

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Análise da influência da transmitância térmica no
consumo de energia de edificações comerciais**

ANA PAULA MELO

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, *Ph.D.*

Dissertação submetida ao curso de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil

Florianópolis

2007

Análise da influência da transmitância térmica no consumo de energia de edificações comerciais

ANA PAULA MELO

Esta dissertação foi julgada para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. – Orientador
ECV/UFSC

Prof. Glicério Trichês
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D. - Moderador
ECV/UFSC

Prof. Enedir Ghisi, Ph.D.- Membro
ECV/UFSC

Prof. Nathan Mendes, Dr – Membro
EMC/PUCPR

Profª. Solange Goulart, Ph.D. – Membro
ECV/UFSC

“Algo é só impossível até
que alguém duvide e acabe
provando o contrário”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Leila e Cláudio, e ao meu irmão Tiago, pelo amor e amizade e por terem sempre me compreendido.

Ao professor e orientador Roberto Lamberts, pela confiança e generosidade em dividir o conhecimento.

Aos amigos e amigas do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE, pela amizade e incentivo em todos os dias de trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

À amiga Fernanda Scheer pela verdadeira amizade que suporta qualquer distância.

Ao Caio Schmitt, pelo apoio e pela felicidade que proporciona em minha vida.

Aos meus amigos e sócios, Michele Matos e Fernando Westphal, pela amizade e incentivo e por compartilhar comigo os sucessos e as decepções do dia a dia.

Aos professores Enedir Ghisi, Nathan Mendes e Solange Goulart por aceitarem o convite para participarem da banca de avaliação deste trabalho.

Aos meus amigos, Cecília, Rodrigo e Denis por estarem sempre ao meu lado compartilhando bons momentos.

À Marina V. Santana, pelo carinho e dedicação na elaboração da capa da minha dissertação.

A todos que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Justificativas	2
1.2	Objetivos	3
1.3	Objetivos específicos	3
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Introdução	6
2.2	Desempenho térmico de edificações	6
2.3	Normas de eficiência energética	11
2.4	Programas de simulação computacional	14
2.5	O isolante térmico	18
2.6	Considerações finais deste capítulo	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	Introdução	28
3.2	Ferramenta utilizada	28
3.3	Definição das tipologias	28
3.4	Parâmetros analisados e seus valores adotados	30
3.5	Balço térmico	38
4	RESULTADOS	40
4.1	Resultados	41
4.2	Tipologia 1	41
4.2.1	<i>Padrão de uso</i>	41
4.2.2	<i>Fator Solar</i>	42
4.2.3	<i>Percentual de área de janela nas fachadas</i>	44
4.2.4	<i>Absortância superficial das paredes</i>	46
4.2.5	<i>Carga interna instalada</i>	48
4.2.6	<i>Coefficiente de performance</i>	49

4.2.7 Inércia térmica.....	51
4.2.8 Sumarização dos resultados – Tipologia 1	54
4.3 Tipologia 2.....	56
4.3.1 Padrão de uso.....	56
4.3.2 Fator solar.....	58
4.3.3 Percentual de área de janela nas fachadas.....	60
4.3.4 Absortância superficial da cobertura.....	62
4.3.5 Carga interna instalada.....	63
4.3.6 Coeficiente de performance.....	65
4.3.7 Sumarização dos resultados – Tipologia 2	66
4.4 Balanço térmico	68
4.4.1 Padrão de uso.....	70
4.4.2 Percentual de área de janela nas fachadas.....	73
4.4.3 Absortância superficial da cobertura.....	76
4.4.4 Carga interna instalada.....	80
5 CONCLUSÕES.....	83
5.1 Conclusões gerais	84
5.2 Recomendações para trabalhos futuros	86
Referências Bibliográficas.....	88

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

3 METODOLOGIA

Figura 1. Representação da tipologia 1 em 3D.....	29
Figura 2. Representação da tipologia 2 em 3D.....	30
Figura 3. Padrão de uso adotado para pessoas e equipamentos.....	34

4 RESULTADOS

Figura 4. Novos layouts de paredes.	37
Figura 5. Consumo anual baseado no padrão de uso de 8h.....	41
Figura 6. Consumo anual baseado no padrão de uso de 12h.....	42
Figura 7. Consumo anual baseado no WWR de 20%.	44
Figura 8. Consumo anual baseado no WWR de 50%.	45
Figura 9. Consumo anual baseado na absorvância de 0,2.....	47
Figura 10. Consumo anual baseado na absorvância de 0,9.	47
Figura 11. Consumo anual baseado na carga interna instalada de 30W/m ²	48
Figura 12. Consumo anual baseado na carga interna instalada de 70W/m ²	49
Figura 13. Consumo anual baseado no coeficiente de performance.	50
Figura 14. Influência da inércia térmica em relação à absorvância solar.	52
Figura 15. Influência da inércia térmica em relação ao padrão de uso.	53
Figura 16. Consumo anual baseado no padrão de uso de 8h.....	57
Figura 17. Consumo anual baseado no padrão de uso de 12h.....	58
Figura 18. Consumo anual baseado na absorvância de 0,2.	62
Figura 19. Consumo anual baseado na absorvância de 0,9.....	63
Figura 20. Consumo baseado no coeficiente de performance.	65
Figura 21. Realização do balanço térmico na tipologia 1.	69
Figura 22. Balanço térmico de casos com padrão de uso de 12h – 3º pvto	71
Figura 23. Balanço térmico de casos com padrão de uso de 12h – Tipologia 2.	73
Figura 24. Balanço térmico de casos com WWR de 50% - 3º pvto da Tipologia 1.	75

Figura 25. Balanço térmico de casos com WWR de 50% - Tipologia 2.....	76
Figura 26. Balanço térmico de casos com alto valor de absorvância solar – 3º pvto da Tipologia 1.	78
Figura 27. Balanço térmico de casos com alto valor de absorvância solar – Tipologia 2.	79
Figura 28. Balanço térmico dos casos com alta densidade de carga interna instalada – 3º pvto da Tipologia 1.....	81
Figura 29. Balanço térmico dos casos com alta densidade de carga interna instalada – Tipologia 2.....	82

LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Condutividade térmica dos materiais.	19
-----------------------------------------------------	----

3 METODOLOGIA

Tabela 2. Dados de entrada e seus respectivos valores adotados para as simulações.	32
Tabela 3. Graus-hora e graus-dia das cidades adotadas.	33
Tabela 4. Limites da transmitância térmica adotados pela <i>ASHRAE Standard 90.1</i>	34
Tabela 5. Valores de densidade de carga interna instalada.	35
Tabela 6. Transmitância e capacidade térmica das paredes e coberturas adotadas.	37
Tabela 7. Valores de capacidade térmica das paredes adotadas.	38

4 RESULTADOS

Tabela 8. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,87.	43
Tabela 9. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,58.	44
Tabela 10. Consumo anual baseado no WWR de 80%.	46
Tabela 11. Sumarização dos resultados – Tipologia 1.	54
Tabela 12. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,87.	59
Tabela 13. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,58.	59
Tabela 14. Consumo anual baseado no WWR de 20%.	60
Tabela 15. Consumo anual baseado no WWR de 50%.	61
Tabela 16. Consumo anual baseado no WWR de 80%.	61
Tabela 17. Consumo anual baseado na carga interna instalada de 30W/m ²	64
Tabela 18. Consumo anual baseado na carga interna de 70W/m ²	64
Tabela 19. Sumarização dos resultados – Tipologia 2.	66

***LISTA DE ABREVIATURAS,
SIGLAS E TERMOS***

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E TERMOS

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.</i>
<i>Absort.</i>	<i>Absortância à radiação solar</i>
C	Capacidade térmica (J/K).
COP	Coefficiente de performance ($W_{\text{térmico}}/W_{\text{elétrico}}$)
CRT	Cidade de Curitiba
FLN	Cidade de Florianópolis
FS	Fator Solar
ILD	Densidade de carga interna instalada (W/m^2)
PU	Padrão de uso (horas).
R	Resistência térmica ($m^2.K/W$).
SL	Cidade de São Luís
U	Transmitância térmica ($W/m^2.K$).
U_p	Transmitância térmica das paredes ($W/m^2.K$).
U_c	Transmitância térmica da cobertura ($W/m^2.K$).
WWR	Relação de área de janela na fachada (%).

RESUMO

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise do desempenho energético de edificações comerciais com base na influência da transmitância e da capacidade térmica das paredes externas e coberturas de edificações comerciais. A análise foi realizada através de simulação computacional, utilizando o programa *EnergyPlus*. Foram simulados casos com diferentes condições de carga interna, absorvância solar externa, padrão de uso, razão de área de janelas nas fachadas, entre outros parâmetros; sempre analisando a influência destes em relação ao consumo anual de energia elétrica das edificações. Adotaram-se três climas: Florianópolis, Curitiba e São Luís. Foram adotadas duas tipologias sendo que a tipologia 1 representa um edifício de 5 pavimentos e a tipologia 2 uma loja comercial de 1 pavimento. Para analisar os ganhos e as perdas de calor dos componentes opacos da edificação realizou-se o cálculo do balanço térmico das edificações, o qual envolve os processos de condução, convecção e radiação. O sistema de iluminação, pessoas, equipamentos, condicionamento de ar e infiltração também fazem parte do cálculo do balanço térmico. Na análise dos casos observou-se que o aumento da transmitância térmica das paredes da tipologia 1 para todos os climas analisados proporcionou uma redução do consumo anual da edificação, principalmente para os casos simulados em conjunto com alta densidade de carga interna ou alto padrão de uso e com baixa absorvância solar externa. Nos casos referentes à tipologia 2, notou-se que o aumento da transmitância térmica da cobertura representou um aumento do consumo anual da edificação para todos os casos simulados nos três climas adotados. Observa-se que os resultados encontrados para os valores de transmitância térmica contestam os limites adotados pela ASHRAE *Standard 90.1*, podendo estes limites ser excedidos uma vez que para os três climas analisados a utilização de uma parede com alto valor de transmitância térmica facilita a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo reduzindo o consumo do sistema de condicionamento de ar. Foram analisados os picos de carga do sistema de condicionamento de ar e o dimensionamento da potência da máquina calculada pelo programa *EnergyPlus*, que deve ser instalada nos ambientes para que estes permaneçam em condições de conforto.

ABSTRACT

ABSTRACT

This work presents an analysis of the energy performance of commercial buildings as a function of the influence of thermal transmittance and thermal capacity of external walls and roof. Cases with different internal load densities, exterior absorptance, patterns of use, window to wall ratio and other parameters were simulated to analyze their influence on the annual energy consumption. The analysis was accomplished through computer simulation by using the EnergyPlus programme and weather files of Florianopolis, Curitiba and Sao Luis. Two architectural typologies were adopted: the typology 1 represents a building of a 5-storey office building and the typology 2 represents a 1 storey commercial store. To analyze the heat gain and loss through the opaque elements of buildings, heat balance calculation was utilized which involves the process of convection, conduction and radiation. The lighting system, people, equipment, air conditioning system and infiltration are also part of the calculation of the heat balance. Analyzing the cases were simulated and it was observed that increasing thermal transmittance of walls of typology 1 resulted in reduction of the building annual energy consumption, mainly for those cases with high internal load densities or high patterns of use and with low exterior absorptance. In those cases simulated using the typology 2, it was noticed that increasing the thermal transmittance of roof represented an increase of the annual consumption for all the cases. These results show that the limits adopted by ASHRAE *Standard 90.1* can be exceeded as using high values of thermal transmittance in the walls of those weathers can help to dissipate the internal heat gain to the exterior, minimizing the air conditioning energy consumption. The peaks of the air conditioning consumption and its sizing which should be installed in the ambient to have a best comfort condition had been analyzed.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativas

O aquecimento global é um fenômeno climático, o qual vem provocando um aumento da temperatura da superfície terrestre. Atualmente, já está comprovado que o aquecimento global está se agravando consideravelmente, o que se deve em grande parte às atividades humanas. A principal evidência do aquecimento global vem sendo as altas temperaturas registradas em todo o mundo e a mudança brusca da temperatura. Dentre as conseqüências do aquecimento global está o aumento do nível dos oceanos em razão do derretimento das geleiras, o crescimento e surgimento de desertos, o aumento de furacões e ciclones. Outro fator de risco são as ondas de calor o qual reflete uma maior utilização dos sistemas de condicionamento de ar nas edificações. Tais sistemas consomem energia, a qual provoca geralmente a emissão de dióxido de carbono na atmosfera. A emissão de dióxido de carbono possui um profundo impacto sobre o efeito estufa, uma vez que este forma uma redoma protetora que aprisiona parte das radiações infravermelhas emitidas pelo Sol e as reflete para a superfície.

Os prédios comerciais e públicos são responsáveis pelo grande impacto de consumo dos sistemas de condicionamento de ar em razão da influência dos projetos arquitetônicos, especificações de materiais e das condições de uso da edificação.

As características construtivas de uma edificação são de extrema importância para que esta seja energeticamente eficiente. Dessa forma, empresas e projetistas têm buscado um maior conhecimento das interações térmicas que ocorrem em edificações, visando incentivar práticas de projetos eficientes e implementações que otimizem o uso da energia na indústria da construção.

Analisando as propriedades físicas dos materiais que serão utilizados na edificação, juntamente com o tipo de clima no qual a edificação está inserida são fatores que quando analisados e empregados corretamente podem gerar uma economia no consumo de energia da edificação.

Através das ferramentas computacionais pode-se avaliar o desempenho energético da edificação construída como também de construções futuras, possibilitando assim a introdução de alternativas para aumentar a eficiência energética da edificação. O uso de simulação permite também estimar o consumo de energia da edificação a partir das características do envelope e dos materiais que o constituem,

sistemas de condicionamento de ar existentes, carga interna instalada e padrões de uso.

Os programas de simulação computacional auxiliam no desenvolvimento de novas normas de eficiência energética e nos projetos de edificações mais eficientes. Durante a crise do petróleo na década de 70, começaram a surgir as primeiras normas de eficiência energética em edificações. Muitos países editaram normas a este respeito, como por exemplo, os Estados Unidos que publicaram a ASHRAE *Standard 90* em 1975. Em 1989, os Estados Unidos publicaram a ASHRAE *Standard 90.1* a qual estabelece requisitos mínimos para o projeto de edificações eficientes, exceto para edificações residenciais de pequeno porte. Esta norma tem sido adotada como base para o desenvolvimento de leis de eficiência energética em edificações em muitos países, como no Brasil. A ASHRAE *Standard 90.1* apresenta os limites máximos de transmitância térmica para paredes e coberturas de acordo com o clima na qual a edificação está inserida, mas esta norma não considera a carga instalada no ambiente analisado e o seu padrão de uso.

Em razão destes limites e por muitos pesquisadores acreditarem que quanto menor a transmitância térmica das paredes melhor é o desempenho térmico das edificações, optou-se por analisar a influência da transmitância térmica de paredes e coberturas para diferentes condições de carga interna, em relação ao consumo de energia e da carga térmica de edificações comerciais. Foram adotados 3 diferentes climas, Florianópolis, Curitiba e São Luís para analisar a influência da edificação em diferentes condições de graus-hora de resfriamento e aquecimento.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a influência da transmitância e capacidade térmica das superfícies opacas em edificações comerciais para diferentes condições de carga interna, em relação ao consumo de energia elétrica.

