



PIBIC 2003/2004

Formulário para apresentação de Relatório final do bolsista

SIMULAÇÃO TÉRMICA E ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

ALUNO: SAMUEL RIBEIRO GOSCH, Engenharia Civil, 8a fase

ORIENTADOR: ROBERTO LAMBERTS, Centro Tecnológico,
Departamento de Engenharia Civil,
Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)

Florianópolis, 20 de agosto de 2004.

Assinatura do Candidato

Assinatura do Professor Orientador

SUMÁRIO

RESUMO	3
1. INTRODUÇÃO	4
1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.2. OBJETIVOS.....	5
2. METODOLOGIA	6
2.1. SIMULAÇÕES PRELIMINARES – MÉTODO BESTEST.....	6
2.2. SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS - CÉLULAS.....	6
2.3. ESTIMATIVA DOS USOS FINAIS DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS.....	10
3. RESULTADOS FINAIS	12
3.1. SIMULAÇÕES PRELIMINARES – MÉTODO BESTEST.....	12
3.2. SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS - CÉLULAS.....	12
3.2.1. Paredes e cobertura leves.....	12
3.2.2. Paredes e cobertura leves, sem piso.....	13
3.2.3. Paredes leves, sem cobertura.....	14
3.2.4. Paredes leves, sem piso e sem cobertura.....	14
3.2.5. Análise geral.....	15
3.3. ESTIMATIVA DOS USOS FINAIS DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS.....	16
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	19
BIBLIOGRAFIA	20

RESUMO

O projeto em estudo visa aprimorar os conhecimentos em simulações computacionais térmicas e energéticas de edificações no programa EnergyPlus, gerando informações precisas para identificar, através de análise de sensibilidade, as variáveis de maior influência em modelagem de protótipos. Essas variáveis servirão de base para a elaboração de uma interface gráfica para o programa, que já está em desenvolvimento.

Nas simulações computacionais preliminares utilizou-se o método BESTEST, adotado pela ASHRAE como norma para teste e avaliação de programas computacionais para análise energética de edificações, sob o título de ASHRAE Standard 140, onde foi executando o caso 600 (caso base).

As simulações iniciais realizadas a partir do Método BESTEST, apresentaram variações pouco significativas, o que representa que os dados de entrada foram inseridos de maneira coerente no programa de simulação.

Posteriormente, iniciou-se a simulação de células (zonas térmicas), a fim de analisar a transferência de calor através de suas superfícies internas, identificando a influência destas variáveis. Representou-se um caso base, onde a edificação é dividida em 9 ambientes (9 zonas térmicas), e 9 modelos de células isoladas.

As células que representavam os ambientes com maior quantidade de paredes internas resultaram em maiores diferenças entre consumo das células e do caso base, indicando que, dependendo da edificação, a carga térmica total de cada zona sofre influência significativa do fluxo de calor entre zonas adjacentes. De modo geral, para os modelos simulados neste trabalho as células não representaram com precisão o consumo de energia elétrica em condicionamento de ar, obtendo-se diferença de até 49% no consumo anual de energia com condicionamento de ar de uma zona do caso base. Porém, novas análises estão sendo feitas e outros parâmetros do modelo serão testados para se determinar em quais condições o uso de células poderia reduzir o tempo gasto na modelagem de edificações para análise de desempenho térmico e energético.

Este relatório também apresenta uma metodologia para estimar a participação de eletrodomésticos e lâmpadas no consumo de energia elétrica de residências nas principais zonas bioclimáticas brasileiras através de dados médios de consumo fornecidos pelo SINPHA (Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo).

O estudo de usos finais de energia foi direcionado para os principais equipamentos elétricos residenciais, dentre eles: geladeira, freezer, lâmpadas, chuveiro, condicionador de ar, televisão, aparelho de som, ferro de passar roupa, lavadora de roupa e forno microondas. A iluminação foi definida pelos principais ambientes de uma residência: sala, quarto de casal, quarto de solteiro, banheiro, cozinha, área de serviço, garagem e área externa.

A ponderação de consumo de energia entre as concessionárias analisadas permite a estimativa de usos finais de energia em residências por zonas bioclimáticas, onde se demonstram os diferentes índices de consumos de cada equipamento elétrico.

A estimativa de usos finais de energia em residências demonstra os diferentes índices de consumo de cada equipamento elétrico, variando juntamente com os hábitos de consumo da população de cada região. Dessa maneira pode-se estimar os usos finais de energia para cada zona bioclimática brasileira.

Palavras-chave: (eficiência energética, simulação, usos finais de energia).

1. INTRODUÇÃO

Neste relatório são descritas as atividades da bolsa de iniciação científica previstas no plano de trabalho apresentado em abril de 2003, sob o título de: Simulação Térmica e Energética de Edificações. Estas atividades foram desenvolvidas no período de agosto de 2003 a julho de 2004.

O projeto de pesquisa foi realizado no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), visando aprimorar os conhecimentos em simulações computacionais térmicas e energéticas de edificações no programa EnergyPlus, gerando informações precisas para identificar, através de análise de sensibilidade, as variáveis de maior influência em modelagem de protótipos. Essas variáveis serviram de base para a elaboração de uma interface gráfica para o programa, que está em constante desenvolvimento no laboratório.

O relatório também apresenta uma metodologia para estimar os usos finais de eletrodomésticos e lâmpadas nas principais zonas bioclimáticas brasileiras através de dados médios de consumo fornecidos pelo SINPHA (Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo). Foram considerados basicamente dois tipos de moradias: as casas (moradias horizontais) e apartamentos (moradias verticais).

1.1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Efetou-se revisão bibliográfica abrangendo os trabalhos de simulação energética desenvolvidos no LabEEE e em outras instituições, bem como relatórios e artigos técnicos com resultados de simulações a partir do uso do EnergyPlus (CRAWLEY, 2000; LBNL, 2001; LBNL, 2001).

O programa utilizado para as simulações foi o EnergyPlus (versão 1.2.0.029), desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (CRAWLEY et al., 2000). O EnergyPlus foi elaborado a partir da fusão dos códigos do BLAST e DOE-2, porém seu código integra vários outros algoritmos, como WINDOW 5.0, COMIS, TRNSYS e SPARK. A partir da caracterização geométrica da edificação, seus componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso, o programa estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior. Para isso, deve-se utilizar um arquivo climático da região, com dados horários de temperatura, umidade relativa, ventos e radiação solar.

Nos últimos 30 anos, diversas ferramentas computacionais foram desenvolvidas para auxiliar na análise térmica e energética de edificações e seus componentes. O Diretório de Ferramentas de Simulação Energética (Building Energy Tools Directory) do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta mais de 280 programas de simulação desenvolvidos em diversos países (www.eren.energy.gov/buildings/tools_directory).

Apesar dessa quantidade de programas existentes, o emprego de simulação energética nos escritórios de engenharia e arquitetura durante o projeto de edificações mais eficientes ainda é pouco notável. Em um levantamento, realizado por Wilde e Voorden (2004) em 70 projetos de edificações holandesas, identificou-se que cerca de 80% das medidas de eficiência energética são selecionadas com base na intuição ou experiências anteriores, sem a consideração de outras alternativas. A seleção da maioria dos conceitos ou componentes energeticamente eficientes é feita durante a fase conceitual do projeto e que as ferramentas de simulação, quando utilizadas, são adotadas após essa fase, apenas para verificar as expectativas em relação à economia de energia ou otimizar a alternativa selecionada. Entre as principais barreiras para integração da simulação durante o projeto os autores citam: a falta de confiança e clareza nos resultados fornecidos pelos programas; alto grau de experiência exigido para a correta utilização; e custos com simulação, especialmente em relação ao tempo envolvido no processo de modelagem.

Ellis e Mathews (2001) desenvolveram uma ferramenta de simulação simplificada a partir do levantamento dos requisitos básicos para que o programa pudesse ser utilizado em um escritório de projeto. Entre os requisitos para o desenvolvimento do novo programa, os pesquisadores buscaram aumentar a velocidade da simulação e da apresentação dos resultados, encorajando o uso de simulação nas etapas iniciais de projeto. Comparando os resultados do programa com valores de temperatura interna medidos em um prédio de escritórios, com 2.500 m² de área construída, os autores encontraram correlações razoáveis entre os valores de temperatura interna simulados e medidos, com coeficiente de determinação (R²) entre 0,74 e 0,96. Outros pesquisadores também têm procurado diminuir a complexidade das ferramentas de simulação através do desenvolvimento de programas e métodos de análise simplificados (WITTCHEN et al., 1995; KOSONEN e SHEMEIKKA, 1997; DÉQUÉ et al., 2000, WESTPHAL e LAMBERTS, 2004).

