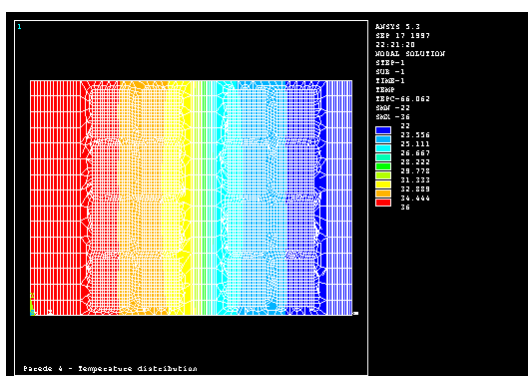


Figura 4b – Distribuição de temperaturas na parede (regime permanente, temperatura externa 36⁰ C, temperatura interna 22⁰ C).

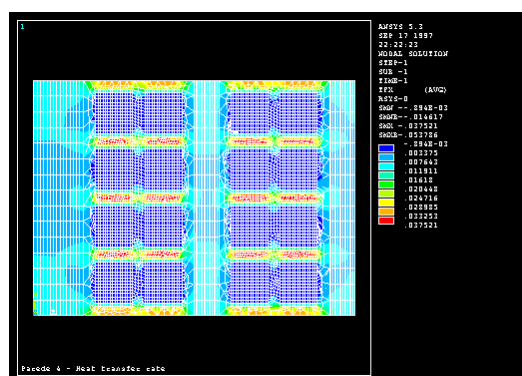


Figura 4c – Distribuição de fluxo de calor na parede.

Os valores calculados para a condutividade térmica equivalente dos quatro tipos de paredes são indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – condutividade térmica equivalente para os quatro tipos de paredes

Parede	Condutividade térmica equivalente λ (W/mK)
Tipo 1	0,33
Tipo 2	0,29
Tipo 3	0,19
Tipo 4	0,17

4. RESULTADOS: SIMULAÇÃO EM MÚLTIPLAS ZONAS

A simulação deu-se tomando como base um modelo de nove zonas, conforme a Tabela 4. Esta tabela especifica as paredes externas conforme descrição acima. Os demais materiais consistiram de concreto nas lajes (tomadas como de 0,30 m, espessura que também contém a massa distribuída das paredes internas) e vidro nas janelas (espessura 0,004 m). As fontes internas de calor foram obtidas conforme estimativa feita tendo em vista hábitos de consumo locais, resumidos conforme a tabela.

Considerou-se em cada zona a taxa de ventilação de 0,05 m³/s. Como critério de convergência, tomou-se um erro não superior a 0,5°C entre a atribuição inicial de temperatura para cada parede ou zona, e seu valor final na mesma hora, depois do número necessário de repetições da marcha de 24h. O exemplo simulado considera o mês de setembro, o mais quente do ano, no dia 15. As taxas internas de geração de calor utilizadas foram conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Taxas de geração interna (espontânea) de calor (W)

	0 a 6h	6 a 12h	12 a 18h	18 a 24h
Zonas de serviço e sociais	530	2220	2713	1481
Zonas íntimas	400	1000	433	3900

O modelo se refere ao 17º andar. Esta caracterização da altura se dá somente com base na sombra produzida pelos pavimentos superiores – não diz respeito à condição adiabática adotada junto às lajes de piso e cobertura, nem aos valores do coeficiente de filme na convecção junto à parede externa, tomados como uniformes. Uma etapa posterior deve necessariamente contemplar o efeito do vento, ou mesmo da convecção natural, nos diferentes andares.

Tabela 4 - influência do tipo de parede externa sobre o consumo energético

Área	1. parede simples, 15cm	2. parede dupla, 24cm	3. parede dupla com EPS, 26cm	4. parede dupla com camada de ar, 26cm	5. Idem vidros duplos, 3cm	6. Idem, c/lâmina externa em vidro de proteção solar (FGS=40%)	Melhoria cumulativa entre 1 e 6 (%)
Comum, circulação	0	0	0	0	0	0	0
Social e serviços, ap. leste	0	0	0	0	0	0	0
Íntima, ap. leste	-87	-78	-70,8	-75	-69	-62,4	28,3
Íntima, ap. norte	-105	-90	-82,2	-78	-76,8	-69,6	33,8
Social e serviços, ap. norte	0	0	0	0	0	0	0
Social e serviços, ap. sul	0	0	0	0	0	0	0
Íntima, ap. sul	-81	-69	-67,8	-66	-64,2	-60,6	25,2
Íntima, ap. oeste	-87	-69	-67,2	-66	-64,8	-60,6	30,4
Social e serviços, ap. oeste	0	0	0	0	0	0	0
média							
Extração de calor	-360	-306	-288	-285	-275	-253	kWh/dia
Energia elétrica (1)	180	153	144	143	137	127	kWh/dia
custos	1188	1010	950	941	907	836	R\$/mês
percentual	100	85	80	79	76	70	

(1) Considerando um fator 2,0 de eficiência do ciclo de refrigeração

5. ANÁLISE

Para manter, em cada um dos quatro apartamentos no andar analisado, a zona correspondente aos quartos na faixa de conforto, convencionada nesta análise entre 17°C e 24°C, a extração de calor necessária variou com o tipo de parede, e também com a orientação do apartamento. Percebe-se que a maior redução de consumo (15%) se dá, ao adotar-se a parede dupla. A etapa posterior como adoção de cavidade corresponde a mais 5%, e o preenchimento com EPS é responsável somente por uma melhoria marginal.

A partir da etapa 2, mais que o aprimoramento das paredes, é mais rentável o aprimoramento das propriedades das janelas. Considerando a possibilidade de se substituir as janelas de vidro simples por janelas de vidro duplo, com duas lâminas de vidro de 5mm de espessura separadas por 2cm, com um coeficiente de condutividade térmica total de 1,6 W/m²°C, o resultado 4 pode ser ainda melhorado, como mostra a tabela. Uma melhoria ainda mais expressiva é obtida ao utilizar-se vidro de proteção solar, que deixe passar somente 40% da energia solar incidente para o interior da edificação.

6. CONCLUSÕES FINAIS

Ficou evidente neste estudo de caso que a climatização de um edifício em região de clima quente é uma atividade energeticamente intensiva e que requer otimização na etapa de projeto.

Em particular, mostrou-se a possibilidade de se economizar 70% da energia de climatização por decisões de pouca importância para o projeto arquitetônico – isto é, não relacionadas à forma previamente estabelecida.

Uma outra observação desta análise é que a simulação do desempenho térmico de uma edificação não constitui tarefa trivial. Apesar da disponibilidade de ferramentas de análise, deve ser de responsabilidade de um profissional habilitado.

No prosseguimento, a pesquisa deve ser conduzida para a implementação de índices de desempenho térmico de acordo com o uso e localidade, orientando o poder público no estabelecimento de incentivos à economia de energia.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SCHMID, A. L., *Sistema Mestre para análise térmica de edifícios em múltiplas zonas. Manual do usuário*. UFPR, Curitiba (2001)
- LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F.O.R. (1997) *Eficiência energética na arquitetura*, PW Editores, São Paulo.