1.3 Objetivos específicos

Espera-se também alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar os componentes da carga térmica da edificação ao longo do ano;

- b) Analisar a influência do isolamento térmico das paredes da edificação no consumo de energia elétrica;
- c) Analisar a influência da absorvância das paredes externas e cobertura, no consumo de energia elétrica;
- d) Analisar os ganhos e perdas de calor dos componentes opacos.

1.4 Estrutura da dissertação

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta uma breve introdução sobre a busca de edificações mais eficientes energeticamente através da implementação de normas e da utilização de programas de simulação computacional; além das justificativas e dos objetivos do estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica, ressaltando a importância do desempenho térmico de edificações e introduzindo conceitos importantes de isolamento térmico.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia a ser seguida, onde a ferramenta computacional *EnergyPlus* é apresentada. Neste capítulo são também introduzidas a definição das tipologias de edificações consideradas e os parâmetros de interesse utilizados na análise do desempenho energético em função de diferentes condições de transmitância térmica de paredes e cobertura; apresentando também a metodologia utilizada para analisar os ganhos e perdas dos componentes opacos frente aos valores de carga térmica de edificações.

No quarto capítulo são apresentados os resultados referentes à análise da influência da transmitância e da capacidade térmica das paredes e coberturas em relação ao consumo anual de energia elétrica da edificação, a influência da inércia e do isolamento térmico nas edificações e a análise dos ganhos e perdas dos componentes opacos.

No último capítulo são expostas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica abordando o desempenho térmico de edificações, algumas normas nacionais e internacionais elaboradas para a construção de edificações mais eficientes energeticamente, alguns programas de simulação computacional, além de fornecer informações sobre os isolantes térmicos.

2.2 Desempenho térmico de edificações

Segundo Lamberts et al. (1997) "a eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com alta economia de energia", ou seja, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia.

Uma edificação é considerada eficiente termicamente quando o consumo desta é mínimo, mas o ambiente é ainda confortável para os usuários. A eficiência energética de uma edificação também vai depender das trocas térmicas entre esta e o ambiente externo.

Meier et al. (2002) propuseram três critérios para avaliar edificações:

- 1) A edificação deve conter equipamentos e materiais eficientes que estejam de acordo com o local e condições do ambiente;
- 2) A edificação deve proporcionar conforto aos usuários;
- 3) A edificação deve consumir menos energia quando comparada a uma outra semelhante.

A correlação entre as características arquitetônicas, construtivas e de uso dos ambientes com relação ao consumo de energia elétrica foi analisada por Toledo et al. (1995). O estudo foi realizado em 12 edifícios de escritórios da cidade de Florianópolis, analisando a influência das características da maior fachada do edifício: WWR e fator solar dos vidros. O desenvolvimento desta pesquisa foi realizado através de regressão simples destas variáveis arquitetônicas em relação aos consumos médios mensais dos edifícios nos períodos de inverno e verão. A análise da regressão baseou-se: na classificação por altura da edificação, baseado em MASCARÓ e MASCARÓ (1992); na classificação por WWR, baseado em WALKER e MACALIK (1979) e na classificação por ponderação do WWR com o fator solar do vidro. Os resultados encontrados referentes

às correlações de MASCARÓ e MASCARÓ não foram consistentes uma vez que a correlação de consumo total de energia elétrica com as alturas dos prédios não foi verificada. A pesquisa apresenta um valor ótimo de WWR, o qual reduzirá o consumo de energia elétrica da edificação. Na classificação por ponderação do WWR com fator solar do vidro constatou-se que os resultados devem ser encarados como indicadores preliminares da variação do desempenho das edificações analisadas.

O desempenho térmico das edificações depende das características dos componentes que compõem a estrutura, da densidade de carga interna, do padrão de uso, do fator de proteção dos *brises*, entre outros parâmetros. A utilização de cada parâmetro, desde que empregado corretamente em relação às características de cada região (clima), pode resultar em edificações mais eficientes energeticamente.

Lee et al. (2001) verificaram a eficiência energética de 2 edifícios de escritórios do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizado na cidade de Florianópolis. O projeto destes edifícios respeitou os conceitos de eficiência energética, onde foram adotadas tais medidas para promover o uso eficiente de energia elétrica: instalação de um sistema central de condicionamento de ar, proteções solares nas janelas, aproveitamento de iluminação natural através de prateleiras de luz e sistema de iluminação artificial composto por lâmpadas T8 de 32W, luminárias com refletor de alumínio de alta pureza e reatores com alto fator de potência. Estas medidas foram simuladas através da ferramenta computacional, o *VisualDOE*, e comparadas com as alternativas de projeto, menos eficientes, adotadas em obras típicas da UFSC para analisar a influência destas no consumo de energia elétrica dos edifícios. A partir do modelo calibrado, o qual representa a edificação nas condições atuais, foram criadas alternativas para melhorar o desempenho térmico da edificação. Adotou-se a alternativa de simular um caso sem as proteções solares das janelas para analisar a influência destas no consumo da edificação. No sistema de iluminação optou-se em refazer o projeto luminotécnico das salas típicas e no sistema de condicionamento de ar optou-se em simular a edificação com aparelhos de janelas. Na quarta alternativa simularam-se todas as alternativas anteriores. Na análise de alternativas de economia, verificou-se que a alternativa sem brises aumentaria em torno de 10% o consumo total de energia e 19% de aumento da demanda máxima registrada. No sistema de iluminação menos eficiente, composto por lâmpadas de 40W aumentou o consumo de energia elétrica em 11% e em 4% a demanda máxima. Na simulação dos casos com a instalação de aparelhos de janelas observou-se um

aumento de 9% em relação ao consumo de energia elétrica e de 64% de aumento no consumo da demanda. Na análise da quarta alternativa observou-se que caso as três alternativas de conservação de energia não fossem adotadas, o consumo da edificação seria em torno de 23% maior e a demanda máxima solicitada seria 75% maior. A redução obtida no consumo anual de energia elétrica destes prédios em função da utilização das novas alternativas foi de 24% e da demanda representou 64% do valor máximo registrado durante um ano. Observou-se que as medidas adotadas interferiram e contribuíram para a redução no consumo de energia elétrica dos edifícios analisados, podendo adotá-las nos projetos de futuros prédios na UFSC.

O desenvolvimento de um projeto adequado pode originar uma melhora da sustentabilidade da edificação, tornando favorável a relação custo/benefício. Além disso, técnicas de restauração e modernização de edificações (*retrofits*) permitem também aumentar a eficiência energética de edificações já existentes.

O desempenho térmico de um edifício comercial situado na cidade de Belo Horizonte foi analisado por PINTO et al. (2002) através do método estatístico "Fatorial de dois Níveis". O edifício adotado possui 17 andares, onde estão distribuídas 177 salas comerciais, 07 lojas no nível térreo e 120 vagas para automóveis em três níveis de sub-solo. Foram estudados três fatores no método estatístico: fator solar das janelas, a ventilação natural (janelas e portas abertas) e a variação da posição das janelas (leste e oeste). Selecionaram-se duas salas no 10º andar voltadas para leste e duas salas voltadas para oeste, sendo que em cada fachada uma das salas adotadas possui suas janelas com um baixo fator solar. O estudo desenvolveu-se durante um período de quatro meses, onde foram medidas e calculadas as seguintes variáveis: temperatura de bulbo úmido, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo, umidade absoluta, temperatura radiante média e velocidade do vento. Foram realizadas nas salas três medidas diárias para o período matutino e vespertino. Os resultados obtidos com a análise do método estatístico mostram que para o período vespertino a fachada é o fator mais importante na análise do conforto térmico, seguido do fator solar das janelas e da ventilação. No período matutino, o fator mais predominante no conforto térmico é a ventilação, seguida do fator solar das janelas e da fachada. A melhor situação em relação ao conforto térmico ocorre na existência de um baixo fator solar das janelas, juntamente com a ventilação para a fachada leste no período matutino.

Em razão da fachada da edificação ser na maioria das vezes determinada pelo posicionamento do terreno, as outras variáveis envolvidas devem ser analisadas e

utilizadas de forma apropriada para que a edificação apresente um bom desempenho térmico.

Dornelles e Roriz (2005) investigaram a influência do uso da inércia térmica em edificações localizadas na cidade de São Carlos, SP, com o objetivo de melhorar o desempenho térmico destas edificações e reduzir a utilização dos sistemas de condicionamento de ar. Foram analisadas três edificações com diferentes padrões de inércia térmica. Utilizou-se um sistema de aquisição de sinais (HOB0) para monitorar a temperatura do ar no interior e exterior dos ambientes. Os ambientes foram analisados sem ocupação e fechados, para que as fontes internas de calor e a infiltração não interferissem na temperatura interna. Determinou-se o somatório de graus-hora de desconforto por frio e calor, acumulado ao longo dos dias de referência de verão e inverno. A necessidade de aquecimento e resfriamento para o conforto do ambiente foi calculada segundo Szokolay (1987), classificando a inércia das edificações por meio do Fator de Resposta. Os resultados demonstraram que somente a utilização da inércia térmica não é suficiente para que as edificações localizadas em São Carlos resultem em edificações com elevado desempenho térmico. A inércia térmica deve ser combinada com outras estratégias para que o desempenho térmico das edificações seja semelhante.

Observou-se ainda que as edificações analisadas por Dornelles e Roriz (2005) possuíam diferentes posições de fachadas principais, sendo que duas das edificações estão em contato com outras edificações reduzindo o ganho por calor solar. Deveriam ser avaliadas edificações com a mesma orientação da fachada principal, o que permitiria uma melhor investigação do uso da inércia térmica na cidade de São Carlos.

Os dados climáticos referentes a cada cidade é um parâmetro extremamente importante para projetos de edificações mais eficientes (GOULART, 1993). As estratégias bioclimáticas devem, portanto, aproveitar as características do clima para gerar edificações mais confortáveis e com menos desperdício de energia (DORNELLES e RORIZ, 2005).

Melo (2005) analisou o desempenho energético de um hotel localizado na cidade de Florianópolis, através do programa computacional *EnergyPlus*. Com a intenção de melhorar a eficiência energética do edifício, foram propostas algumas alternativas de *retrofit* com base nos usos finais de energia elétrica da edificação. Realizou-se também uma análise econômica destas alternativas utilizando o programa E2-Tarifas. O hotel, com área total de 3500m², possui 65 apartamentos distribuídos em

11 pavimentos tipo. Através de visitas técnicas observou-se que os quartos são climatizados com condicionadores de ar do tipo de janela, e a sala de reuniões, o bar, a diretoria e o hall são climatizados com aparelhos do tipo *split*. O aquecimento de água dos chuveiros e torneiras é realizado por uma caldeira elétrica de potência de 54kW. Para calibrar o modelo inserido no programa *EnergyPlus*, analisou-se o histórico de consumo e demanda da edificação, podendo assim verificar se os dados estimados equivalem aos registrados no prédio. Foram analisadas as contas de energia elétrica de novembro de 2004 a outubro de 2005. O uso final de energia elétrica do modelo calibrado demonstrou que 35% do consumo final do hotel estão concentrados no sistema de iluminação, 25% na caldeira, 24% no sistema de condicionamento de ar e 16% relacionados com os demais equipamentos. Com base nestes resultados foram propostas as seguintes alternativas: a troca de lâmpadas fluorescentes de 40W presentes nos quartos por lâmpadas de 32W; a troca de aparelhos de condicionamento de ar do tipo de janela e *splits* por um sistema de condicionamento de ar do tipo central de água gelada; a compra de um gerador de energia elétrica a diesel para operar em horário de ponta; e a instalação de painéis coletores solares acoplados a caldeira para reduzir a sua utilização. Cada proposta foi inserida no modelo base, tendo este como próprio parâmetro de comparação. A viabilidade econômica de cada proposta foi calculada com base nos índices do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* Corrigido. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) foi adotada com um valor de 12%a.a. Considerou-se um valor residual (lucro na venda de qualquer equipamento que seja substituído) igual a zero para um período de análise de 10 anos. Através dos resultados observou-se que a única alternativa viável economicamente para o hotel foi para o sistema de iluminação, economizando um total de 24.959kWh anual de energia elétrica. No *retrofit* do sistema de condicionamento de ar constatou-se que esta alternativa não seria viável para um período de 10 anos. A utilização do gerador a diesel em horário de ponta reduziu o valor da conta de energia elétrica, mas o investimento inicial desta proposta é alto, sendo que se deve incluir um gasto mensal para a compra do óleo diesel. Além disso, o diesel é um dos grandes poluidores da atmosfera e co-responsável pelo aquecimento global da Terra. A alternativa da instalação de coletores solares reduziu o custo de energia elétrica do hotel em 33%, mas analisando esta proposta para um estudo de 10 anos concluiu-se que esta alternativa não é viável.

2.3 Normas de eficiência energética

A crise do petróleo da década de 70 resultou em uma transformação no mercado de energia de diversos países, fazendo com que estes lançassem programas de incentivo à redução do consumo de energia elétrica. As indústrias energéticas, especialmente a petrolífera, foram forçadas a conviver com novas legislações de preservação ambiental.

Atualmente, muitos países possuem alguma norma ou lei em eficiência energética de edificações, que os ajudam a alcançar uma maior eficiência nas construções mais recentes.

Em 1975 a ASHRAE implantou a sua primeira norma de eficiência energética para projetos e construções de novas edificações, a ASHRAE *Standard 90* (ASHRAE, 1975). Em 1989 a ASHRAE implantou a *Standard 90.1* a qual considera a envoltória da edificação, sistemas de condicionamento de ar, iluminação artificial e aquecimento de água incluindo ainda motores e equipamentos. Os climas são classificados em graus dia de aquecimento e resfriamento, os quais representam os limites para os componentes opacos e transparentes. Além das cidades americanas, a ASHRAE *Standard 90.1* também classifica o clima de 8 cidades brasileiras. A versão mais atual desta norma é do ano de 2004, a qual possui novas características e mudanças propostas pelo público, como a reformatação da norma para facilidade de uso.

Em 1984 foi estabelecido o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) com a finalidade de conservação de energia, atuando através de etiquetas informativas. Através deste programa, de participação voluntária, os consumidores podem obter informações sobre as características técnicas dos produtos e, portanto optar por equipamentos com melhores níveis de eficiência energética, gerando assim uma competitividade entre as empresas, as quais tentam alcançar os melhores índices de eficiência energética dos seus equipamentos. Os tipos das etiquetas são referentes a cada eletrodoméstico envolvido, mudando somente as características técnicas de cada produto. Cada etiqueta possui uma letra a qual indica a eficiência energética do eletrodoméstico, sendo que a letra A representa o produto mais eficiente energeticamente.

Em dezembro de 1993 foi instituído o Prêmio Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, também conhecido como Prêmio Procel de Combate ao Desperdício de Energia, oferecido pelo Ministério de Minas e Energia, com base em

diretrizes do Governo Federal. Este prêmio é concedido anualmente a diversos setores que buscam o combate ao desperdício de energia (PROCEL, 2006). O Selo Procel indica quais são os produtos de uma mesma categoria que apresentam um melhor índice de eficiência energética, contribuindo também para a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes com a redução de impactos ambientais.

Depois da crise do setor elétrico, em 2001, o Brasil começou a estabelecer ações para estimular o uso eficiente da energia elétrica. O primeiro passo foi a elaboração da Lei Nº 10.295, publicada pelo Ministério de Minas e Energia em 17 de outubro de 2001, a qual estabelece a criação de mecanismos que resultem em edificações mais eficientes energeticamente (BRASIL, 2001). Em dezembro de 2001, esta lei foi regulamentada pelo Decreto Nº 4.059, advertindo que os fabricantes e importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, de acordo com os estudos referentes a cada máquina e aparelho.