Visando-se reduzir a complexidade do processo de simulação de uma edificação, este trabalho apresenta a análise energética de edificações através da simulação de células. Para isso, comparou-se

o consumo de energia elétrica estimado para uma edificação com 9 zonas e o consumo estimado pela simulação de cada uma de suas zonas isoladamente (células).

1.2. OBJETIVOS

Pretende-se dar continuidade ao uso do programa EnergyPlus, apoiando-se a tese de doutorado de Fernando Westphal na análise de incertezas em simulação para refinamento progressivo de modelos através da simulação térmica e energética de protótipos. Com esses resultados, espera-se obter informações para a elaboração de uma interface gráfica para o programa EnergyPlus.

O uso de simulação energética na análise do projeto de edificações é pouco difundido no Brasil, devido, principalmente, à falta de ferramentas acessíveis a arquitetos e engenheiros. Poucas ferramentas são utilizadas para projetos específicos do prédio, como dimensionamento de sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Mesmo assim, os programas existentes são fornecidos por fabricantes de equipamentos e não abrangem toda a capacidade técnica de um programa de simulação horária como o EnergyPlus.

Através de simulações de protótipos pretende-se comparar o consumo de condicionamento de ar estimado de edificações completas e de células isoladas, testando-se a possibilidade de simplificar a análise térmica e energética de edificações, diminuindo a complexidade do modelo e aumentando a velocidade da simulação, sem comprometer a precisão dos resultados. Os modelos térmicos de edificações poderiam ser compostos a partir de células representativas, onde o consumo seria obtido através da multiplicação dos resultados pela quantidade de células similares na edificação.

Em relação ao uso final de energia elétrica em residências, pretende-se fazer uma estimativa a partir dos dados médios de consumo fornecidos pelo SINPHA (Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo), nas principais zonas bioclimáticas brasileiras.

2. METODOLOGIA

2.1. SIMULAÇÕES PRELIMINARES – MÉTODO BESTEST

O método BESTEST, adotado pela ASHRAE como norma para teste e avaliação de programas computacionais para análise energética de edificações, sob o título de ASHRAE Standard 140 (ASHRAE, 2001) foi utilizado para realizar simulações preliminares, executando o caso 600 (caso base).

O caso base corresponde a uma edificação de 6,0m de largura por 8,0m de comprimento, com pé-direito de 2,7m. A fachada sul, com 8,0m de extensão, possui duas janelas de 6,0m² cada, conforme a representação da Figura 1.

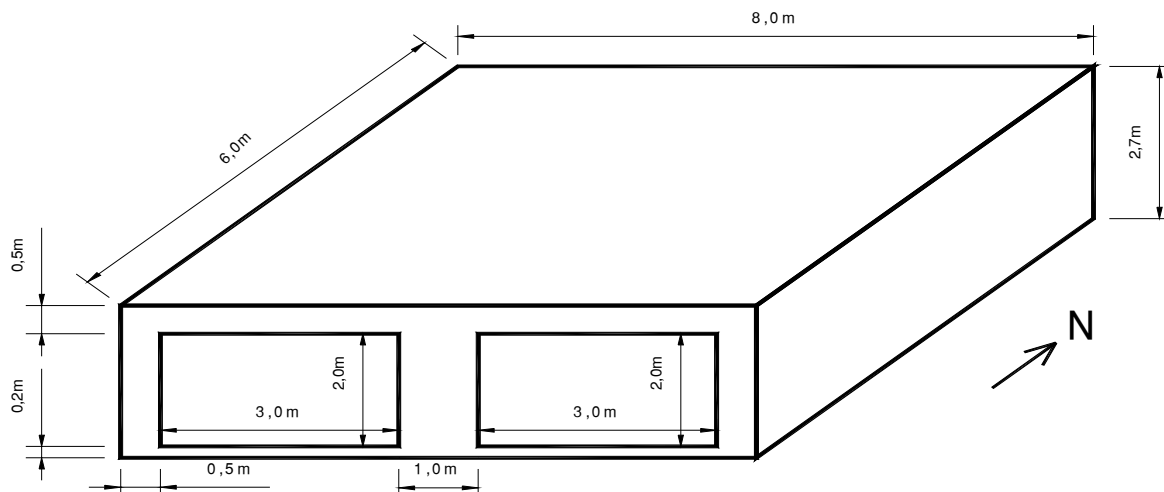


Figura 1 – Representação gráfica do caso base da ASHRAE Standard 140.

O sistema de condicionamento de ar do caso base é representado para fornecer os dados de carga térmica de aquecimento e resfriamento. Considera-se que o equipamento seja 100% eficiente, sem perdas nos dutos de ar e sem limite de capacidade. O sistema de aquecimento é acionado sempre que a temperatura da sala for menor que 20°C e o sistema de resfriamento é acionado se a temperatura da sala for maior que 27°C. A taxa de infiltração é de 0,5 troca de ar por hora (0,018m³/s).

Representando as cargas internas considera-se um ganho de calor sensível de 200 W, durante 24 horas por dia, sendo 60% carga radiante e 40% convectiva. Não há ganho de calor latente.

A análise dos dados de saída para o caso 600, de acordo com a ASHRAE Standard 140, envolveu os valores de:

- carga anual de aquecimento (MWh);
- carga anual de resfriamento (MWh);
- pico de carga de aquecimento (kW), identificando o dia de pico;
- pico de carga de resfriamento (kW), identificando o dia de pico.

2.2. SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS - CÉLULAS

Posteriormente aos testes preliminares realizados com o método BESTEST, iniciou-se a simulação de células (zonas térmicas), a fim de analisar a transferência de calor através de suas superfícies internas, identificando a influência destas variáveis.

A hipótese testada neste trabalho é a possibilidade de representar o comportamento térmico e energético global de uma edificação através da simulação de células isoladas. Um protótipo de edificação foi simulado com arquivo climático da cidade de São Paulo, permitindo a análise do consumo de energia elétrica com resfriamento (verão) e aquecimento (inverno) do ar interno.

O caso base (Figura 2) representa uma edificação de um pavimento, com 9 zonas (células), sendo 8 periféricas e uma interna, central (zona E). Cada zona possui 4 m de largura por 4 m de comprimento, completando uma planta de 12 x 12 metros para a edificação como um todo. A altura do pé-direito foi mantida em 3 m.

Para simulação do caso base considerou-se a troca de calor entre as paredes internas, que são modeladas no EnergyPlus como duas superfícies de mesmas coordenadas, porém em sentidos

contrários, garantindo a conectividade dos objetos, de modo que os mesmos representassem apenas um componente na edificação. A Figura 3 apresenta esquematicamente a parede entre as zonas A e D.

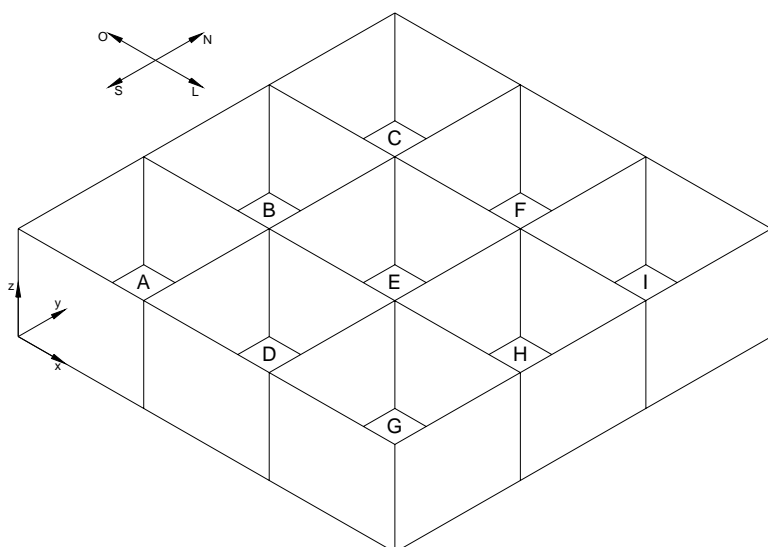


Figura 2 – Zoneamento – Caso base.