Com a implementação destas ações, espera-se que a população se conscientize e utilize a energia de uma forma mais racional, e que as empresas busquem o constante aperfeiçoamento energético de seus equipamentos.

Foi publicada em 2005, a NBR 15220 – “Desempenho térmico de edificações”, referente a habitações unifamiliares de interesse social com até três pavimentos (ABNT, 2005). Esta norma é dividida em 5 partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar dos componentes das edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método do fluxímetro.

A Parte 3 da NBR 15220 além de estabelecer um zoneamento bioclimático brasileiro e recomendar diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, também fornece informações a respeito de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contornos fixados.

A divisão do território brasileiro resultou em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, e para cada zona foram elaboradas propostas tecno-construtivas para melhorar o desempenho térmico das edificações. Para a formulação das diretrizes construtivas e para o estabelecimento das estratégias, foram considerados os seguintes parâmetros e condições de contorno:

- Tamanho das aberturas para ventilação;
- Proteção das aberturas;
- Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura);
- Estratégias de condicionamento térmico passivo, como: aquecimento solar da edificação, vedações internas pesadas, ventilação cruzada, resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento, ventilação seletiva, ventilação cruzada permanente.

Depois de alguns anos de discussão e de trabalhos envolvendo diversas instituições, foi desenvolvida a norma a Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética em Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos. Esta regulamentação visa a etiquetagem voluntária com foco na eficiência energética para tais edificações.

A classificação do nível de eficiência energética em edifícios comerciais e públicos encontra-se em fase de teste (LAMBERTS et al., 2006). A regulamentação classifica as edificações pelo nível de eficiência energética e é baseada em três requisitos principais:

- Eficiência e potência instalada do sistema de iluminação;
- Eficiência do sistema do condicionamento de ar;

- Desempenho térmico da envoltória da edificação.

Esta proposta de regulamentação é de caráter voluntário, sendo prevista a sua implantação em 2007. Após 5 anos da sua implantação esta proposta passará a ter caráter obrigatório, ou seja, em 2012. A edificação será avaliada de acordo com requisitos que variam de eficiência A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Para cada requisito será atribuído um peso, e de acordo com a pontuação final o edifício será classificado.

2.4 Programas de simulação computacional

A utilização de programas de simulação computacional poderia auxiliar muitos escritórios de engenharia e arquitetura na avaliação do desempenho energético das edificações (MENDES et al.,2005).

A simulação computacional possibilita a identificação do efeito de cada fator isoladamente, o que nem sempre é possível em um caso real. A utilização de ferramentas computacionais pode ocorrer tanto na fase de projeto como durante a construção da edificação, fornecendo a vantagem e a possibilidade de testar soluções mais eficientes sem a necessidade de intervir na edificação. Além disso, a facilidade de manipulação das variáveis envolvidas na edificação, o baixo custo e a redução do tempo de simulação contribuem ainda mais para uma maior utilização destes programas computacionais.

Muitos programas computacionais nacionais e internacionais estão sendo desenvolvidos para o cálculo de cargas térmicas, avaliação das condições de conforto térmico e desempenho energético de edificações. Atualmente, existem diversas ferramentas computacionais para analisar o desempenho energético e o consumo de energia das edificações, sendo que a escolha vai depender da aplicação. Segundo o DOE (2006) o Diretório de Ferramentas de Simulações Computacionais do Departamento de Energia dos Estados Unidos apresenta mais de 330 programas de simulação desenvolvidos em diversos países, como por exemplo: BLAST, DOE2.1E, EnergyPlus, TRNSYS, Tas, TRACE, eQUEST, ECOTECT, PowerDomus, entre outros.

Rauber et al. (1993) realizaram análises comparativas entre três diferentes programas de simulação computacional: ARCHIPAK (versão 1.0), THEDES (versão 3.0)

e ARQUITROP (versão 3.0). Através destes programas verificaram-se também os problemas na interface programa-usuário, onde se observou a diferença dos resultados obtidos entre quatro usuários. Para a realização do trabalho utilizou-se casa popular para um dia real de alta radiação na cidade de Florianópolis. Para que a edificação fosse simulada em condições semelhantes nos três programas, alguns parâmetros da casa popular foram mudados. Com os resultados da simulação computacional observou-se que o pico da temperatura interna do ar, para uma situação de ventilação nula, ocorre em horários diferentes nos programas. Em relação ao fluxo de calor pelas paredes, o programa THEDES apresenta ganhos maiores que os outros programas. Já para os ganhos de calor através dos pisos, o programa THEDES apresenta ganhos praticamente nulos enquanto os programas ARQUITROP e ARCHIPACK apresentam perdas de calor constantes. Os fluxos totais de calor (parede, janelas, piso, cobertura e ventilação) são semelhantes entre os programas ARQUITROP e ARCHIPACK, onde apresentam um balanço entre ganhos e perdas de calor; enquanto que o programa THEDES apresenta ganhos maiores que as perdas. A relação programa-usuário no programa ARCHIPACK apresentou uma boa concordância entre 3 dos usuários. O desvio do outro usuário se deve pela escolha de um componente (telhado) com valor de transmitância térmica diferente. No programa ARQUITROP os resultados obtidos pelos usuários também apresentou uma boa concordância, somente um entre os 4 usuários apresentou um pequeno desvio pelo fato da escolha da cor da parede. Já no programa THEDES, um dos usuários utilizou o componente janela com uma menor área ocasionando um desvio maior quando comparados aos outros usuários.

As simulações mostram que mesmo com a inserção do mesmo modelo de edificação, com as suas respectivas características nos programas utilizados, estes apresentam diferenças significativas nos seus resultados. Mas, vale lembrar que os resultados encontrados não são suficientes para uma conclusão a respeito da precisão dos programas.

A carga de resfriamento e o consumo de energia de um edifício comercial através dos programas computacionais BLAST e NBSLD foram analisados por Neto et al. (1999). Este estudo mostra como o emprego de uma ferramenta computacional detalhada pode ajudar na redução do consumo de energia dos sistemas de condicionamentos de ar. Uma das principais características do programa BLAST é que este permite avaliar as cargas de aquecimento e resfriamento e os ventiladores. Já o programa NBSLD calcula a carga de resfriamento nos ambientes condicionados e as

condições internas para um ambiente não condicionado. A edificação adotada possui 20 andares e está localizada na cidade do Rio de Janeiro. Foram criadas *schedules* de ocupação, iluminação e equipamentos. Adotou-se um sistema de condicionamento de ar simples, com mudanças nas condições internas, em razão do foco deste trabalho ser a análise de energia. A temperatura do ar interno foi variada em 22, 24, 26 e 28°C, e a umidade relativa em 50 e 60%. Para cada condição interna foi simulado, através do programa BLAST, um *chiller*/ventilador para calcular o pico da carga de resfriamento no período de verão/inverno. Observou-se que com a utilização da temperatura interna em 22°C e umidade relativa de 50% (condições internas geralmente utilizadas no Brasil), resultaram no maior consumo anual de energia do *chiller* (78,5MWh). A mudança da temperatura interna para 26°C e da umidade relativa para 60%, pode-se observar uma redução no consumo de energia de 21%.

Os programas utilizados no trabalho acima permitem avaliar de forma rápida e confiável o consumo de energia de prédios comerciais, podendo assim analisar estratégias para a redução do consumo. Através dos resultados das simulações, pode-se verificar que as mudanças de algumas condições internas resultaram em uma significativa redução no consumo de energia.

O programa DOE2.1E foi utilizado para dar suporte no desenvolvimento das normas da ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers em alguns países. Este programa computacional simula o desempenho térmico e energético de edificações a partir de dados construtivos, padrões de uso, dados climáticos e potência instalada. Os ambientes das edificações são caracterizados por zonas, as quais são diferenciadas pelo padrão de utilização e da presença de sistema de condicionamento de ar.

O programa *EnergyPlus* foi desenvolvido através da fusão dos programas *DOE-2* e *BLAST*, com o intuito de criar uma ferramenta que permitisse a simulação da carga térmica e a análise energética de edificações e de seus sistemas. Este programa possui diversas características que o colocam em destaque em relação a outros programas de simulações existentes, quais sejam:

- Cálculo da energia necessária para resfriar ou aquecer um ambiente;
- Condução de calor transiente através dos componentes construtivos;
- Modelo de conforto térmico;

- Técnica de solução baseada no balanço de energia para as cargas térmicas prediais;
- Capacidade de cálculo do balanço energético, intervalos definidos pelo usuário (menores que 1 hora);
- O usuário pode solicitar relatórios referentes a diversos parâmetros da edificação.

O programa PowerDomus foi desenvolvido por Mendes et al. () com o objetivo de analisar o conforto térmico e o uso de energia. Este calcula o calor e a transferência de umidade nas edificações para qualquer tipo de clima na qual a edificação esta inserida considerando a difusão de vapor e a migração da capilaridade. O PowerDomus analisa seus resultados através de um modelo matemático, permitindo que o usuário analise os resultados através de gráficos das zonas de temperatura e umidade relativa, PMV e PPD, entre outros (Crawley et al., 2005).

Grings e Beyer (2003) compararam os resultados obtidos através de simulação computacional com os resultados medidos da carga térmica de um ambiente climatizado e da temperatura interna em evolução livre. O programa computacional utilizado foi o *EnergyPlus*, versão 1.0.2. Para a realização desta pesquisa foi utilizada uma sala no terceiro pavimento de um edifício com 4 pavimentos tipo. Foram inseridas no programa as características construtivas da edificação e as *schedules* de ocupação, funcionamento dos equipamentos e do sistema de iluminação e infiltração, a qual foi definida através do método da área de frestas (ASHRAE, 2001). O sistema de condicionamento de ar utilizado foi o *purchased air*, encontrado na biblioteca do *EnergyPlus*. No estudo comparativo realizado observou-se uma boa concordância entre os resultados computacionais e experimentais. A diferença máxima entre os resultados das temperaturas medidas e simuladas foi de 1°C, e a diferença média foi de 0,5°C. Em relação as cargas térmicas, a diferença máxima foi de 288W, e a média de 74W, estando estes resultados dentro do intervalo de incertezas previstas. Vale ressaltar que, dependendo da utilização do usuário e da variável analisada no programa computacional, os valores dos resultados medidos e simulados podem apresentar-se bem diferentes.

Muitos pesquisadores acreditam que o uso de programas de simulação computacional para analisar o desempenho térmico de edificações vem tornando-se mais presente nos projetos, funcionamento e na administração das edificações. Com o

avanço rápido dos recursos computacionais, tornou-se possível analisar em menor tempo e com maiores detalhes os efeitos dos diversos parâmetros relacionados à edificação (HENSEN et al., 2002).

A integração entre as ferramentas computacionais com o desenvolvimento do projeto específico é um aspecto importante para o desenvolvimento de edificações mais eficientes energeticamente (HENSEN e AUGENBROE, 2004). Portanto, devem-se conhecer as vantagens e as limitações da ferramenta computacional a ser utilizada para a obtenção de resultados coerentes.

2.5 O isolante térmico

Isolantes térmicos são materiais ou uma combinação de diferentes materiais que restringem o fluxo de calor em edificações. O calor é transferido naturalmente do ambiente mais quente para o mais frio. Geralmente, durante o verão, o calor se difunde de fora para dentro da edificação, exigindo uma maior utilização do sistema de condicionamento de ar. Durante o inverno, o sentido da transferência de calor é inverso ao do verão, fluindo do ambiente interno para o externo, exigindo uma maior utilização do sistema de calefação.

Para reduzir a transferência de calor entre corpos diferentes deve-se instalar entre eles um material de baixa condutividade térmica, embora não existam materiais isolantes perfeitos, que possam barrar completamente a transferência de calor (CUNHA e NEUMANN, 1979).

A propriedade mais importante dos materiais utilizados como isolantes térmicos é a condutividade térmica, que juntamente com a espessura da parede deve resultar em uma elevada resistência térmica. O efeito do isolamento vai depender de como e em que local da parede ou da cobertura este foi instalado (AL-HOMOUD, 2005). Os isolantes térmicos apresentam uma baixa condutividade térmica quando comparados a outros materiais como pode ser observado através da Tabela 1.

Tabela 1. Condutividade térmica dos materiais.

Materiais		Condutividade térmica (W/mK)
Isolantes térmicos	Lã de rocha	0,045
	Lã de vidro	0,045
	Poliestireno	0,035
	Poliuretano	0,026
Madeiras	Compensado	0,12
Impermeabilizante	Betume asfáltico	0,17
Plásticos	Borracha sintética	0,40
Tijolos e telhas de barro	-	1,05 - 0,70
Concreto	-	1,75
Pedras	Mármore	2,90
	Granito	3,00
Metais	Aço	55,00
	Zinco	112,00
	Alumínio	230,00

Al-Homoud (2005) relata que muitos parâmetros devem ser considerados na escolha de um isolante térmico para a utilização em edificações, como: custo, facilidade de manuseio, segurança, durabilidade, absorção acústica, impacto ao meio ambiente e disponibilidade do material. Os materiais mais utilizados para isolar termicamente o envelope de edificações são: mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou orgânicas flexíveis, espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido, vermiculita expandida ou perlita em grânulos e flocos de lãs minerais (VITTORINO et al.,2003).

A influência da envoltória na carga térmica de um edifício comercial de ocupação mista na cidade de São Paulo, através do programa computacional BLAST foi avaliada por Neto et al. (1999). A edificação adotada possui 8 andares e 1 mezanino, sendo 3 destes andares exclusivos para atividades administrativas e o restante ocupados por equipamentos eletro-eletrônicos e salas de controle. Foram analisadas também as cargas térmicas máximas e totais diárias de um andar de uso exclusivo de equipamentos e de um andar de uso exclusivo para atividades administrativas, para três tipos de paredes e três condições climáticas: São Paulo, Curitiba e Recife. Para cada andar foram criadas *schedules* de ocupação, equipamentos, iluminação, sistemas

de condicionamento de ar e temperatura interna (22°C para andares com equipamentos e 24°C para andares de escritórios). Na simulação foram utilizadas paredes com materiais de baixo, médio e alto isolamento térmico. Através dos resultados verificou-se que, o efeito da envoltória foi menor para os andares com equipamentos devido a uma maior geração de calor interna e pela necessidade de utilização 24horas/dia do sistema de condicionamento de ar, resultando em uma influência pequena da envoltória na carga térmica total em uma edificação de ocupação mista. Porém, a envoltória possui uma influência significativa em relação ao perfil da carga térmica ao longo do dia. Observou-se que as paredes com um maior isolamento térmico podem ocasionar um achatamento no perfil da carga térmica, fazendo com que o sistema de condicionamento de ar opere com uma maior eficiência, diminuindo o consumo de energia elétrica.

Mas, deve-se ressaltar que a economia de energia vai depender do clima; do tamanho e da forma da edificação; das propriedades dos materiais utilizados na construção, além do tipo e da eficiência dos sistemas de condicionamento de ar existentes.

Bojic et al. (2001) analisaram a influência do uso de isolamento térmico em diferentes posições na parede (parte interna, externa e meio) utilizando o programa de simulação HTB2. Eles analisaram a razão entre a carga de resfriamento e a demanda máxima de resfriamento anual, em dois *flats* residenciais situados em Hong Kong. O *flat* 1 possui área total de 45m², e têm a fachada principal voltada para sudeste. O *flat* 2 possui uma área total de 73m², e a sua fachada principal é voltada para sudoeste. Foram criadas *schedules* de ocupação, iluminação e do sistema de condicionamento de ar para os dois *flats* analisados. Observou-se que a colocação do isolamento na parte interna da estrutura reduziu a carga de resfriamento anual para ambos os flats. Na análise da demanda máxima de resfriamento anual em relação ao posicionamento do isolamento, observou-se que a localização do isolamento na parte externa da estrutura reduziu a demanda de resfriamento do *flat* maior em 7,28% quando comparado ao caso base (sem isolamento). No flat menor a maior redução ocorreu quando o isolamento foi colocado na parte interna da estrutura, reduzindo a demanda em 7,40%.

As diferenças observadas estão relacionadas com as diferentes orientações dos *flats*, com a diferença de área total construída e também com as diferentes *schedules* de ocupação. No flat maior previu-se a ocupação de 4 pessoas, sendo que uma dessas

permanece na edificação o dia inteiro. No flat menor adotou-se a ocupação de um casal, o qual não permanece na edificação durante o dia. Além disso, a alternativa da ventilação noturna afetou a carga de resfriamento e da demanda máxima de resfriamento anual para os dois *flats*.

Cheng et al. (2005) estudaram a influência das cores e da massa térmica em edifícios situados em Hong Kong. Foram construídas duas caixas de tamanhos iguais, sendo uma pintada de preto e outra de branco. As caixas foram construídas com 20mm de madeira, 25mm de isolamento. A primeira análise baseou-se nas caixas brancas e pretas onde se observou que tanto no verão como no outono a temperatura dentro da caixa preta é em torno de 12 graus mais alta que dentro da caixa branca. Observa-se também que a temperatura dentro da caixa branca é sempre muito parecida com a temperatura externa. Analisou-se também neste artigo a influência das cores das caixas com o aumento da massa térmica, acrescentando-se 90mm de blocos de concreto na parte interna das caixas. Nota-se que com o aumento da massa térmica, a temperatura da caixa preta é de 2 graus acima da temperatura externa, enquanto que dentro da caixa branca as temperaturas ficam 3 graus abaixo. Com o aumento da massa térmica observou-se que a diferença de temperatura entre as duas caixas diminui pela metade.

O artigo em questão permite a análise da influência de cada parâmetro em relação à elevação da temperatura interna da caixa. Com isto, compreenderam-se melhor as diferentes formas de ganhos de calor de uma edificação. Deve-se, entretanto, ressaltar que as caixas analisadas não representam uma edificação comercial, onde existem outras fontes de ganhos de calor e dimensões muito diferentes.

As conseqüências do aumento do isolamento térmico no período de verão foram analisadas por Chvatal et al. (2005a) em edifícios residenciais e comerciais de Portugal, com base no consumo anual de energia elétrica da edificação. Os edifícios foram simulados através do programa TRNSYS, onde foram inseridos os dados de entrada de cada edificação, combinando estes dados com diversas possibilidades de sombreamento exterior. Os resultados mostram que, o uso de sistemas de condicionamento de ar em edifícios residenciais no verão é reduzido em até 8% com o aumento do isolamento nas paredes quando o sombreamento externo fica em torno de 75%. Já para os edifícios comerciais, que possuem uma maior carga interna, observou-se que o aumento do isolamento térmico dificulta a dissipação dos ganhos internos

para o ambiente externo, não sendo, portanto recomendável, uma vez que aumenta a quantidade de horas de sobreaquecimento.

Observou-se, tanto para edificações comerciais como residenciais que quando os ganhos internos ou solares não são controlados, o ambiente torna-se menos confortável com o aumento do isolamento térmico.

Chvatal et al. (2005b) analisaram o desempenho térmico de edifícios residenciais e comerciais em Portugal com relação ao aumento do isolamento térmico do envelope, empregando ventilação noturna. Foram adotados diversos parâmetros, os quais foram simulados através do programa TRNSYS para o período de verão. Observou-se que os resultados encontrados com o aumento do isolamento térmico e a utilização da ventilação noturna vão depender do fator de proteção das janelas. Para a edificação residencial nota-se que quando as janelas possuem um baixo fator de proteção, o desconforto aumenta conforme se aumenta o isolamento térmico das paredes. Entretanto, quando se aumenta a proteção das janelas, o desconforto diminui com o aumento do isolamento térmico. E com a utilização da ventilação noturna, o desconforto diminui ainda mais pelo fato de que esta alternativa contribui para remover o calor acumulado dentro da edificação durante o dia. Em relação a edificação comercial observou-se que o desconforto é maior que para a edificação residencial mesmo com fatores de proteções solares eficientes. Sem a ventilação noturna, sempre há um grande desconforto, mesmo com ganhos solares baixos, com o aumento do isolamento térmico. Nota-se que o desconforto é constante (em torno de 100%), mas com a utilização da ventilação noturna o desconforto diminui entre 70%-80%.

Analisando os resultados para o período de verão em Portugal, observa-se que os ganhos solares devem ser cuidadosamente controlados, especialmente quando não há a possibilidade de haver ventilação noturna. Quando os ganhos solares não são controlados, a edificação tem uma tendência a se tornar mais desconfortável com o aumento do isolamento térmico. Já com a utilização da ventilação noturna, as edificações analisadas demonstraram um maior período de conforto durante o dia.

Farhanieh e Sattari (2006) analisaram a utilização de isolamento térmico nas paredes de edificações residenciais localizadas no Irã, com a tentativa de identificar uma possível redução no consumo de energia elétrica. O estudo concentrou-se na análise da transferência de calor através das paredes externas dos edifícios, e concluiu que o uso de isolamento térmico proporcionou uma redução de 35% no consumo mensal de energia elétrica.

A localização e a distribuição de diferentes espessuras de isolamento térmico em paredes com diversas orientações na Turquia através de um método de diferenças finitas, resolvido pelo MATLAB, durante dias típicos de verão e inverno foram avaliadas por Ozel e Pihtili (2006). Adotou-se para o estudo um modelo de estrutura de parede com diversas camadas, sendo que a parte externa é exposta a períodos de radiação solar e temperaturas externas e a parte interna está em contato com um quarto a temperatura constante, 23°C para o dia típico de inverno e 20°C para dias típicos de verão. Foram analisados 12 diferentes configurações de paredes, onde se manteve constante o total da camada de material utilizado nesta (20cm) e o total do tipo de isolante térmico utilizado (6cm). Foram colocadas em diferentes posições as camadas de isolantes térmicos na estrutura da parede, como por exemplo, 6cm de isolante na parte interna da estrutura; 6cm na parte externa; 3cm de isolante na parte interna e 3cm na parte externa; 2cm na parte interna da estrutura, 2cm no meio da estrutura e 2cm na parte externa da estrutura; entre outras configurações, mas sempre totalizando os 6cm de isolante térmico. A melhor posição e distribuição das camadas de isolante térmico foram analisadas em relação ao maior atraso térmico e o menor fator de amortecimento obtido, sendo todos os cálculos repetidos para as quatro orientações da parede. Foram analisados dois tipos de material para a estrutura das paredes (blocos cerâmicos e blocos de concreto) e dois tipos de isolantes térmicos (fibra de vidro e cortiça). A melhor configuração de parede, a qual resultou em um maior atraso térmico e menor fator de amortecimento, foi quando se colocou 2cm de isolante térmico na parte interna da estrutura, 2cm no meio da estrutura e 2cm na parte interna da estrutura. A pior situação encontrada foi com o posicionamento do isolante na parte interna da estrutura. Observou-se que os diferentes materiais e isolantes térmicos utilizados, as condições climáticas de verão e inverno, e as diversas orientações das paredes não influenciaram na escolha da melhor configuração da parede. Entretanto os valores do atraso térmico e do fator de amortecimento durante os dias típicos de verão e inverno são semelhantes. Em razão disto, os pesquisadores concluíram que a melhor configuração da parede encontrada no desenvolvimento desta pesquisa não depende das condições climáticas, sendo que as conclusões deste trabalho podem ser válidas para outras regiões climáticas.

A instalação dos isolamentos térmicos vai depender do tipo de edificação, do tipo de isolante empregado e da sua localização na estrutura da edificação. O isolamento pode ser colocado tanto na parte externa como na parte interna das paredes, ou até mesmo no interior (tipo parede sanduíche). Em coberturas, pode-se

colocar o isolamento sobre a laje, no interior da laje, abaixo do forro ou sobre o telhado.

O isolamento térmico, quando colocado na parte interna da parede protege o ambiente interno em relação ao externo, fazendo com que a temperatura da estrutura se aproxime da temperatura externa. Caso o isolamento seja instalado na parte externa da parede vai oferecer um armazenamento de calor interno, se a parede tiver uma boa inércia térmica, devido à incidência de radiação solar e dos ganhos internos. A instalação do isolamento no meio da parede vai ocasionar ambos os efeitos mencionados anteriormente.

Segundo DOE (2006) a utilização do isolamento térmico pode melhorar a eficiência energética das edificações, da seguinte forma:

- a) Economia no consumo de energia elétrica; pelo fato do isolamento térmico restringir a entrada de calor;
- b) Redução do uso do sistema de condicionamento de ar;
- c) Diminuição da emissão de poluentes para o meio ambiente devido a redução de utilização de sistemas elétricos e mecânicos;
- d) Aumento do período onde a temperatura interna do ambiente fica mais confortável aos usuários;
- e) Redução do ruído procedente de ambientes vizinhos e externos;
- f) Redução da flutuação da temperatura interna.

Westphal e Lamberts (2006) analisaram o desempenho energético de duas tipologias arquitetônicas: um edifício de escritório de 5 pavimentos e uma loja de departamento de 1 pavimento, as quais foram modeladas para avaliar distintas condições de transmitância térmica de paredes e coberturas. Foram explorados diversos parâmetros, como: carga interna instalada, padrões de uso, absorvância das superfícies externas, percentual da área de janela nas fachadas, clima, entre outros, sempre analisando o efeito destas combinações em relação ao consumo de energia elétrica da edificação. Foram simulados 23.040 casos, através do programa *EnergyPlus*, os quais indicaram que dependendo da combinação entre os diversos parâmetros, estes podem originar uma redução do consumo de energia elétrica.

Observou-se também que para algumas cidades analisadas, o aumento da transmitância térmica das paredes do envelope combinados com uma baixa absorvância térmica, um padrão de uso de 24h/dia e uma carga interna de 50W/m² proporcionou uma economia considerável de energia elétrica.

O trabalho em questão mostra que o clima, a absorvância dos componentes opacos, a carga interna e padrão de uso são parâmetros fundamentais para a construção de edificações mais eficientes. A utilização de isolantes térmicos no envelope da edificação para originar uma menor transmitância não conduz a uma edificação mais eficiente, como esperado em alguns casos.

Muitos pesquisadores afirmam que a utilização de isolantes térmicos no envelope da edificação origina uma redução do consumo de energia em razão da diminuição da utilização do sistema de condicionamento de ar. Este fato está relacionado com a diminuição da carga térmica, pois os isolantes térmicos têm a capacidade de diminuir o fluxo de calor que atravessa as paredes, cobertura e piso. A carga térmica é o calor a ser fornecido ou extraído do ar, por unidade de tempo, para manter o ambiente nas condições desejadas. Esta carga está relacionada com os ganhos de calor por radiação, condução e convecção, infiltração e renovação de ar; ganhos internos através de pessoas, iluminação artificial, motores e cargas especiais.

2.6 Considerações finais deste capítulo

Os edifícios comerciais são grandes consumidores de energia elétrica como já mencionado anteriormente. Isto se deve ao fato de que a maioria destes edifícios é projetada com aparelhos de aquecimento e resfriamento do ar, durante as diversas estações do ano, exceto no Brasil.

Grande parte dos trabalhos encontrados na literatura indica que a utilização de isolamento térmico torna a edificação mais eficiente energeticamente. Entretanto, analisando a região onde a maioria dos trabalhos foi desenvolvida observa-se que o clima frio (inverno) é predominante. A utilização do isolante térmico nas paredes de edificações localizadas em climas com invernos rigorosos torna a edificação mais confortável internamente pelo fato de manter a temperatura interna por mais tempo constante, gerando assim uma redução no valor da conta de energia elétrica.

Outras pesquisas, entretanto mostram que dependendo do clima, padrão de uso e de outros parâmetros relacionados à edificação, a utilização de isolamento

térmico poderá aumentar o consumo de energia da edificação. Nas regiões mais quentes, uma envolvente muito isolada dificulta a dissipação dos ganhos internos e solares para o exterior. Este fato contribui para a elevação da temperatura interna, exigindo a utilização de sistema de condicionamento de ar.

Optou-se em concentrar esse estudo em edificações comerciais localizadas em regiões com verões mais longos e invernos mais amenos pelo fato da maioria dos trabalhos existentes terem se concentrado em edificações residenciais localizadas em climas com invernos mais rigorosos durante o ano. Além disso, a edificação comercial possui cargas internas e padrões de uso diferentes da edificação residencial.

O desenvolvimento do presente trabalho irá identificar a influência da transmitância térmica das paredes e cobertura e de diversos parâmetros relacionados às edificações comerciais localizadas em três cidades brasileiras, no seu consumo final de energia elétrica e carga térmica.

Uma atenção especial será dada ao estudo do impacto da colocação do isolamento térmico nas paredes das edificações, como forma de confrontar as informações contraditórias disponíveis na literatura.

3 METODOLOGIA

3.1 Introdução

Este capítulo apresenta a ferramenta utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, a base para a escolha das tipologias de edificações comerciais, os parâmetros adotados com seus respectivos valores e a metodologia adotada para a análise dos ganhos e perdas de calor nas edificações.

3.2 Ferramenta utilizada

Para a análise do desempenho térmico das edificações será adotado o programa de simulação computacional *EnergyPlus*, utilizando a versão 1.4.0. O programa *EnergyPlus* foi desenvolvido através da fusão dos programas *DOE-2* e *BLAST*, com o intuito de criar uma ferramenta que permitisse a simulação da carga térmica e a análise energética de edificações e de seus sistemas. Este programa calcula a carga térmica necessária para aquecer ou resfriar um ambiente. Este cálculo é baseado no comportamento térmico e energético da edificação, no clima que a edificação está inserida e nos valores de cargas térmicas encontradas.

O programa *EnergyPlus* (E+) consiste de uma coleção de módulos de programas que permitem calcular a energia requerida para climatizar um edifício. Isso é feito simulando edifício e os sistemas de energia associados sob diferentes condições ambientais e operacionais.

3.3 Definição das tipologias

As tipologias arquitetônicas utilizadas na pesquisa foram baseadas no estudo realizado através do convênio entre Procel/Edifica – Eletrobrás (2006) o qual desenvolveu um banco de dados representativo de tipologias arquitetônicas do consumo nacional de edificações residenciais, comerciais e públicas; e com base no estudo desenvolvido por Carlo e Lamberts (2006) onde apresentam as etapas para a elaboração de um protótipo de edificações para simulações em relação ao seu desempenho térmico, avaliando também os parâmetros que mais influenciam na envoltória da edificação, com base no consumo de energia elétrica.

Preocupou-se em adotar 2 tipologias de diferentes geometrias de paredes e coberturas, podendo assim analisar o ganho e a perda de calor referente a cada

componente opaco. A diferença na quantidade de pavimentos das tipologias adotadas também foi um parâmetro analisado.