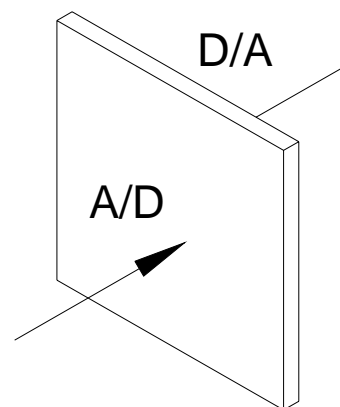


Figura 3 – Superfícies internas conectadas por dois objetos.

Cada zona é atendida individualmente por um sistema de resfriamento de expansão direta e uma resistência elétrica para aquecimento, representando um condicionador de ar de janela ou *split*. A temperatura de controle foi ajustada em 24°C para o resfriamento e 18°C para o aquecimento.

O padrão de uso da edificação, incluindo a operação dos seus sistemas de iluminação e condicionamento de ar, foi definido como o intervalo das 8h às 18h. Considerou-se, apenas para nível de análise, o mesmo padrão de uso em todos os dias do ano, sem diferenciação entre dias úteis, finais de semana e feriados.

Através de simulações prévias, seguindo-se o método BESTEST, adotado pela ASHRAE como norma (ASHRAE Standard 140) para teste e avaliação de programas computacionais para análise energética de edificações (ASHRAE, 2001), pode-se verificar que a temperatura do solo tem grande influência nos cálculos de carga térmica desenvolvidos pelo EnergyPlus. Em virtude dessa influência, no arquivo de entrada do programa há um objeto no qual deve-se inserir a temperatura média mensal do solo. Os dados de temperatura do solo da cidade de São Paulo foram retirados do arquivo climático no formato TMY (Typical Meteorological Year) fornecido na página do EnergyPlus na internet (www.energyplus.gov). A Tabela 1 apresenta os valores de temperatura média mensal do solo considerada em todas as simulações.

Tabela 1 – Temperatura média mensal do solo para a São Paulo – arquivo TMY.

Mês	Temperatura do solo (°C)
Janeiro	21,62
Fevereiro	22,60
Março	22,83
Abril	22,57
Mai	21,18
Junho	19,65
Julho	18,23
Agosto	17,23
Setembro	16,97
Outubro	17,49
Novembro	18,69
Dezembro	20,17

Os modelos (casos) com células isoladas representam um ambiente da edificação de um pavimento, onde a célula possui características semelhantes a uma zona térmica do caso base (dimensões, orientação, materiais, condicionamento de ar), exceto a possibilidade de trocas de calor entre as paredes internas. No EnergyPlus, essa consideração é feita voltando-se a parede para ela mesma. A Figura 4 representa esquematicamente essa condição. Neste caso não há fluxo de calor através da superfície, já que o programa considera o mesmo valor de temperatura superficial em ambas as faces. Porém, o armazenamento de calor no componente continua sendo considerado, através do calor específico, densidade e espessura de cada elemento construtivo.

Como exemplo, a Figura 5 demonstra a célula isolada "A", contendo duas superfícies em contato com células adjacentes (parede A/D e A/B) e quatro superfícies voltadas ao ambiente externo (paredes oeste e sul, piso e cobertura). Os modelos restantes de células isoladas (B, C, D, E, F, G, H e I) seguem as mesmas configurações do modelo A, alterando-se apenas a posição da célula e as superfícies de contato internas.

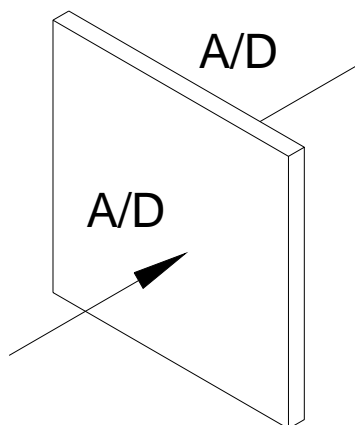


Figura 4 – Superfícies internas conectadas por um objeto.

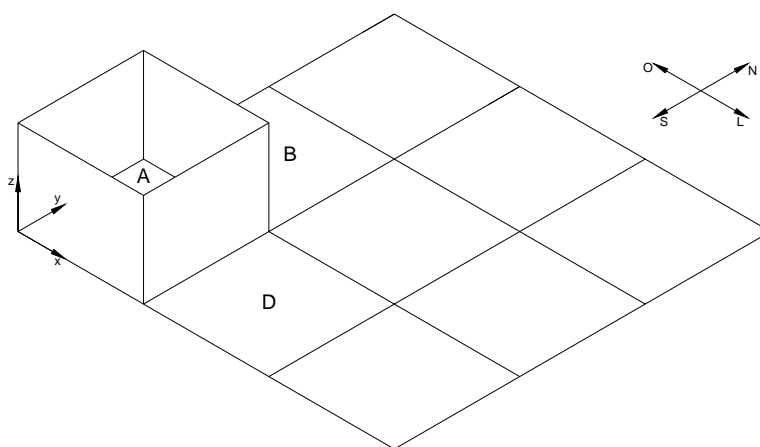


Figura 5 – Célula isolada "A".

Nas simulações paramétricas, foram gerados 576 modelos, considerando-se casos com carga interna e sem carga interna; e casos com paredes leves e paredes pesadas. Outros casos foram simulados sem considerar o fluxo de calor através do piso e da cobertura, procurando-se representar diferentes tipos de pavimentos de uma edificação com vários andares.

As características das superfícies (paredes, cobertura e piso) foram definidas a partir de edificações comuns brasileiras. Para avaliar a influência da inércia térmica no desempenho térmico da edificação e das células, simulou-se componentes construtivos com diferentes capacidades térmicas, mantendo-se a mesma transmitância térmica entre um modelo e outro (segundo o modelo de simulação do método BESTEST). As superfícies com baixa capacidade térmica são apresentadas no texto como sendo "leves" e as superfícies com alta capacidade térmica são tratadas como "pesadas".

Adotou-se paredes leves com transmitância térmica total de $2,28 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e capacidade térmica de $168 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. Para representar as paredes pesadas foi selecionado um componente construtivo com transmitância térmica total de $2,25 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e capacidade térmica de $445 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$.

As coberturas leves selecionadas apresentam transmitância de $1,93 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e capacidade térmica de $106 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$ e as coberturas pesadas apresentam transmitância térmica total de $1,94 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e capacidade térmica de $451 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$.

O mesmo tipo de piso foi adotado para todos os casos, com transmitância térmica de $4,72 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ e capacidade térmica de $355 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$.

As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam as características dos componentes utilizados na construção das superfícies de cada modelo. Os dados de transmitância térmica total apresentados consideram resistência superficial interna de $0,13 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$ para paredes e $0,17 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$ para a cobertura. Como resistência superficial externa considerou-se $0,04 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$ para todas as superfícies, exceto para o piso, que está em contato direto com o solo. Esses valores foram considerados apenas para a apresentação dos dados nas tabelas, a título de comparação. No EnergyPlus, esses dados são calculados durante a simulação a cada passo de tempo, de acordo com as condições de temperatura da superfície e velocidade do ar incidente.

Tabela 2 – Características dos componentes leves.

Parede	Acab. externo	Argamassa de Emboço (2,5 cm)
	Camadas	Ceram Tij 6 fur circ (10 cm)
		Câmara ar fluxo horizontal (2 a 5 cm)
		Ceram Tij 6 fur circ (10 cm)
	Acab. interno	Argamassa de Emboço (2,5 cm)
	U [W/(m ² .K)]	2,28
C _T [kJ/(m ² .K)]	168	
Cobertura	Acab. externo	Telha de fibro-cimento (0,7 cm)
	Camadas	Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm)
		Acab. Interno
	U [W/(m ² .K)]	1,93
	C _T [kJ/(m ² .K)]	106

Tabela 3 – Características dos componentes pesados

Parede	Acab. externo	Argamassa de Emboço (2,5 cm)
	Camadas	Tijolo Maciço (10 cm)
	Acab. interno	Argamassa de Emboço (2,5 cm)
	U [W/(m ² .K)]	2,25
	C _T [kJ/(m ² .K)]	445
Cobertura	Acab. externo	Telha de fibro-cimento (0,7 cm)
	Camadas	Câmara ar fluxo vert alta emis (> 5 cm)
	Acab. interno	Laje de concreto (20 cm)
	U [W/(m ² .K)]	1,94
	C _T [kJ/(m ² .K)]	451

Tabela 4 – Características do piso.

Piso	Acab. Externo (contato c/ solo)	Argamassa de reboco (2,5 cm)
	Camadas	Concreto maciço (10 cm)
		Argamassa de reboco (2,5 cm)
	Acab. interno	Piso cerâmico (10 mm)
	U [W/(m ² .K)]	4,72
	C _T [kJ/(m ² .K)]	355

Tabela 5 – Características das cargas internas por zona.