A tipologia 1 representa um edifício com 5 pavimentos, com 1 pavimento térreo, 3 pavimentos tipo e 1 cobertura. A edificação possui 27mx7,5mx2,5m, resultando em uma área total construída de 1.001m², a qual é totalmente condicionada, exceto a área correspondente a escada e elevadores. O pavimento tipo foi inserido uma única vez, em uma altura média entre o pavimento térreo e a cobertura, representando assim uma condição média para os coeficientes de convecção externa nas fachadas e também reduzindo o tempo necessário da simulação. Para a representatividade das cargas instaladas nos pavimentos tipo, inseriu-se o fator de multiplicação 3 no programa *EnergyPlus*, ou seja, as cargas internas do pavimento tipo inserido no programa foram multiplicadas 3 vezes para representar os pavimentos tipo que não foram inseridos no programa. O modelo final pode ser visualizado em 3 dimensões através da Figura 1.

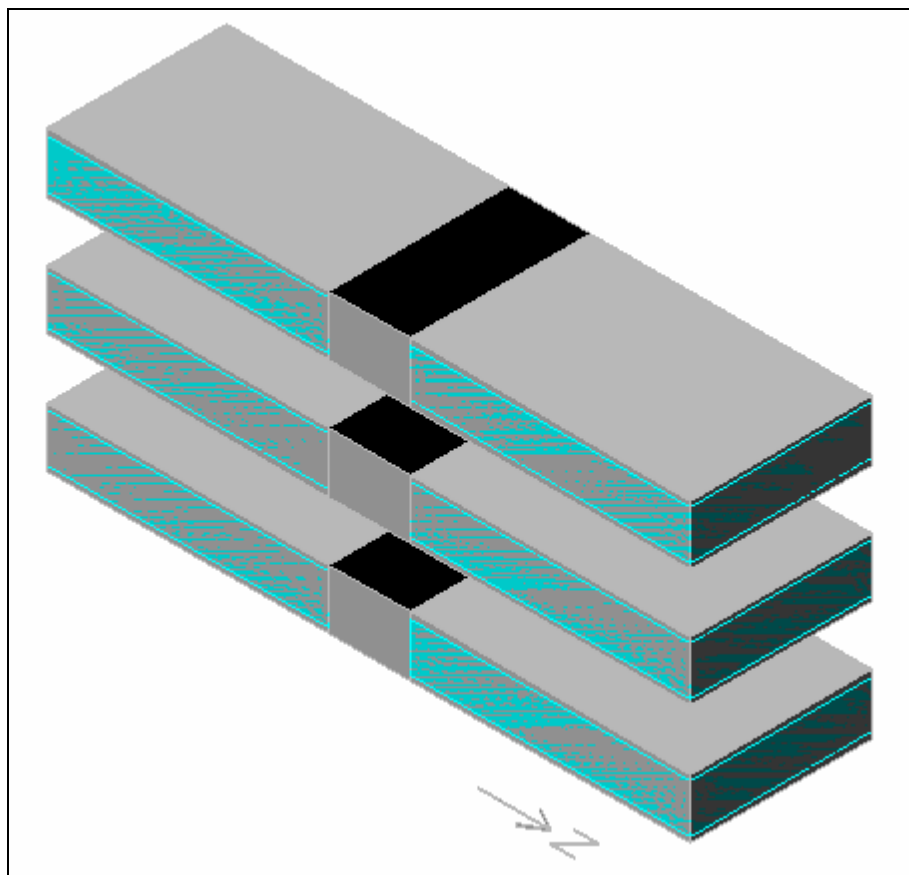


Figura 1. Representação da tipologia 1 em 3D.

A segunda tipologia (Figura 2) corresponde a uma edificação comercial totalmente condicionada, com área total de 2500m². Este modelo possui dimensão de 50m x 50m x 5m, sendo representativo a uma loja de departamento.

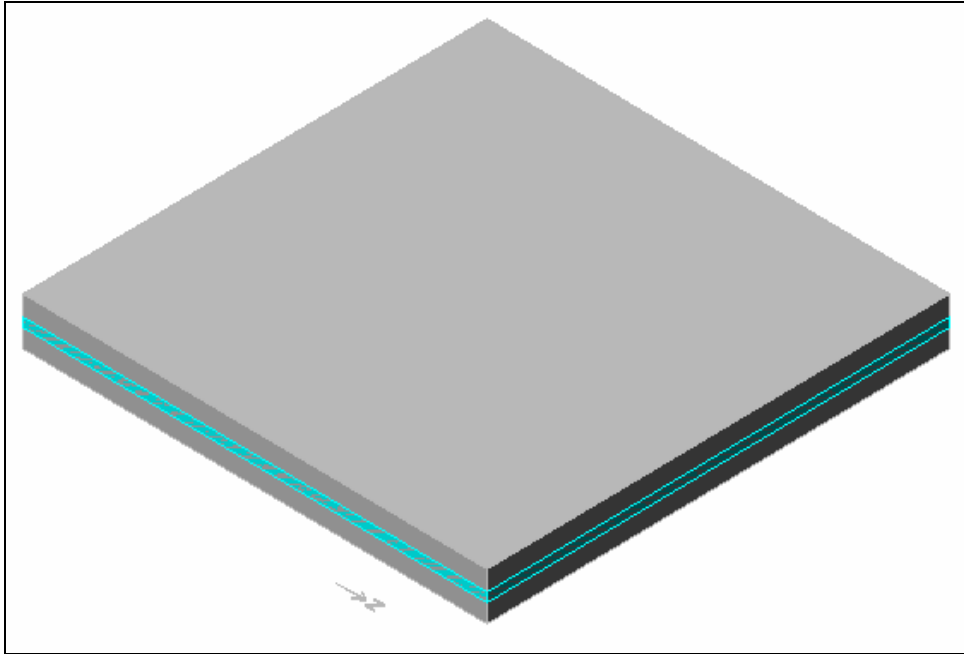


Figura 2. Representação da tipologia 2 em 3D.

A fachada principal das tipologias foi adotada voltada para o norte. E ressalta-se que a área de janela presente nas figuras das tipologias é somente uma representação, pois este parâmetro será variado de acordo com as simulações a serem realizadas. O entorno das tipologias foi adotado sem nenhuma edificação vizinha.

3.4 Parâmetros analisados e seus valores adotados

Para analisar a influência da transmitância térmica de paredes e coberturas em relação ao consumo de energia elétrica das tipologias arquitetônicas adotadas, foram simuladas diversas combinações:

- 1) Área de janela nas fachadas;
- 2) Carga interna instalada;
- 3) Padrões de uso;
- 4) Absortância externa do envelope;

- 5) Tipo de vidro;
- 6) Infiltração de ar, entre outras.

Em razão da grande quantidade de parâmetros a serem analisados, resultando em um número significativo de simulações a serem realizadas, optou-se em utilizar uma macro, desenvolvida por Westphal (2006), na qual possam ser realizadas análises comparativas. Esta macro realiza simulações paramétricas, ou seja, em cada novo caso simulado ocorre a mudança de um parâmetro. A cada nova simulação ocorrerá a variação de somente um parâmetro por vez. As simulações serão realizadas para um ano completo.

Como resultados, serão apresentados análises comparativas das diversas simulações realizadas ao longo de todo o ano em forma de gráficos de consumo anual com relação ao aumento da transmitância térmica das paredes e cobertura, e em forma de tabelas onde também são apresentados os resultados do consumo de sistema de condicionamento de ar. Os valores de consumo de energia elétrica anual serão normalizados por m^2 de área condicionada. Os gráficos serão apresentados em relação ao consumo anual das paredes e coberturas com relação ao aumento da transmitância térmica destas superfícies. A tipologia 1 representa um edifício de escritórios de 5 pavimentos, apresentando uma maior influência de ganhos solares através das paredes. Por este fato, nas simulações referentes a tipologia 1, optou-se em adotar um valor de transmitância térmica igual $2W/m^2K$ para a cobertura, variando somente o valor da transmitância térmica das paredes. A tipologia 2 representa uma edificação comercial de 1 pavimento com um total de $2500m^2$, apresentando uma maior influência de ganhos solares através da cobertura. Por este fato, nas simulações referentes a tipologia 2, optou-se em adotar um valor de transmitância térmica igual $2W/m^2K$ para as paredes, variando somente o valor da transmitância térmica da cobertura.

Serão analisados todos os dados de saída que interferem no consumo anual das tipologias, sendo estes analisados em conjunto para entender melhor a representatividade destes no desempenho térmico das edificações. Em razão da grande quantidade de casos simulados, serão somente apresentados os casos que mais influenciarem no consumo anual da edificação.

A Tabela 2 apresenta a descrição dos dados de entrada dos parâmetros a serem utilizados. A análise paramétrica entre os parâmetros resultou na simulação de 528 modelos para cada clima. Como foi simulado para 3 cidades diferentes, o total de casos simulados chegou a 1.584. As tipologias adotadas foram simuladas com a fachada principal voltada para o Norte.

Tabela 2. Dados de entrada e seus respectivos valores adotados para as simulações.

Parâmetros	Valores adotados
1- Tipologias arquitetônicas	2 tipologias diferentes
2 - Clima	Florianópolis; Curitiba; São Luís
3- Padrão de uso (h/dia)	8; 12
4-Densidade de carga interna instalada (W/m^2)	30; 70
5- Percentual de área de janela nas fachadas (%)	20; 50; 80
6- Fator Solar (FS)	0,87 (claro); 0,58 (refletivo)
7- Absortância das paredes à radiação solar	0,20 (branca); 0,90 (preta)
8- Absortância das coberturas à radiação solar	0,20 (branca); 0,90 (preta)
9- Transmitância térmica das paredes e coberturas (W/m^2K)	1,00; 1,50; 2,00; e 4,00
10- Inércia e isolante térmico	3 paredes com diferentes construções e com a mesma transmitância térmica de $4W/m^2K$
11- Infiltração de ar (m^3/s)	0,3 trocas de ar por hora
12- Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar (W/W)	3,19

Para a simulação das tipologias utilizaram-se os arquivos climáticos das cidades de Florianópolis, Curitiba e São Luís do tipo TRY (*Test Referency Year*) de 1963, 1969 e 1966, respectivamente. Estes arquivos incluem dados da região adotada e representa um ano climático médio dentro de uma série de 10 anos (GOULART, 1993).

Através dos arquivos climáticos da cidade de Florianópolis, Curitiba e São Luís foi calculado o total de graus horas de aquecimento e de resfriamento, adotando as temperaturas-base de $18^{\circ}C$ e $24^{\circ}C$, respectivamente, conforme mostra a Tabela 3. Também foi analisada a quantidade de graus-dia de resfriamento e aquecimento, com temperaturas-base de $10^{\circ}C$ e $18^{\circ}C$, respectivamente, uma vez que estes valores são adotados pela ASHRAE *Standard 90.1* para caracterizar o clima da cidade, indicando os

níveis máximos de transmitância térmica que podem ser adotados em cada componente construtivo da edificação de acordo com o clima onde esta está inserida.

Tabela 3. Graus-hora e graus-dia das cidades adotadas.

Cidade	Aquecimento		Resfriamento	
	Graus-hora (tb=18°C)	Graus-dia (tb=18°C)	Graus-hora (tb=24°C)	Graus-dia (tb=10°C)
Florianópolis	6880	163	4517	3894
Curitiba	25999	892	1940	2360
São Luís	0	0	22828	6112

Observa-se que os três climas analisados possuem diferentes valores de graus-hora de aquecimento e resfriamento. O clima de Curitiba possui um total de graus-hora de aquecimento de aproximadamente 4 vezes maior que a cidade de Florianópolis. Apesar de o clima de São Luís não possuir graus-hora de aquecimento utilizando a temperatura-base de 18°C, este apresenta um total de graus-hora de resfriamento maior que as outras cidades analisadas. Analisando os graus-dia de aquecimento observa-se que a cidade de Curitiba possui o maior número de graus-dia; e o clima de São Luís possui o maior número de graus-dia de resfriamento.

A *ASHRAE Standard 90.1* classifica os climas com base no cálculo dos graus-dia de aquecimento e resfriamento. De acordo com o critério térmico adotado pela *Standard 90.1* para a definição das zonas climáticas, observa-se que o clima de Florianópolis e Curitiba pertencem a zona climática 2 e a cidade de São Luís pertence a zona climática 1. As transmitâncias térmicas das paredes e coberturas para edificações comerciais indicadas pela *ASHRAE Standard 90.1* para as cidades brasileiras podem ser observadas na Tabela 4.

A *ASHRAE Standard 90.1* será utilizada nesta pesquisa para comparar os valores adotados por esta norma de limites máximos de transmitância térmica dos componentes opacos com os valores encontrados de limites máximos de transmitância térmica dos componentes opacos no desenvolvimento desta pesquisa, referentes aos climas adotados.

Tabela 4. Limites da transmitância térmica adotados pela ASHRAE *Standard 90.1*.

Cidade brasileira	Zona	Paredes externas		Coberturas	
		Transmitância (W/m ² K)		Transmitância (W/m ² K)	Tipo
		Wood Framed	Mass		
Florianópolis	2	0,504	3,293	0,369	Metal Building
				0,192	Attic
Curitiba	2	0,504	3,293	0,369	Metal Building
				0,192	Attic
São Luís	1	0,504	3,293	0,369	Metal Building
				0,192	Attic

Os valores de padrões de uso adotados foram de 8h e 12h, os quais representam padrões de uso de edificações comerciais. As schedules de ocupação podem ser observadas na Figura 3. Salienta-se que no programa *EnergyPlus* a definição de 100% de uso na hora 11, por exemplo, significa que o sistema está em uso desde o início da hora 10 até o início da hora 11.

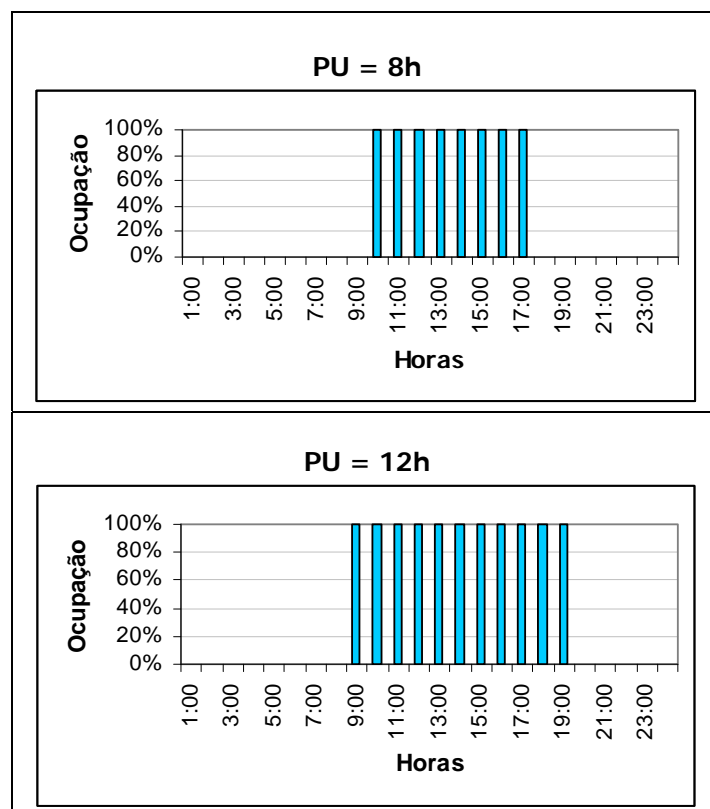


Figura 3. Padrão de uso adotado para pessoas e equipamentos.

Adotaram-se 2 valores de densidade de carga interna instalada, sendo que nestes valores estão incluídos os ganhos com iluminação, equipamentos e pessoas, como podem ser observados na Tabela 5. Pelo fato do trabalho ser realizado em edificações do tipo comercial, adotou-se o valor de 120W de calor dissipado por pessoa, representando a atividade de escritório.

Tabela 5. Valores de densidade de carga interna instalada.

ILD = 30W/m ²				ILD = 70W/m ²			
	Qtd	W/m ²	%		Qtd	W/m ²	%
Ilum. (W/m ²)	12	12	20%	Ilum. (W/m ²)	16	16	27%
Pes. (m ² /pes)	15	8	13%	Pes. (m ² /pes)	5	24	40%
Equip. (W/pes)	150	10	17%	Equip. (W/pes)	150	30	50%
Total	-	30		Total	-	70	

O fator solar é a razão do ganho de calor solar através de um determinado vidro para o ganho de calor solar do vidro padrão (definido como um vidro incolor de 3mm), sob circunstâncias idênticas. É o índice mais conhecido e geralmente aceito, tanto na indústria como na construção civil como referência comparativa entre vidros. Nas simulações foram adotados os valores de 0,87 o qual representa um vidro claro, e 0,58 representando um vidro refletivo.

Em relação à absorvância das superfícies externas das paredes e coberturas foram adotados os valores: 0,20 (superfície branca) e 0,90 (superfície preta), podendo assim analisar a influência deste parâmetro em relação ao consumo de energia elétrica da edificação. Durante as simulações, quando a parede da edificação for adotada com um valor baixo (20%) ou alto (90%) de absorvância à radiação solar, a cobertura será adotada com um valor médio de absorvância à radiação solar de 50%. Na análise das coberturas com valores baixo (20%) e alto (90%) as paredes serão adotadas com um valor médio de absorvância de 50%.

Adotou-se o valor de infiltração 0,3 trocas de ar por hora. Para este parâmetro, elaborou-se uma *schedule* de infiltração de 100% de funcionamento durante o período de 24h.

O piso das tipologias foi adotado com uma camada de argamassa de reboco, laje de concreto, argamassa de reboco e piso cerâmico, resultando em uma transmitância

térmica de $3,20\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Os valores da temperatura do solo para calcular a laje em contato com o piso foram adotados os valores encontrados nos arquivos climáticos.

O sistema de condicionamento de ar adotado foi o de janela com coeficiente de performance (COP) de $3,19\text{W}_{\text{térmico}}/\text{W}_{\text{elétrico}}$ (Watts de capacidade de refrigeração por Watt elétrico consumido), o qual representa um eficiente sistema de condicionamento de ar (tipo A). Será também utilizado o coeficiente de performance de $1,82\text{W}_{\text{térmico}}/\text{W}_{\text{elétrico}}$, representando um sistema menos eficiente (tipo E). O valor do COP de $1,82\text{W}_{\text{térmico}}/\text{W}_{\text{elétrico}}$ não foi um parâmetro utilizado juntamente com as simulações para otimizar o tempo gasto com as análises e sendo que, com o resultado do consumo de cada caso com a utilização do COP de $3,19\text{W}_{\text{térmico}}/\text{W}_{\text{elétrico}}$ é possível calcular o quanto seria o consumo deste caso com a utilização de um coeficiente de performance menos eficiente. O cálculo baseia-se no consumo do sistema de condicionamento de ar. O consumo do sistema de condicionamento de ar deve ser multiplicado pela razão dos COPs, ou seja, se o consumo do sistema de condicionamento de ar foi de 15.000kWh para um sistema com COP de $3,19$, o consumo deste sistema com COP de $1,82$ será de 26291kWh . O sistema de condicionamento de ar será adotado ao longo de todo o ano, possuindo as temperaturas de controle de 20°C para aquecimento e 24°C para resfriamento.

Os valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (C) das quatro diferentes construções de paredes e coberturas adotadas foram obtidos através da NBR- 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 3. Preocupou-se em adotar construções típicas de edificações comerciais no Brasil. O cálculo da transmitância e da capacidade térmica das paredes e cobertura foi calculado de acordo com a NBR- 15220: Desempenho térmico de edificações – Parte 1. Para o desenvolvimento desta pesquisa, será utilizada a Parte 2 da NBR 15220, onde se encontram métodos de cálculo para a transmitância (U) e capacidade térmica (C) dos componentes opacos e a Parte 3, onde há uma tabela (Tabela D.3) com valores de transmitância e capacidade térmica já calculados para alguns tipos de construções de paredes e coberturas.

A Tabela 6 apresenta os valores de transmitância e capacidade térmica das paredes e coberturas das construções adotadas.

Tabela 6. Transmitância e capacidade térmica das paredes e coberturas adotadas.

Paredes	U(W/m ² K)	C(J/m ² K)
Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares (20cm)	1,00	328
Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares (10cm)	1,50	268
Parede de tijolos de 6 furos quadrados (14cm)	2,00	200
Parede de concreto maciço de 10cm de espessura	4,00	286
Coberturas		
Cobertura de telha de fibro-cimento, lã de vidro e laje de concreto	1,00	78
Cobertura de telha de fibro-cimento e laje de concreto	1,50	77
Cobertura de telha de barro com forro de madeira	2,00	60
Cobertura de telha de barro	4,00	77

Para analisar a influência da inércia e do isolante térmico no desempenho térmico das edificações realizou-se a mudança da construção da parede com transmitância de 4,00W/m²K adotada como base, como pode ser observada na Figura 4.

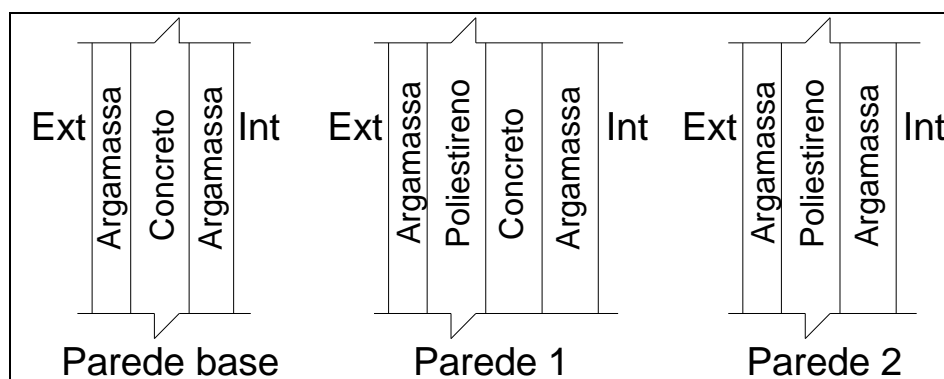


Figura 4. Novos layouts de paredes.

Na nova construção Parede 1 observa-se a adição de uma camada de isolante térmico em relação à Parede base. E na Parede 2, observa-se a troca da camada de concreto por uma camada de isolante térmico. As espessuras das novas camadas de materiais foram calculadas de forma que a transmitância térmica das paredes permanecesse com o mesmo valor da Parede base: 4,00W/(m²K).

A substituição de materiais da Parede base resultou em valores distintos de capacidade térmica entre as paredes analisadas como pode ser observado através da Tabela 7.

Tabela 7. Valores de capacidade térmica das paredes adotadas.

	Espessura (m)			U (W/m ² K)	C(J/m ² K)
	Concreto	Poliestireno	Argamassa		
Parede base	0,094	-	0,015	4,00	286
Parede 1	0,028	0,005	0,01	4,00	107
Parede 2	-	0,005	0,019	4,00	38

Salienta-se que geralmente não é utilizado concreto maciço nas paredes das edificações. Mas, optou-se em utilizar como parede base a construção de parede com transmitância igual a 4,00W/m²K já que esta possui uma camada de concreto, o que facilita no cálculo de paredes com diferentes materiais, mas com os mesmos valores de transmitância térmica.

Optou-se em adotar a camada de poliestireno antes da camada de concreto na construção da Parede 2, pois através de simulações observou-se que este tipo de construção possui um melhor desempenho térmico ao invés de colocar a camada de poliestireno depois da camada de concreto.

Adotou-se o poliestireno como isolante térmico para analisar a influência deste na estrutura das paredes das edificações, pois mesmo quando este isolante é utilizado em pequenas espessuras apresenta uma boa capacidade de isolamento térmico. O valor da condutividade térmica do poliestireno é de 0,03W/mK.

3.5 Balanço térmico

O balanço de energia para cada componente da edificação no programa *EnergyPlus*, envolve os processos de condução, convecção e de radiação os quais ocorrem nas superfícies internas e externas do edifício. Os ganhos de calor internos com o sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar, equipamentos, infiltração e pessoas são de extrema importância para o cálculo do balanço térmico na edificação. As superfícies interagem com o ar da zona por convecção. O balanço térmico no ar envolve o processo de convecção em relação às superfícies internas dos

componentes opacos, as cargas internas, ao ar que o sistema de condicionamento de ar insere na zona e ao sistema de ventilação e infiltração presentes na zona.

A metodologia utilizada para analisar os ganhos e perdas de calor será baseada no cálculo do fluxo de calor por convecção entre as temperaturas internas de cada superfície (cobertura, paredes, piso e janelas) com a temperatura do ambiente no qual está inserida. Utilizando uma planilha Excel e os dados fornecido pelo programa *EnergyPlus* foi possível calcular hora a hora os ganhos e as perdas de calor da edificação.

A área de cada componente construtivo é multiplicada pela diferença de temperatura entre a superfície e o ar interno da zona e depois multiplicado pelo coeficiente de convecção referente a cada superfície, obtido através do programa *EnergyPlus*. Na soma destas multiplicações é adicionado o ganho total do sistema de iluminação, equipamentos e pessoas; e depois subtraído ou somado com o valor referente ao ganho ou perda com a infiltração de hora em hora.

Serão analisados hora a hora os ganhos internos com o sistema de iluminação, equipamentos, pessoas, infiltração e o fluxo de calor por convecção entre as estruturas internas e o ar. A soma hora a hora do balanço térmico representa o quanto de calor deve ser adicionado ou retirado do ambiente, permitindo que o usuário analise os ganhos e perdas de calor através dos componentes opacos, originados para cargas internas e cargas para o envelope.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados da análise da influência da transmitância e capacidade térmica das paredes e coberturas, a influência da inércia e isolamento térmico nas edificações e os resultados de ganhos e perdas de calor dos componentes opacos através da metodologia adotada.

4.2 Tipologia 1

4.2.1 Padrão de uso

Para aqueles casos com padrão de uso de 8h; densidade de carga interna baixa (30W/m^2); baixa absorvância superficial externa das paredes (20%); fator solar do vidro refletivo (0,58) e WWR de 20%.

O aumento da transmitância térmica das paredes da tipologia 1 representou um menor consumo de energia dos modelos simulados para as cidades de Florianópolis e Curitiba quando se compara a parede com transmitância térmica de $1\text{W/m}^2\text{K}$ com a parede com transmitância térmica de $4\text{W/m}^2\text{K}$, mas analisando os modelos para o clima de São Luís observa-se que quando se aumenta a transmitância térmica das paredes o consumo anual aumenta (Figura 5).

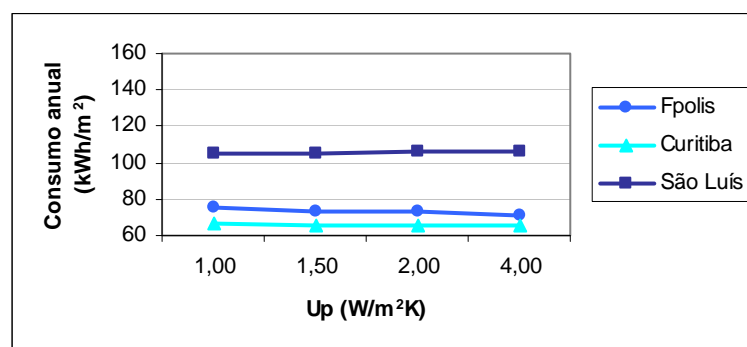


Figura 5. Consumo anual baseado no padrão de uso de 8h.

Observa-se que para a cidade de Florianópolis o aumento da transmitância da parede de $1\text{W/m}^2\text{K}$ para $4\text{W/m}^2\text{K}$ reduz o consumo em 5% (3.433kWh); já para a cidade de Curitiba o consumo reduz em 2% (1.303kWh). Para a cidade de São Luís observa-se um aumento do consumo anual em 1% (776kWh).

O consumo do sistema de condicionamento de ar da edificação localizada em Florianópolis com as paredes com transmitância térmica de $1\text{W/m}^2\text{K}$ é de 19.616kWh . Aumentando a transmitância térmica das paredes para $4\text{W/m}^2\text{K}$ o funcionamento do sistema de condicionamento de ar é reduzido, diminuindo o consumo para 16.179kWh . Para Curitiba o consumo do sistema de condicionamento de ar é reduzido em 10% e para São Luís o consumo aumenta em 2%.

Aumentando o padrão de uso destes casos para 12h (Figura 6), nota-se que a redução do consumo anual para as cidades de Florianópolis e Curitiba aumenta para 6% (5.354kWh) e 4% (3.394kWh), respectivamente. Para o clima de São Luís o consumo anual permanece praticamente constante.

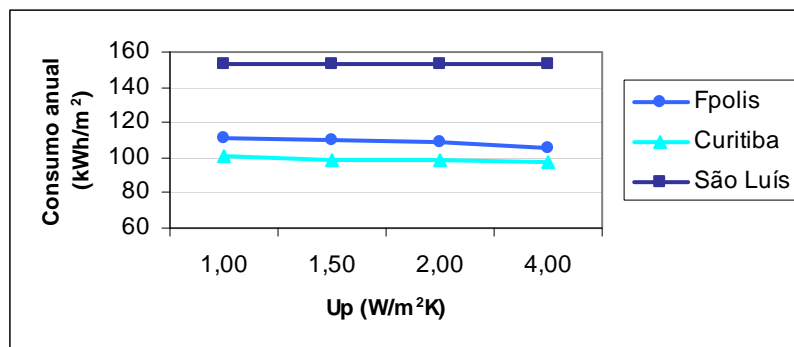


Figura 6. Consumo anual baseado no padrão de uso de 12h.

O aumento do padrão de uso nestes casos resulta em uma maior utilização da carga interna instalada, refletindo no aumento do consumo anual da edificação. Entretanto, o aumento da transmitância das paredes dos modelos facilita a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo, diminuindo o consumo anual, como pode ser observado nos climas de Florianópolis e Curitiba. O consumo do sistema de condicionamento de ar é reduzido em 19% para Florianópolis e 17% para Curitiba. Para São Luís o consumo do sistema de condicionamento de ar permanece praticamente constante.

4.2.2 Fator Solar

Para aqueles casos com FS de 0,87; padrão de uso de 8h; densidade de carga interna alta (70W/m^2); baixa absorvância superficial externa das paredes (20%) e WWR de 80%.

Através da Tabela 8 observa-se que para estes casos simulados o aumento da transmitância térmica reduz o consumo anual das edificações para os três climas simulados.

Tabela 8. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,87.