Tipo	Potência [W]	Potência [W/m ²]	Fração radiante
Ocupação	260 (2 pessoas)	16,25	50%
Iluminação	144	9,00	100%
Equipamentos	190	11,87	50%
Total	594	37,12	-

A partir do caso base, foram derivados outros três modelos, onde seus parâmetros puderam ser variados, representando diferentes tipos de pavimentos em uma edificação:

- sem piso:** desconsiderou-se o fluxo de calor através do piso, procurando-se representar um pavimento de cobertura;
- sem cobertura:** desconsiderou-se o fluxo de calor através da cobertura, procurando-se representar um pavimento térreo;
- sem piso e sem cobertura:** desconsiderou-se o fluxo de calor através do piso e da cobertura, representando um pavimento tipo de uma edificação de 3 ou mais andares.

A hipótese de manter essas superfícies sem fluxo de calor foi adotada tanto para o caso base – com nove zonas térmicas – quanto para as células isoladas.

Todos os modelos foram simulados sem carga interna e com carga interna (37,12 W/m²), permitindo a análise da influência da ocupação, iluminação e equipamentos elétricos no desempenho térmico da edificação. A Tabela 5 apresenta os valores de potência adotados para as cargas internas e a parcela radiante considerada no ganho de calor provocado por cada tipo de carga.

Para verificar se as células representam bem o comportamento térmico e o consumo de energia para cada zona do caso base, comparou-se o consumo com condicionamento de ar para aquecimento e resfriamento de cada célula em relação à zona térmica correspondente. Na análise, considerou-se apenas o consumo de energia elétrica do compressor (resfriamento) ou da resistência elétrica (aquecimento) do sistema de condicionamento de ar, em kWh. O consumo de energia do ventilador não foi considerado na comparação, pois é constante para todos os casos.

2.3. ESTIMATIVA DOS USOS FINAIS DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS

Este trabalho apresenta uma metodologia para estimar os usos finais de eletrodomésticos e lâmpadas nas principais zonas bioclimáticas brasileiras através de dados médios de consumo fornecidos pelo SINPHA (Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo).

O SINPHA foi desenvolvido pelo PROCEL/ELETROBRÁS e pela PUC/RJ, onde segundo SOUZA (1998) foi realizada uma pesquisa por amostragem de uma média de 700 entrevistas por área atendida por concessionária de energia elétrica.

A pesquisa de mercado baseou-se em métodos quantitativos, ou seja, proporções populacionais de interesse através de amostras finitas representativas destas populações, pois através de amostras qualitativas (sem representatividade estatística) não é possível gerar estimativas populacionais, de acordo com SOUZA (1998).

A coleta de dados foi feita em diversas zonas bioclimáticas brasileiras a partir de dezembro de 1996, totalizando 17 concessionárias de energia elétrica, onde constam as médias de consumo diário por equipamento em certas localidades.

Segundo o Projeto 02:135.07-003, o zoneamento bioclimático brasileiro compreende oito diferentes zonas, conforme indica a Figura 6.

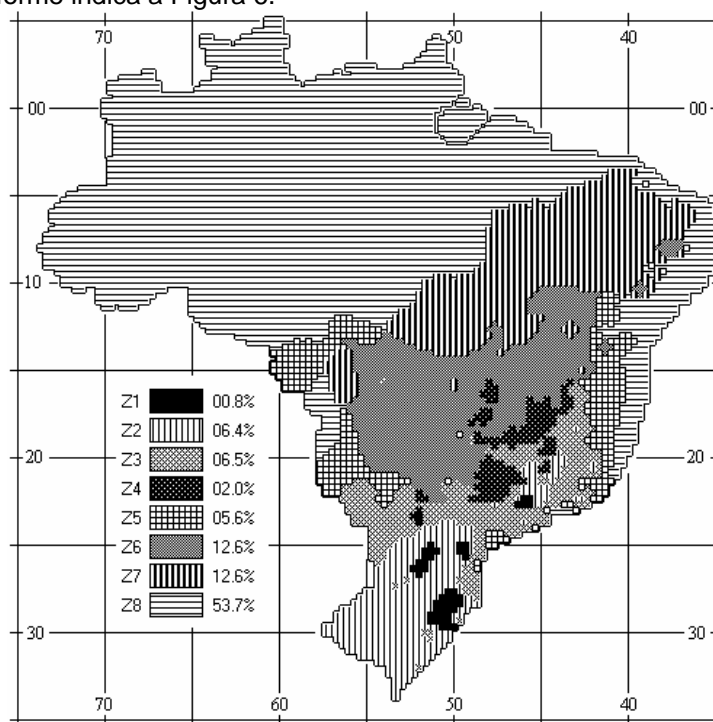


Figura 6 – Zoneamento bioclimático brasileiro.

Foram considerados basicamente dois tipos de moradias: as casas (moradias horizontais) e apartamentos (moradias verticais).

O estudo foi direcionado para os principais equipamentos elétricos residenciais, dentre eles: geladeira, freezer, lâmpadas, chuveiro, condicionador de ar, televisão, aparelho de som, ferro de passar roupa, lavadora de roupa e forno microondas. A iluminação foi definida pelos principais ambientes de uma residência: sala, quarto de casal, quarto de solteiro, banheiro, cozinha, área de serviço, garagem e área externa.

Através do banco de dados de consumo (watt-hora) coletados do SINPHA, pode-se estimar a composição dos usos finais de energia para cada concessionária.

O agrupamento das amostras de mesma zona bioclimática realizou-se através de ponderação dos consumos de energia de cada concessionária.

As principais etapas do procedimento foram:

- Identificar a zona que engloba cada cidade, número de amostras efetivas (excluindo dúvidas e espaços em branco) para cada concessionária;
- Agrupar cidades localizadas na mesma zona e calcular percentual em relação ao número efetivo de amostras;
- Verificar se a concessionária realmente atende as devidas cidades;
- Separar as amostras em inverno/verão por concessionária;

- e. Identificar quais concessionárias tem amostras em cidades de mesma zona;
- f. Calcular a média ponderada de consumo (consumo da concessionária x percentual de amostras presentes em determinada zona bioclimática);
- g. Gerar os usos finais ponderados;
- h. Identificar ponderações de amostras menores que 50 residências.
- i. Gerar os usos finais ponderados (amostras maiores que 50);
- j. Análise final dos resultados.

Os usos finais de eletricidade ponderados foram calculados em cada zona, para inverno e verão através da equação 1.

$$EC_{ap} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

onde:

EC_{ap} é o consumo médio ponderado de eletricidade para cada equipamento (kWh);

C_i é o consumo de eletricidade para cada equipamento (kWh);

S_i é o percentual de cidades em cada zona bioclimática (adimensional);

n é o número de concessionárias de energia contida na zona (adimensional).

O percentual de cada uso final para cada zona bioclimática foi calculado conforme a equação 2.

$$E_{ap} = \frac{EC_i}{\sum_{i=1}^n EC_i} 100 \quad (2)$$

onde:

E_{ap} é o consumo médio ponderado de eletricidade para cada uso final (%);

EC_i é o consumo médio ponderado de eletricidade para cada equipamento (kWh);

n é o número de equipamentos (adimensional).

3. RESULTADOS FINAIS

3.1. SIMULAÇÕES PRELIMINARES – MÉTODO BESTEST

Os resultados foram analisados em planilha eletrônica (tabela 7) e apresentaram pequenas variações em relação a simulações expressas pela ASHRAE Standard 140, indicando que o modelo foi bem representado na ferramenta de simulação.

Tabela 6 – Comparação entre modelo (simulado x bestest).

RESUMO	carga térmica anual		pico de carga no ano	
	heating	cooling	heating	cooling
simulado (MWh)	4,506	6,993	3,843	6,665
BESTEST (MWh)	4,748	6,571	3,883	6,557
variação (%)	5,1%	-6,4%	1,0%	-1,6%

Onde:

- Heating = carga térmica de aquecimento;
- Cooling = carga térmica de resfriamento.

Essas primeiras simulações foram úteis para dominar os conceitos básicos sobre a ferramenta de simulação.

3.2. SIMULAÇÕES PARAMÉTRICAS - CÉLULAS

Serão apresentados resultados detalhados apenas para as simulações dos casos com superfícies de baixa capacidade térmica – paredes e cobertura leves. O comportamento dos modelos com paredes e coberturas de capacidade térmica mais alta seguiu o mesmo padrão dos modelos anteriores. Um resumo de todos os resultados é apresentado ao final do trabalho.