Clima	U_p (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	179,91	-2,0	61,467	-5,0
	4,00	176,45		58,448	
Curitiba	1,00	166,95	-2,5	50,145	-7,3
	4,00	162,76		46,479	
São Luís	1,00	245,44	-1,3	118,734	-2,3
	4,00	242,27		115,977	

O aumento da transmitância térmica para 4W/m²K reduziu o consumo anual da edificação em torno de 2% para todos os climas analisados quando comparado com a parede com transmitância de 1W/m²K; para a cidade de Florianópolis a redução foi de 3,46kWh/m², para Curitiba a redução foi de 4,19kWh/m² e para São Luís a redução foi de 3,17kWh/m². Entretanto, analisando a redução do consumo do sistema de condicionamento de ar observa-se que a redução para a cidade de Curitiba foi de 7,3%, seguido da cidade de Florianópolis com 5,0% e de São Luís com 2,3%.

Utilizando o vidro com fator solar de 0,58, a redução do consumo anual e do consumo dos sistemas de condicionamento de ar das edificações é semelhante à redução com a utilização do vidro claro, como mostra a Tabela 9. Mas, analisando o valor final do consumo dos sistemas de condicionamento de ar para as paredes com transmitância de 4W/m²K entre os casos simulados com fator solar de 0,87 e 0,58 nota-se que este é reduzido em 12% para Florianópolis, em 16% para Curitiba e em 10% para São Luís.

Tabela 9. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,58.

Clima	U_p (W/m^2K)	Consumo anual (kWh/m^2)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	170,99	-1,6	53,670	-4,2
	4,00	168,38		51,390	
Curitiba	1,00	157,32	-2,0	41,727	-6,6
	4,00	154,16		38,960	
São Luís	1,00	230,87	-0,9	106,001	-1,7
	4,00	228,81		104,206	

Apesar dos vidros com fator solar de 0,87 e 0,58 possuírem praticamente a mesma redução do consumo anual quando se compara as paredes com transmitância de $1W/m^2K$ com a parede de $4W/m^2K$, nota-se que a utilização do vidro com o menor fator solar reduz o valor do consumo anual pois este tipo de vidro apresenta um menor ganho solar quando comparado com o vidro de coeficiente de 0,87.

4.2.3 Percentual de área de janela nas fachadas

Para aqueles casos com WWR de 20%; padrão de uso de 12h; densidade de carga interna alta ($70W/m^2$); baixa absorvância superficial externa das paredes (20%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Analisando o aumento da transmitância térmica com base no consumo anual dos casos simulados, observa-se que para todos os climas adotados o valor do consumo anual é reduzido com o aumento da transmitância térmica. A redução do consumo anual pode ser analisada através da Figura 7.

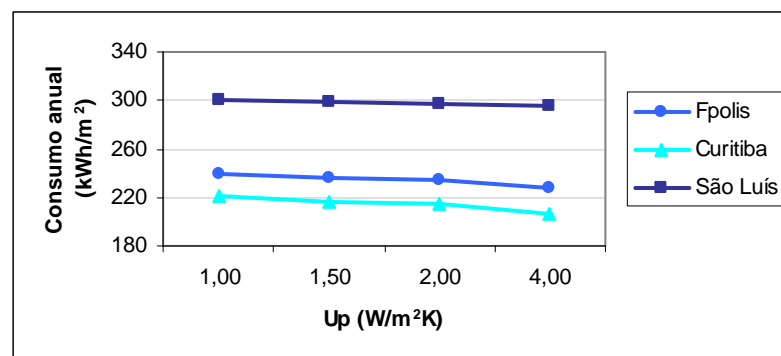


Figura 7. Consumo anual baseado no WWR de 20%.

Comparando o valor do consumo anual com a utilização das paredes com transmitância térmica de $1\text{W/m}^2\text{K}$ e $4\text{W/m}^2\text{K}$ nota-se a redução deste em 5% (9,962kWh) para o clima de Florianópolis, 7% (12,917kWh) para o clima de Curitiba e 2% (4,504kWh) para o clima de São Luís. Com relação ao consumo do sistema de condicionamento de ar, observou-se que para a cidade de Curitiba a redução foi de 26% com o aumento da transmitância térmica das paredes. Florianópolis e São Luís reduziram em 15% e 4%, respectivamente.

O aumento do percentual de janelas na fachada para 50% reflete em um aumento do consumo anual dos casos simulados em razão do aumento dos ganhos solares através das janelas para o ambiente interno. Mas, analisando o aumento da transmitância térmica das paredes com o novo valor de WWR observa-se que o consumo anual das edificações também sofre redução de 3% para Florianópolis, 5% para Curitiba e 2% para São Luís (Figura 8).

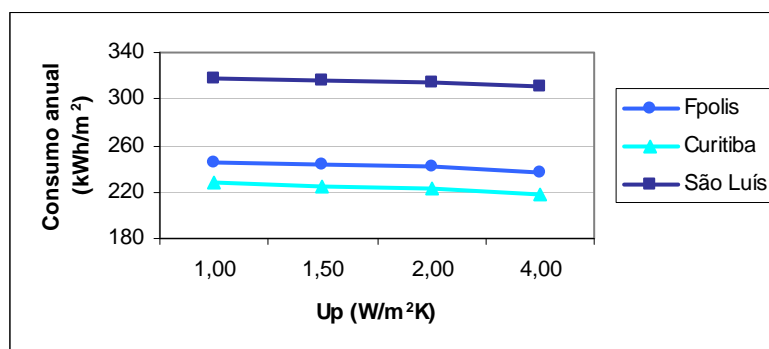


Figura 8. Consumo anual baseado no WWR de 50%.

A redução do consumo do sistema de condicionamento de ar para estes casos foi menor que a redução do caso anterior, contudo a redução continua sendo significativa. Para a cidade de Curitiba a redução foi de 17%, Florianópolis foi de 10% e São Luís de 3%.

Através da Tabela 10 observa-se que o aumento da transmitância térmica das paredes com a utilização do WWR de 80% também refletiu em uma redução do consumo anual. Nota-se que as reduções são menos significativas quando comparadas com os casos com a utilização do WWR de 20% e 50%, pelo fato das edificações receberem uma maior quantidade de radiação solar através das janelas.

Tabela 10. Consumo anual baseado no WWR de 80%.

Clima	U_p (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	251,76	-1,5	76,377	-4,3
	4,00	247,98		73,075	
Curitiba	1,00	232,92	-2,0	59,913	-6,7
	4,00	228,31		55,882	
São Luís	1,00	331,35	-0,9	145,939	-1,7
	4,00	328,50		143,448	

A utilização do WWR de 80% nas fachadas das edificações representou um aumento do consumo anual em relação aos casos anteriores simulados, sendo que o maior aumento é observado no clima de São Luís. Com relação ao caso com a utilização do WWR de 20% com o caso com o WWR de 80% para as paredes com transmitância de 1W/m²K, o consumo anual de São Luís aumentou em 30kWh/m². Para os outros climas o aumento foi de aproximadamente de 12kWh/m². A redução do consumo dos sistemas de condicionamento de ar foi menos representativa nos casos com o WWR de 80%, sendo que a maior redução (6.7%) ocorreu para a cidade de Curitiba.

4.2.4 Absortância superficial das paredes

Para aqueles casos com absortância de 0,2 (branco); padrão de uso de 8h; densidade de carga interna baixa (30W/m²); WWR de 20% e fator solar do vidro claro (0,87).

Através da Figura 9 pode-se observar que a combinação destes parâmetros juntamente com um baixo fator de absortância à radiação solar resulta na diminuição do consumo anual com o aumento da transmitância térmica das paredes para o clima de Florianópolis e Curitiba, para São Luís.

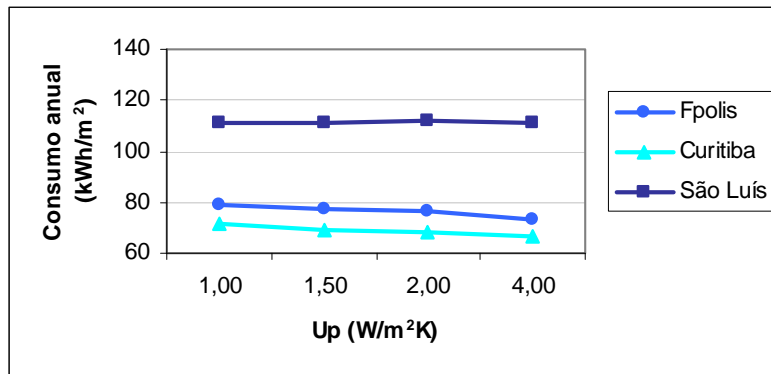


Figura 9. Consumo anual baseado na absorptância de 0,2.

Comparando o consumo anual da parede com transmitância térmica de $1W/m^2K$ com o da parede com transmitância térmica de $4W/m^2K$ para o clima de Florianópolis e Curitiba observa-se uma redução de 7% do consumo anual. Analisando o consumo do sistema de condicionamento de ar inserido nas edificações, observou-se que para a cidade de Curitiba a redução foi de 24%, seguido de Florianópolis com uma redução de 21%. Para a cidade de São Luís o consumo do sistema de condicionamento de ar permaneceu praticamente constante.

Aumentando a absorptância à radiação solar destes casos para 0,9 (Figura 10) reflete em um aumento do consumo anual e do consumo dos sistemas de condicionamento de ar com relação ao aumento da transmitância térmica das paredes para as cidades analisadas.

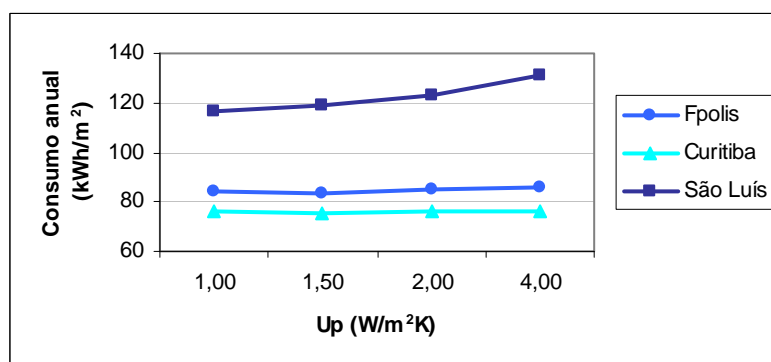


Figura 10. Consumo anual baseado na absorptância de 0,9.

Para Florianópolis e Curitiba o aumento da transmitância térmica de $1W/m^2K$ para $4W/m^2K$ aumentou o consumo anual da edificação em 3% (1,823kWh) e 1% (242kWh), respectivamente. Para São Luís o aumento do consumo foi de 12%

(12,456kWh). O maior aumento do consumo do sistema de condicionamento de ar percebeu-se na cidade de São Luís (18%).

O aumento da absorvância à radiação solar de uma parede branca para uma parede preta irá refletir no aumento do consumo anual em razão da parede com absorvância de 0,9 absorver mais calor, aumentando os ganhos de calor interno. E quanto maior for a transmitância térmica utilizada nas paredes combinada com a alta absorvância à radiação solar, maior será a influência dos ganhos externos para o ambiente interno resultando em uma maior utilização do sistema de condicionamento de ar.

4.2.5 Carga interna instalada

Para aqueles casos com carga interna instalada de 30W/m^2 ; padrão de uso de 8h; WWR de 50%; baixa absorvância superficial externa das paredes (20%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

O aumento da transmitância térmica para estes casos representou uma redução no consumo anual das edificações, como pode ser observado através da Figura 11.

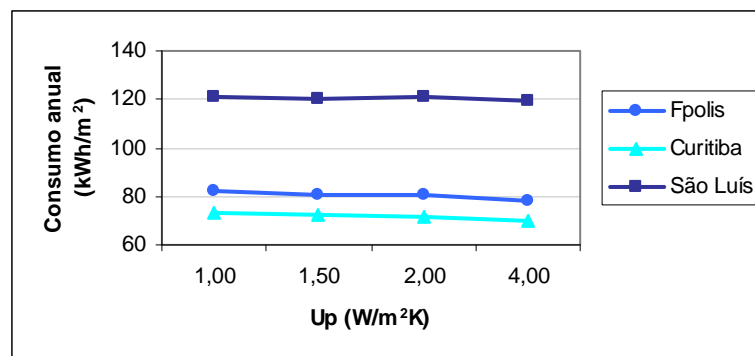


Figura 11. Consumo anual baseado na carga interna instalada de 30W/m^2 .

A utilização de uma parede com transmitância de $4\text{W/m}^2\text{K}$ reduz o consumo anual para o clima de Florianópolis e Curitiba em 5% quando comparado com a utilização da parede com transmitância de $1\text{W/m}^2\text{K}$. Para o clima de São Luís a redução foi de 1%. Analisando o consumo dos sistemas de condicionamento de ar observou-se que para todos os climas analisados ocorreu a redução do consumo destes. Reduzindo em 16% para Curitiba, 13% para Florianópolis e 2% para São Luís.

Aumentando a carga interna instalada nestes casos para 70W/m^2 (Figura 12), observa-se um aumento representativo no consumo anual em razão do aumento das cargas instaladas nas edificações. Entretanto, o aumento da transmitância térmica nestes casos simulados com alta densidade de carga interna instalada representou uma redução de 4% ($5,008\text{kWh}$) para Florianópolis e 5% ($6,188\text{kWh}$) para Curitiba. Para o clima de São Luís a redução do consumo anual foi mais representativa quando comparada aos casos com baixa densidade de carga interna instalada, apresentando uma redução de 2% ($3,067\text{kWh}$)

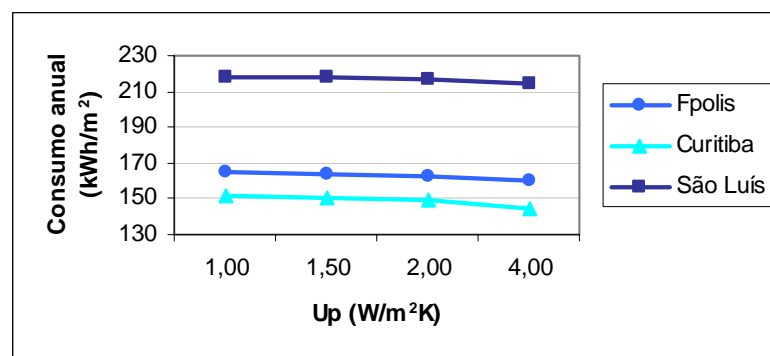


Figura 12. Consumo anual baseado na carga interna instalada de 70W/m^2 .

Observa-se que mesmo utilizando uma alta densidade de carga interna instalada na combinação destes modelos o consumo anual é reduzido em relação ao aumento da transmitância térmica das paredes. O aumento da transmitância térmica das paredes facilita na dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo, reduzindo a utilização do sistema de condicionamento de ar. Para Curitiba, a redução do consumo do sistema de condicionamento de ar foi de 16%, para Florianópolis de 10% e São Luís em 3%.

4.2.6 Coeficiente de performance

Para analisar representatividade da influência do COP de 3,19 e 1,82 nos casos simulados adotou-se o caso com padrão de uso de 8h; WWR de 20%; carga interna instalada baixa (30W/m^2); alta absorvância superficial externa das paredes (90%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Através da Figura 13 observa-se que a alta eficiência do sistema de condicionamento do ar instalada na edificação é de extrema importância para a redução do consumo anual de energia da edificação.