3.2.1. Paredes e cobertura leves

A Figura 7 apresenta a variação de consumo anual com condicionamento de ar – resfriamento e aquecimento – das células em relação ao caso base, com paredes e coberturas leves. A Figura 8 demonstra os mesmos casos, porém com carga interna nos ambientes (valores apresentados na Tabela 5).

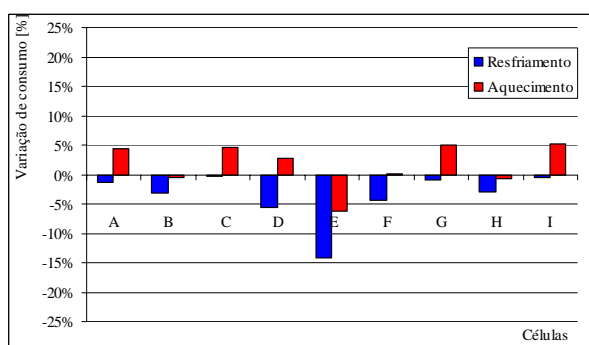


Figura 7 – Variação de consumo entre as células e o caso base, com paredes e coberturas leves.

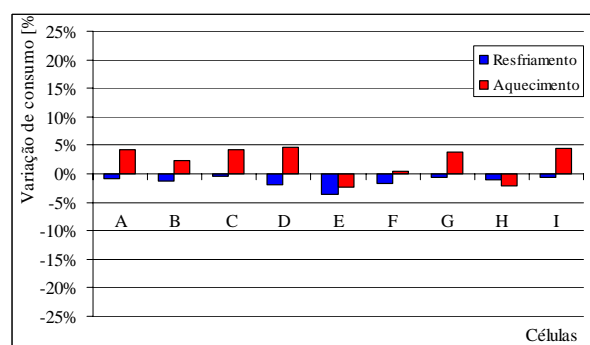


Figura 8 – Variação de consumo entre as células e o caso base, com paredes e coberturas leves e carga interna nas zonas.

Para todas as zonas térmicas, a simulação das células apresentou menor consumo de energia elétrica com resfriamento do que a simulação do caso base, no qual mantém-se o fluxo de calor através das paredes internas. Percebe-se três perfis de variação no consumo (ABC, DEF, GHI), correspondentes à posição das zonas no protótipo – fachada oeste, centro e fachada leste – onde as células B, E e H apresentam as maiores diferenças em cada perfil.

No caso base, os ambientes adjacentes a cada zona também estão sendo condicionados na mesma temperatura da zona analisada e por isso espera-se que o fluxo de calor através das paredes internas seja relativamente baixo. Porém a maior diferença no consumo para a célula central – que não possui paredes externas – indica que as paredes internas estão contribuindo de maneira significativa no ganho de calor proveniente da cobertura e do piso.

No modelo da célula isolada E (central) verificou-se o maior desvio no consumo de energia da célula em relação ao caso base, -14%, pois é a zona delimitada apenas por paredes internas. Para essa zona, enquanto no caso base ocorrem trocas de calor com ambientes adjacentes, na célula isolada ocorre apenas a troca de calor através da cobertura e do piso.

Como era de se esperar, no modelo com alta carga interna as diferenças no consumo com resfriamento diminuíram, confirmando que as células representam melhor os casos com menor influência do envelope na carga térmica total.

As variações de consumo com aquecimento apresentaram valores praticamente constantes para as zonas de canto (ACGI), com duas paredes externas e duas internas, e diferenças mais dispersas para as demais zonas, tanto para o modelo sem carga interna quanto para o modelo com 37,12 W/m² de carga interna em iluminação, equipamentos e ocupação. No modelo sem carga interna, o maior desvio ocorreu na zona E, com uma diferença de -6% no consumo de energia com aquecimento, ou seja, o consumo anual de condicionamento de ar, necessário para garantir a temperatura interna acima de 18°C no período de ocupação foi menor na célula isolada em relação ao caso base. No modelo com alta carga interna a diferença máxima de consumo foi de +5% na célula D.

Percebe-se que as diferenças de consumo com aquecimento permaneceram praticamente iguais nos modelos com e sem carga interna, como demonstram a Figura 7 e 8.

3.2.2. Paredes e cobertura leves, sem piso

Os modelos onde não é permitido o fluxo de calor pelo piso indicam a influência que a cobertura e as paredes exercem no consumo de energia elétrica para o condicionamento de ar das zonas e células. Neste caso, pretende-se representar um pavimento de cobertura, onde o fluxo de calor pelo piso é baixo, considerando-se que o pavimento inferior fosse condicionado a mesma temperatura.

A Figura 9 apresenta a variação de consumo anual para resfriamento e aquecimento das células em relação às zonas térmicas do caso base, com paredes e coberturas leves, sem fluxo de calor através do piso. A Figura 10 demonstra o mesmo modelo da figura anterior, considerando carga interna (iluminação, equipamentos e pessoas) em cada zona.

Analisando as diferenças no consumo dos modelos sem carga interna, observa-se que as células isoladas apresentam menor consumo com resfriamento do que as zonas correspondentes no caso base. Comparando-se os resultados da Figura 9 com os apresentados na Figura 7 (no qual havia fluxo de calor pelo piso em contato com o solo), observa-se que nos modelos sem fluxo de calor pelo piso as diferenças no consumo com resfriamento são menores entre as células e o caso base, mantendo-se os mesmos perfis. No caso da célula E, a diferença do consumo para o caso base diminuiu de -14% no modelo com piso para -9% no modelo sem piso. O mesmo comportamento foi observado para os casos com carga interna instalada. Conclui-se que, para o tipo de modelo simulado, ao eliminar o ganho de calor proveniente do solo, o comportamento térmico das células aproxima-se do caso base.

Para os modelos com carga interna instalada, a diferença entre o consumo de energia elétrica no resfriamento das células e das zonas diminuiu, comprovando a menor influência do envelope nestes casos.

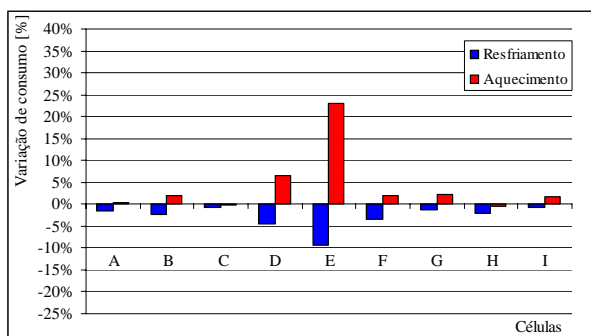


Figura 9 – Variação de consumo entre as células e o caso base, com paredes e coberturas leves, sem piso.

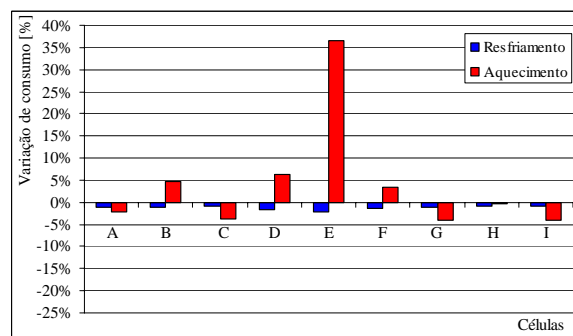


Figura 10 – Variação de consumo entre as células e o caso base, com paredes e coberturas leves, sem piso, e com carga interna.

Nas variações de consumo para aquecimento dos ambientes sem carga interna, obteve-se um desvio máximo de +23% na célula E, indicando que o consumo anual de condicionamento de ar nas células isoladas foi maior que no caso base. Para o modelo com carga interna a célula E apresentou um grande aumento na diferença em relação ao caso base (de 23% para 36%). Comparando os resultados dessas figuras (9 e 10) com os resultados dos modelos com piso, que apresentavam diferenças de -6%,

observa-se que o solo exerce forte influência na carga de aquecimento, ou seja, ao evitar o fluxo de calor através do piso, a necessidade de aquecimento aumenta quando não se permite o fluxo de calor entre as zonas. Mesmo com geração de carga interna, a célula E necessitou de maior carga de aquecimento, provavelmente devido à perda de calor pela cobertura nos meses mais frios. Salienta-se que essa zona é a que possui a maior quantidade de paredes internas.

3.2.3. Paredes leves, sem cobertura

A Figura 11 apresenta a variação de consumo anual para resfriamento e aquecimento das células em relação ao caso base, com paredes leves, sem fluxo de calor através da cobertura. Neste caso, pretende-se representar um pavimento térreo, onde o fluxo de calor pela cobertura é baixo, considerando-se que o pavimento superior fosse condicionado a mesma temperatura. A Figura 12 demonstra o mesmo modelo da figura anterior, mas considerando carga interna (iluminação, equipamentos e pessoas) nas zonas.

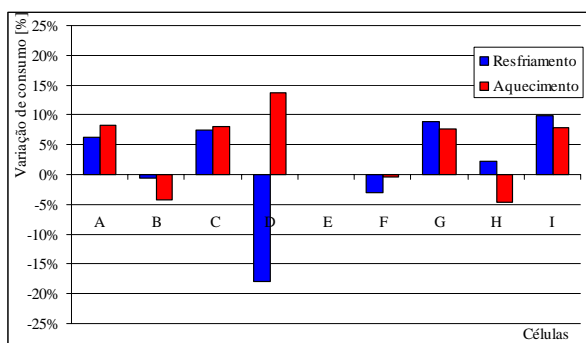


Figura 11 – Variação de consumo entre as células e o caso base, com paredes leves, sem cobertura.

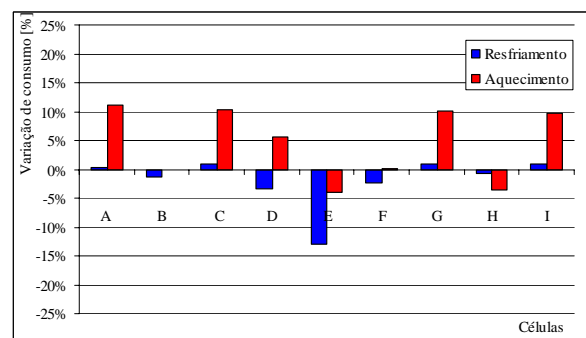


Figura 12 – Variação de consumo entre as células e o caso base, com paredes leves, sem cobertura, com carga interna.

As variações de consumo de energia com resfriamento e aquecimento das zonas no modelo sem carga interna apresentaram mesmo comportamento para as células de canto (ACGI) e dispersos para o restante, onde as diferenças máximas no resfriamento (-18%) e no aquecimento (+14%) ocorreram na célula D. Para o modelo com carga interna o perfil de consumo nas células de canto (ACGI) manteve-se semelhante para aquecimento, porém para resfriamento houve grandes diferenças em relação ao caso sem carga interna, com um valor de máximo de -13% na célula E.

Para o caso sem carga interna, o modelo da célula E não pode ser simulado (tanto para resfriamento quanto para aquecimento), pois o EnergyPlus não realiza o cálculo de carga térmica quando cinco das seis superfícies que compõem o ambiente não permitem o fluxo de calor, impossibilitando a solução do balanço térmico.

Percebe-se que evitando-se o fluxo de calor através da cobertura as diferenças no consumo de energia para se resfriar e aquecer uma célula e uma zona do caso base aumentam, principalmente para as zonas de canto. Esse comportamento indica que no modelo “sem cobertura” o fluxo de calor através das paredes internas é significativo.

3.2.4. Paredes leves, sem piso e sem cobertura

A Figura 11 apresenta a variação de consumo anual para resfriamento e aquecimento das células em relação ao caso base, com paredes leves, sem fluxo de calor através do piso e da cobertura. Neste caso, pretende-se representar um pavimento tipo, onde o fluxo de calor pelo piso e pela cobertura é baixo, considerando-se que o pavimento inferior e superior fossem condicionados a mesma temperatura. A Figura 12 mostra o mesmo modelo da figura anterior, mas considerando carga interna nas zonas.

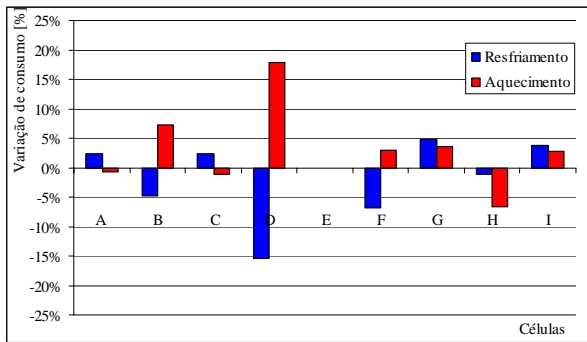


Figura 11 – Variação de consumo entre as células e o caso base com paredes leves, sem piso e sem cobertura.

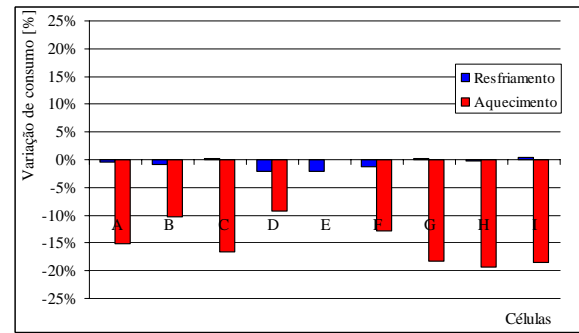


Figura 12 – Variação de consumo entre as células e o caso base com paredes leves, sem piso e sem cobertura, com carga interna.

Para o modelo sem carga interna, percebe-se dois perfis de diferença no consumo (ABC, GHI) para suprir a carga térmica de resfriamento, onde a maior diferença (-16%) ocorre na célula D. Para aquecimento, verificam-se dois perfis de diferença de consumo opostos (ABC, GHI), onde a variação máxima também ocorre na célula D, com valor de +18%.

O modelo da célula E sem carga interna não pode ser simulado (tanto para resfriamento quanto para aquecimento) pois todas as suas superfícies não estavam em contato com o ambiente externo.

No modelo com carga interna percebe-se que as diferenças de consumo de energia elétrica com resfriamento praticamente não existem, porém para aquecimento as variações são significativas. As diferenças entre o consumo com aquecimento das células e do caso base atingiram um máximo de -19% para a zona H, indicando que o fluxo através das paredes internas dos modelos exerce forte influência na carga térmica de cada zona; e que para este caso as células não representam bem o consumo de condicionamento de ar do caso base.

3.2.5. Análise geral

A Tabela 8 apresenta um resumo das variações máximas de cada modelo simulado, incluindo os casos com paredes pesadas, que não foram apresentados em detalhe neste texto. Salienta-se que todas as análises apresentadas referem-se a simulações com o arquivo climático da cidade de São Paulo (temperatura máxima de 35,0°C, mínima de 8,0°C e média de 19,9°C).

As células com paredes pesadas apresentaram maior diferença no consumo em relação ao caso base do que as células com envelope de menor capacidade térmica (leve), indicando que nesses casos a influência do fluxo de calor entre zonas é geralmente mais significativa na composição da carga térmica total de cada zona.

Em relação ao consumo de energia com resfriamento, os modelos com carga interna (equipamentos, iluminação e pessoas) apresentaram menores variações de consumo, comprovando que o envelope tem maior influência no consumo quando a carga interna é baixa ou nula. Em relação às cargas de aquecimento, os modelos apresentaram diferenças significativas, o que dificulta a estimativa do consumo através das células.

Os resultados mais críticos entre as simulações de um ambiente isolado em relação a uma edificação inteira ocorrem nos modelos com maior inércia térmica, com variações absolutas de 21% para resfriamento e 49% para aquecimento. Para edificações com componentes de menor inércia térmica, tem-se os máximos de 18% para resfriamento e 36% para aquecimento.

De modo geral, para os modelos simulados neste trabalho pode-se afirmar que as células não representam com precisão o consumo de energia elétrica em condicionamento de ar. Porém, novas análises estão sendo feitas e outros parâmetros do modelo estão sendo variados para se determinar em quais condições o uso de células poderia reduzir o tempo gasto na modelagem de edificações para análise de desempenho térmico, mantendo a precisão nos resultados.

Tabela 7 – Diferenças máximas no consumo anual de energia elétrica em condicionamento de ar das células e zonas do caso base.

Comparação de diferença de consumo anual [kW]		Resfriamento						Aquecimento					
		Leve			Pesado			Leve			Pesado		
		Célula	kW	%	Célula	kW	%	Célula	kW	%	Célula	kW	%
Sem Carga interna	caso base	E	-22,8	-14%	E	-34,4	-21%	E	-0,7	-6%	E	-1,1	-10%
	sem piso	E	-36,2	-9%	E	-53,7	-14%	E	6,2	23%	E	7,8	30%
	sem cobertura	D	-3,8	-18%	D	-7,4	-18%	D	1,5	14%	D	1,7	14%
	pvto tipo	D	-18,3	-15%	D	-25,7	-16%	D	4,5	18%	D	5,4	20%
Com Carga interna	caso base	E	-27,5	-4%	E	-40,9	-5%	D	0,2	5%	I	0,3	7%
	sem piso	E	-26,3	-2%	E	-36,9	-3%	E	5,3	36%	E	6,8	49%
	sem cobertura	E	-55,2	-13%	E	-83,6	-18%	A	0,4	11%	C	-0,2	-12%
	pvto tipo	E	-17,0	-2%	E	-44,1	-5%	H	-2,2	-19%	H	-1,9	-18%
		máx	-2%			-3%			36%			49%	
		mín	-18%			-21%			-19%			-18%	
		méd	-10%			-13%			10%			10%	

3.3. ESTIMATIVA DOS USOS FINAIS DE ENERGIA EM RESIDÊNCIAS

A estimativa de consumo de eletricidade entre as concessionárias, através do Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (SINPHA) permite demonstrar estudos parciais dos usos finais de energia para diversas zonas bioclimáticas brasileiras.

A Tabela 6 demonstra um resumo dos resultados do agrupamento de cidades localizadas na mesma zona bioclimática e cálculos percentuais em relação ao número efetivo de amostras.

Tabela 8 - Número e percentual de cidades em cada zona bioclimática.

Estação	Concessionária de Energia	Número de cidades em cada zona Zonas bioclimáticas								Percentual de cidades em cada zona Zonas bioclimáticas							
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
Inverno	A	0	0	0	560	0	47	0	0	0	0	0	92	0	8	0	0
	B	0	0	0	0	0	0	0	450	0	0	0	0	0	0	0	100
	C	0	0	0	18	0	436	18	0	0	0	0	4	0	92	4	0
	D	0	0	396	144	36	108	0	0	0	0	58	21	5	16	0	0
	E	0	0	0	0	0	0	337	459	0	0	0	0	0	0	42	58
	F	0	24	281	265	24	94	0	24	0	3	39	37	3	13	0	3
	G	0	15	745	0	31	0	0	0	0	2	94	0	4	0	0	0
	H	0	0	0	0	163	0	0	901	0	0	0	0	15	0	0	85
	I	0	0	0	0	0	23	128	446	0	0	0	0	0	4	21	75
	Total	0	39	1422	987	254	708	483	2280	0	1	23	16	4	11	8	37
Verão	J	0	0	0	0	0	0	0	1139	0	0	0	0	0	0	0	100
	K	0	0	0	0	0	37	38	802	0	0	0	0	0	4	4	91
	L	0	120	378	60	80	100	0	69	0	15	47	7	10	12	0	9
	M	0	24	237	0	312	0	0	24	0	4	40	0	52	0	0	4
	N	0	0	0	0	42	56	42	462	0	0	0	0	7	9	7	77
	O	787	402	709	46	0	0	0	0	40	21	36	2	0	0	0	0
	G	0	0	194	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
	P	0	0	270	0	33	656	0	16	0	0	28	0	3	67	0	2
	Q	0	0	221	0	378	0	0	1556	0	0	10	0	18	0	0	72
	Q	0	0	67	0	209	0	0	923	0	0	6	0	17	0	0	77
Total	787	546	2076	106	1054	849	80	4991	8	5	20	1	10	8	1	48	

A Tabela 9 apresenta um resumo dos usos finais ponderados para as zonas climáticas em estudo, com entrevistas realizadas no período de inverno.

A média ponderada dos consumos de energia elétrica das

As concessionárias contidas na mesma zona bioclimática, porém em localidades distantes, e onde a população possui hábitos de uso de equipamentos diferentes, foram separadas em dois ou mais grupos.

Tabela 9 – Usos finais médios de equipamentos elétricos por zonas bioclimáticas no inverno.

Equipamentos \ Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8			
Geladeira	-	32%	30%	32%	31%	31%	42%	31%	40%	41%	31%
Freezer	-	8%	8%	10%	9%	9%	7%	8%	7%	6%	10%
Lâmpadas	-	12%	11%	11%	11%	12%	17%	13%	19%	18%	11%
Chuveiro	-	26%	26%	28%	26%	26%	4%	26%	3%	5%	26%
Condicionador de Ar	-	0%	1%	1%	2%	2%	7%	3%	7%	6%	2%
Televisão	-	6%	6%	7%	5%	6%	8%	5%	10%	10%	5%
Aparelho de Som	-	6%	5%	9%	3%	10%	11%	11%	11%	10%	1%
Ferro	-	4%	5%	3%	5%	3%	4%	3%	4%	3%	5%
Lava Roupa	-	4%	5%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	7%
Microondas	-	2%	2%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	2%
Consumo diário [kWh]	-	8,54	8,91	9,42	8,51	8,65	5,94	8,60	4,92	4,92	8,33
Nº de Amostras	-	39	1422	987	574	685	23	18	465	1355	925

A Tabela 10 apresenta um resumo dos usos finais ponderados para as zonas climáticas em estudo, com entrevistas realizadas no período de verão.

Tabela 10 – Usos finais médios de equipamentos elétricos por zonas bioclimáticas no verão.

Equipamentos \ Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8						
Geladeira	33%	33%	36%	33%	34%	33%	33%	31%	40%	40%	36%	33%	36%	30%
Freezer	11%	9%	8%	9%	8%	7%	8%	9%	10%	5%	5%	9%	8%	9%
Lâmpadas	13%	12%	8%	11%	8%	11%	11%	8%	12%	15%	15%	13%	10%	12%
Chuveiro	29%	29%	14%	28%	14%	29%	22%	14%	21%	6%	6%	11%	11%	13%
Condicionador de Ar	2%	2%	12%	2%	17%	2%	4%	19%	5%	19%	19%	6%	27%	5%
Televisão	7%	7%	5%	7%	5%	7%	7%	5%	6%	9%	9%	7%	6%	7%
Aparelho de Som	4%	5%	12%	5%	9%	6%	9%	8%	7%	4%	4%	14%	2%	13%
Ferro	1%	2%	3%	3%	3%	3%	4%	3%	4%	1%	1%	4%	2%	4%
Lava Roupa	0%	1%	1%	2%	1%	1%	2%	1%	4%	0%	0%	1%	1%	1%
Microondas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Consumo diário [kWh]	7,78	7,55	7,76	7,74	8,38	7,36	7,25	8,57	8,01	5,62	5,62	6,81	7,86	6,88
Nº de Amostras	787	522	24	1551	524	106	155	897	812	37	38	42	1941	547

Como exemplo, para efeito de comparações, optou-se por apresentar dois gráficos de usos finais para zona bioclimática 1 (clima frio) e para zona bioclimática 8 (clima quente) no período do verão.

As figuras 13 e 14 apresentam os usos finais de energia para zona bioclimática 1 e 8, respectivamente.

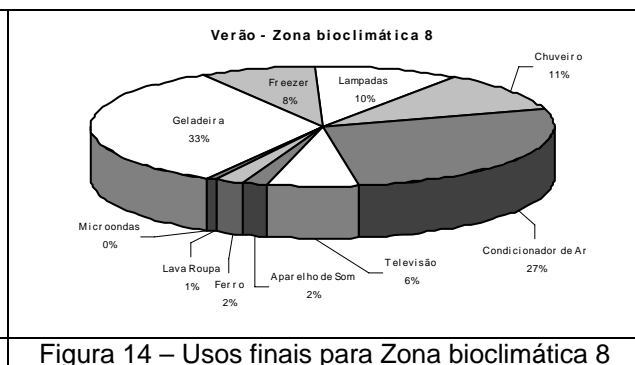
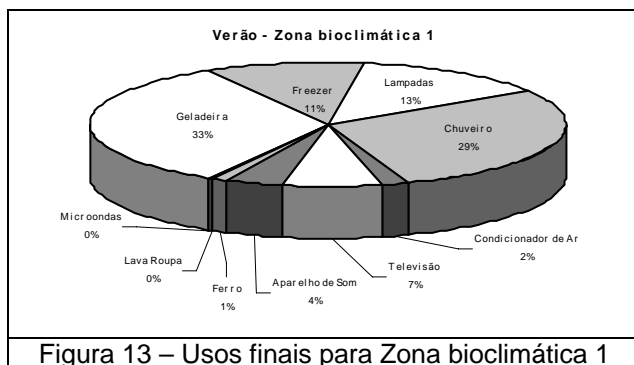


Figura 13 – Usos finais para Zona bioclimática 1

Figura 14 – Usos finais para Zona bioclimática 8

A estimativa de usos finais de energia em residências demonstra os diferentes índices de consumo de cada equipamento elétrico.

Pode-se observar que o ar condicionado na Zona bioclimática 1 (região de clima frio) é utilizado com menor frequência que na Zona bioclimática 8, região onde as temperaturas são mais elevadas. O chuveiro elétrico demonstra comportamento inverso, na Zona bioclimática 1 é utilizado com maior frequência do que na Zona bioclimática 8.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As simulações preliminares realizadas a partir do Método Bestest, apresentaram variações de até 6,4%, o que pode ser considerado pouco significativo, em relação a simulações expressas pela ASHRAE Standard 140, o que representa que os dados de entrada foram inseridos de maneira coerente, tornando a simulação do modelo válida.

Este trabalho apresentou uma comparação entre o consumo de energia elétrica no condicionamento de ar de células isoladas e zonas térmicas específicas de um modelo de edificação. As simulações foram desenvolvidas no programa EnergyPlus, com arquivo climático da cidade de São Paulo, permitindo análise do consumo de energia com aquecimento e resfriamento. Através deste estudo pretendia-se testar a possibilidade de se desenvolver a análise energética de uma edificação através da simulação de células isoladas, que representassem suas zonas térmicas. Desse modo, o tempo gasto com a modelagem da edificação poderia ser reduzido à medida que apenas algumas células seriam modeladas e o consumo poderia ser obtido pela multiplicação dos resultados pela quantidade de células similares na edificação.

Testou-se a influência da capacidade térmica de paredes e coberturas no comportamento das células, além da representação das condições de um pavimento de cobertura, térreo e tipo, procurando-se avaliar a utilização de células na simulação de uma edificação com vários andares.

A comparação entre o consumo de energia com condicionamento de ar das células e das zonas do caso base, que permitia o fluxo de calor através das paredes internas, mostrou diferenças significativas tanto para os modelos com baixa capacidade térmica quanto para os modelos com paredes e cobertura de capacidade térmica mais alta, onde obteve-se diferenças de até 49%. Para os casos com carga interna instalada as diferenças foram menores comprovando que a influência do envelope nestes casos é mais baixa.

As células que representavam as zonas com maior quantidade de paredes internas foram as que apresentaram maior dispersão nas diferenças entre consumo das células e do caso base, indicando que há uma influência significativa do fluxo de calor entre zonas na composição de carga térmica total de cada zona. Verificou-se que as células centrais, embora não tenham paredes externas, sofrem influência significativa das células adjacentes, piso e cobertura, dependendo muito do modelo simulado.

De modo geral, para os modelos simulados neste trabalho as células não representaram com precisão o consumo de energia elétrica em condicionamento de ar. Porém, novas análises estão sendo feitas e outros parâmetros do modelo serão testados para se determinar em quais condições o uso de células poderia reduzir o tempo gasto na modelagem de edificações para análise de desempenho térmico e energético.

Estudos referentes às simulações paramétricas executadas permitiram a análise de algumas das principais variáveis necessárias para simulação de um modelo no programa EnergyPlus. Estas variáveis estão sendo continuamente implementadas na interface gráfica, para facilitar posteriores simulações computacionais.

A estimativa de usos finais de energia em residências demonstra os diferentes índices de consumo de cada equipamento elétrico, variando juntamente com os hábitos de cada região. Dessa maneira pode-se estimar os usos finais para cada zona bioclimática brasileira, gerando uma ordem de grandeza de valores médios de consumo para estudos destinados ao desenvolvimento de alternativas para eficiência energética brasileira.

BIBLIOGRAFIA

- AL-HOMOUD, M. S. 2001. Computer-aided building energy analysis techniques. *Building and Environment* 36 (2001) 421-433.
- ASHRAE. 2001a. ANSI/ASHRAE Standard 140-2001: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. American Society of Heating, Refrigeratin and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, Atlanta: 2001.
- ASHRAE. 2001b. ASHRAE Handbook – Fundamentals. American Society of Heating, Refrigeratin and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, Atlanta: 2001.
- BUILDING SIMULATION 2001. Seventh International IBPSA Conference. Proceedings. IBPSA Brazil: 13-15 August 2001, Rio de Janeiro, Brazil. CD-Rom.
- BUILDING SIMULATION 85-89-91-93-95. Proceedings of International IBPSA Conferences Before Prague 1997. IBPSA Brazil. CD-Rom.
- CRAWLEY, D. B. et al. 2000. EnergyPlus: Energy Simulation Program. *ASHRAE Journal* 42, p. 49-56.
- DÉQUÉ, F.; OLLIVIER, F.; POBLADOR, A. Grey boxes used to represent buildings with a minimum number of geometric and thermal parameters. *Energy and Buildings*. [S.l]: Elsevier, 2000. v. 31, p. 29-35.
- ELLIS, M. W.; MATHEWS, E. H. A new simplified thermal design tool for architects. *Building and Environment*. 2001, v. 36, p. 1009-1021.
- JENSEN, S. O. 1995. Validation of building energy validation program: a methodology. *Energy and Buildings*, vol. 22, p 133-144.
- JUDKOFF, R.; NEYMARK, J. 1998. The BESTEST Method for Evaluating and Diagnosing Building Energy Software. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings 1998. Vol.5, p. 175-190.
- KOSONEN, R.; SHEMEIKKA, J. The use of a simple simulation tool for energy analysis. In: BUILDING SIMULATION, 5th, 1997, Prague. Proceedings... Prague – Czech Republic: IBPSA, 1997. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.ibpsa.org>>
- LAMBERTS, R.; THOMÉ, M. R. V.; LOMARDO, L.; MASCARENHAS, A. C., 1998, “Retrofit Demonstration in Brazilian Commercial and Public Buildings”. In: 1998 ACEEE Summer Study On Energy Efficiency In Buildings.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY - LBNL. 2001a. EnergyPlus Engineering Document: The Reference to EnergyPlus Calculations. April 4, 2001. 137 p.
- LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY - LBNL. 2001b. EnergyPlus Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. April 4, 2001.137 p.
- MME (2001). Balanço Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia. Governo Federal. Brasília, DF.
- NEYMARK, J.; JUDKOFF, R. 2002. International Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST) Volume 1: Cases E100-E200. International Energy Agency and National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-550-30152. September, 2002, Golden, Colorado.
- PEDERSEN, C. O.; FISHER, D. E.; LIESEN, R. J.; STRAND, R.K.; TAYLOR, R. D.; BUHL, W. F.; WINKELMANN, F. C.; LAWRIE, L. K.; CRAWLEY, D. B. (1997). EnergyPlus: The Merger of BLAST and DOE-2. in: Proceedings of Building Simulation '97, Fifth International IBPSA Conference, September 8-10, 1997, Prague, Czech Republic.
- PEDERSEN, C. O.; FISHER, D. E.; SPITLER, J. D.; LIESEN, R. J. 1998. Cooling and Heating Load Calculation Principles. American Society of Heating, Refrigeratin and Air-Conditioning Engineers, Inc. USA, 1998. 248 p.
- PEDRINI, A. (1997). Desenvolvimento de uma metodologia para calibração do programa DOE-2.1E. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, junho/1997.
- PEDRINI, A.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. 2002. A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates, *Building and Environment*, Volume 37, Issues 8-9, August-September 2002, Pages 903-912

SIGNOR, R. (1999) Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, abril/1999. 122p

TIANZHEN HONG et al. (2000). Building simulation: an overview of developments and information sources. Building and Environment, vol. 35, p. 347-361. LEE, A. S. (2000). Auditoria e simulação energética de edificações. Relatório Final – Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto/2000. 24p.

WESTPHAL, F. S. 1999. Estudo de melhoria na eficiência energética de um edifício comercial: auditoria, simulação energética e análise econômica. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, dezembro/1999.

WESTPHAL F. S. 2002. Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 26 de junho de 2002.

WITTCHEN, K. B.; JENSEN, S. O.; THOMSEN, K. E. Automatic generation of complex simulation models of buildings with solar heating systems. In: BUILDING SIMULATION, 4, 1995, Madison. Proceedings... Madison – United States: IBPSA, 1995. p. 403-409. Disponível em: <<http://www.ibpsa.org>>

WINKELMANN, F. C. et al., 1993. DOE-2 Supplement Version 2.1E. Lawrence Berkeley Laboratory, USA, California. LBL-34947.