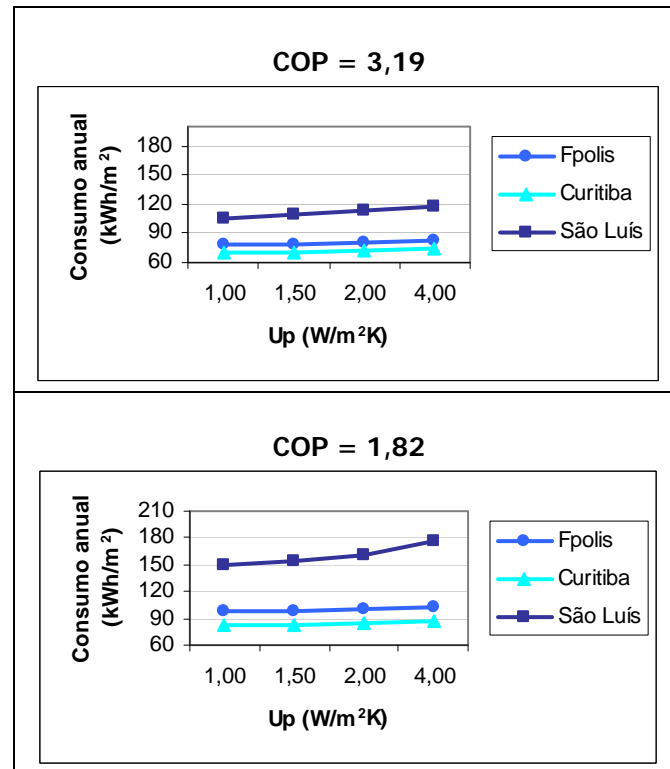


Figura 13. Consumo anual baseado no coeficiente de performance.

Observa-se que o sistema de condicionamento de ar com COP de 3,19 possui um melhor funcionamento e um menor consumo quando comparado com o sistema de COP de 1,82 uma vez que este possui uma maior capacidade de refrigeração por watt elétrico consumido.

Comparando a utilização do sistema com COP de 3,19 com o sistema com COP 1,82 nestes casos, observa-se que o consumo anual aumenta significativamente para todos os climas adotados utilizando um COP menos eficiente; sendo que o maior aumento é de 60kWh/m² para o clima de São Luís comparando as paredes com transmitância térmica de 4W/m²K.

4.2.7 Inércia térmica

Para analisar a influência da inércia térmica no desempenho térmico das edificações optou-se em analisar a substituição dos materiais nas paredes da tipologia 1 em razão desta possuir uma maior representatividade de ganhos de calor pelas paredes.

A construção da parede adotada (Parede base) para a análise foi a parede construída com concreto maciço com valor de transmitância igual a $4\text{W/m}^2\text{K}$ e capacidade térmica de $286\text{J/m}^2\text{K}$. A substituição de materiais da Parede base resultou em duas novas construções de paredes (Parede 1 e Parede 2), ambas com o mesmo valor de transmitância térmica da Parede base, mas com diferentes valores de capacidade térmica: $107\text{J/m}^2\text{K}$ e $38\text{J/m}^2\text{K}$, respectivamente.

Analisou-se primeiramente a representatividade da influência da inércia térmica em relação à absorptância das paredes de 0,20 e 0,90 nos casos simulados com padrão de uso de 8h; WWR de 20%; carga interna instalada baixa (30W/m^2) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Através da Figura 14 pode-se observar que a utilização de valor de 0,20 e 0,90 para a absorptância à radiação solar das paredes nestes casos representou um aumento no consumo anual das edificações quando o valor da capacidade térmica é reduzido.

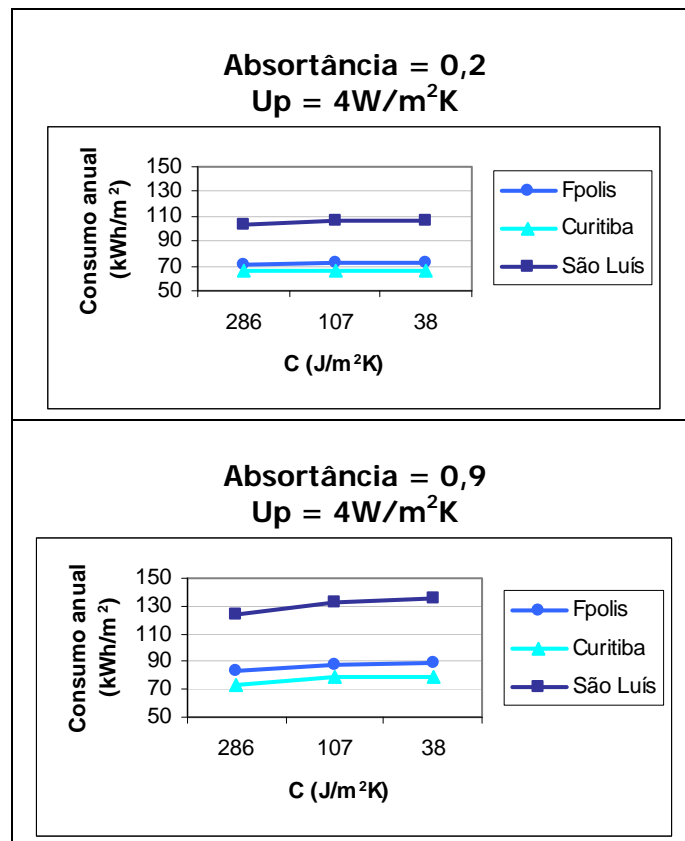


Figura 14. Influência da inércia térmica em relação à absorptância solar.

Observa-se que quanto menor for a inércia térmica das paredes maior será o consumo anual para os climas adotados. O consumo anual aumenta em 2% para o clima de Florianópolis e Curitiba com a utilização do valor de 0,20 de absorptância à radiação solar das paredes nestes casos. Para São Luís, o aumento foi de 3%. Utilizando um valor de absorptância à radiação solar maior, o aumento do consumo anual destes casos é mais representativo; sendo que para Florianópolis o aumento foi de 7%, para Curitiba de 8% e São Luís de 9%.

Para ambos os casos simulados observou-se que quanto menor for a inércia térmica das paredes maior será o utilização do sistema de condicionamento de ar para as três cidades analisadas. A maior diferença observada (21%) foi na cidade de Curitiba para os casos com valor de absorptância de 0,9, comparando as paredes com capacidade térmica de 286J/m²K e 38J/m²K.

Analisou-se também a representatividade da influência da inércia térmica em relação ao padrão de uso de 8h e 12h nos casos simulados com WWR de 20%; carga interna instalada alta (70W/m²); baixa absorptância solar das paredes (20%); e fator solar do vidro claro (0,87).

A influência da inércia térmica com a utilização do padrão de uso de 8h e 12h nestes casos simulados pode ser observada através da Figura 15.

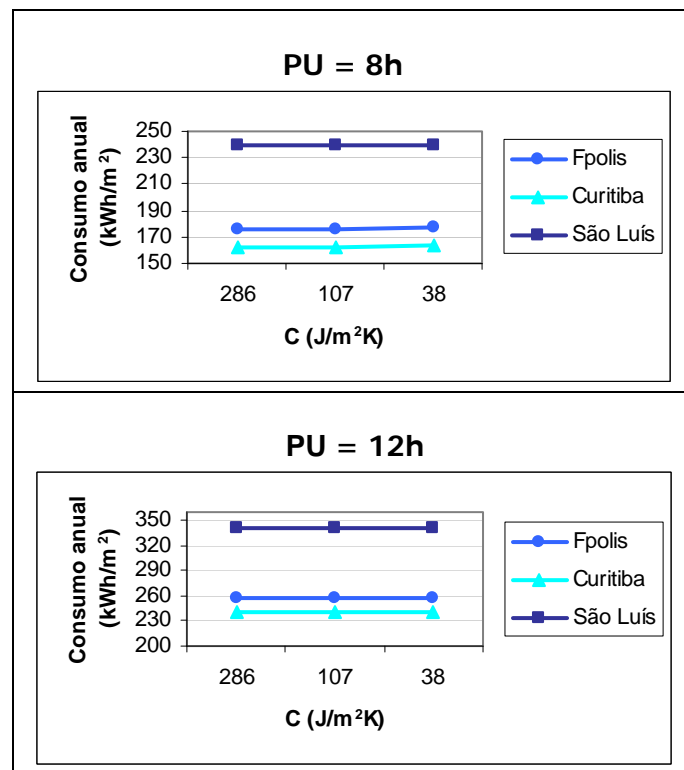


Figura 15. Influência da inércia térmica em relação ao padrão de uso.

Os casos simulados com o padrão de uso de 8h representaram um aumento do consumo anual da edificação em relação à Parede base de aproximadamente de 2% para os climas adotados. Para os casos simulados com padrão de uso de 12h o aumento no consumo anual das edificações para os três climas foi de 1%. Nos casos onde há a utilização do padrão de uso de 12h juntamente com a utilização da alta densidade de carga interna faz com que o aumento da transmitância térmica das paredes apresente uma redução mais significativa do consumo anual, pois o calor gerado internamente é dissipado para o ambiente externo com maior facilidade. A diferença entre os consumos dos sistemas de condicionamento de ar referentes aos diferentes valores de inércia térmica foi menor que 5% para todos os climas analisados.

Analisou-se o aumento do WWR para 80% para estes casos e observou-se um pequeno aumento do consumo anual das edificações. Os casos onde o padrão de uso adotado foi de 12h, o consumo anual permaneceu praticamente constante para as três

diferentes construções de paredes. O aumento do consumo anual das tipologias com o padrão de uso de 8h foi de aproximadamente 1% para todos os climas adotados. A utilização de uma carga interna alta juntamente com um valor de WWR de 80% influenciou nos ganhos internos da edificação, fazendo com que o consumo anual das edificações não variasse significativamente em relação à diminuição da utilização da inércia térmica. A maior diferença encontrada no consumo do sistema de condicionamento de ar foi para a cidade de Curitiba no caso com padrão de uso de 8h, resultando em 8%.

4.2.8 Sumarização dos resultados – Tipologia 1

Optou-se em sumarizar os resultados referentes aos casos simulados utilizando a Tipologia 1 em uma tabela para uma melhor observação e compreensão dos resultados obtidos.

Através da Tabela 11 pode-se observar a sumarização dos resultados referentes aos casos simulados para a Tipologia 1.

Tabela 11. Sumarização dos resultados – Tipologia 1.

Clima	PU (h)	Fator solar	WWR (%)	Absort.	ILD (W/m ²)	Up (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Consumo HVAC (kWh)
FLN	8	0,58	20	0,2	30	1,00	74,85	19,616
	8	0,58	20	0,2	30	4,00	70,92	16,179
CRT	8	0,58	20	0,2	30	1,00	67,03	12,780
	8	0,58	20	0,2	30	4,00	65,54	11,477
SL	8	0,58	20	0,2	30	1,00	105,35	46,273
	8	0,58	20	0,2	30	4,00	106,24	47,047
FLN	12	0,58	20	0,2	30	1,00	111,61	28,840
	12	0,58	20	0,2	30	4,00	105,48	23,484
CRT	12	0,58	20	0,2	30	1,00	101,04	19,601
	12	0,58	20	0,2	30	4,00	97,16	16,206
SL	12	0,58	20	0,2	30	1,00	153,51	65,459
	12	0,58	20	0,2	30	4,00	153,40	65,361
FLN	8	0,87	80	0,2	70	1,00	179,91	61,467
	8	0,87	80	0,2	70	4,00	176,45	58,448

Clima	PU (h)	Fator solar	WWR (%)	Absort.	ILD (W/m ²)	Up (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Consumo HVAC (kWh)
CRT	8	0,87	80	0,2	70	1,00	166,95	50,145
	8	0,87	80	0,2	70	4,00	162,76	46,479
SL	8	0,87	80	0,2	70	1,00	245,44	118,734
	8	0,87	80	0,2	70	4,00	242,27	115,977
FLN	8	0,58	80	0,2	70	1,00	170,99	53,670
	8	0,58	80	0,2	70	4,00	168,38	51,390
CRT	8	0,58	80	0,2	70	1,00	157,32	41,727
	8	0,58	80	0,2	70	4,00	154,16	38,960
SL	8	0,58	80	0,2	70	1,00	230,87	106,001
	8	0,58	80	0,2	70	4,00	228,81	104,206
FLN	12	0,58	20	0,2	70	1,00	238,87	65,107
	12	0,58	20	0,2	70	4,00	227,47	55,148
CRT	12	0,58	20	0,2	70	1,00	221,21	49,675
	12	0,58	20	0,2	70	4,00	206,43	36,757
SL	12	0,58	20	0,2	70	1,00	299,91	55,315
	12	0,58	20	0,2	70	4,00	294,76	46,051
FLN	12	0,58	50	0,2	70	1,00	245,99	71,329
	12	0,58	50	0,2	70	4,00	237,60	63,996
CRT	12	0,58	50	0,2	70	1,00	227,66	59,913
	12	0,58	50	0,2	70	4,00	217,07	55,882
SL	12	0,58	50	0,2	70	1,00	316,83	118,455
	12	0,58	50	0,2	70	4,00	311,50	113,953
FLN	12	0,58	80	0,2	70	1,00	251,76	76,377
	12	0,58	80	0,2	70	4,00	247,98	73,075
CRT	12	0,58	80	0,2	70	1,00	232,92	59,913
	12	0,58	80	0,2	70	4,00	228,31	55,882
SL	12	0,58	80	0,2	70	1,00	331,35	145,939
	12	0,58	80	0,2	70	4,00	328,50	143,448

Clima	PU (h)	Fator solar	WWR (%)	Absort.	ILD (W/m ²)	Up (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Consumo HVAC (kWh)
FLN	8	0,87	20	0,2	30	1,00	79,35	23,548
	8	0,87	20	0,2	30	4,00	73,60	18,518
CRT	8	0,87	20	0,2	30	1,00	71,40	16,545
	8	0,87	20	0,2	30	4,00	66,79	12,566
SL	8	0,87	20	0,2	30	1,00	111,50	51,645
	8	0,87	20	0,2	30	4,00	111,17	51,351
FLN	8	0,87	20	0,9	30	1,00	83,96	27,571
	8	0,87	20	0,9	30	4,00	86,04	29,396
CRT	8	0,87	20	0,9	30	1,00	75,99	20,610
	8	0,87	20	0,9	30	4,00	76,27	20,854
SL	8	0,87	20	0,9	30	1,00	116,76	56,242
	8	0,87	20	0,9	30	4,00	131,01	68,701
FLN	8	0,58	50	0,2	30	1,00	82,06	25,917
	8	0,58	50	0,2	30	4,00	78,18	22,520
CRT	8	0,58	50	0,2	30	1,00	73,39	18,334
	8	0,58	50	0,2	30	4,00	69,94	15,320
SL	8	0,58	50	0,2	30	1,00	121,03	59,976
	8	0,58	50	0,2	30	4,00	119,76	58,861
FLN	8	0,58	50	0,2	70	1,00	165,50	48,874
	8	0,58	50	0,2	70	4,00	159,77	43,864
CRT	8	0,58	50	0,2	70	1,00	152,08	37,138
	8	0,58	50	0,2	70	4,00	145,00	30,951
SL	8	0,58	50	0,2	70	1,00	218,30	95,017
	8	0,58	50	0,2	70	4,00	214,79	91,950

4.3 Tipologia 2

4.3.1 Padrão de uso

Para aqueles casos com padrão de uso de 8h; densidade de carga interna baixa (30W/m²); baixa absorvância superficial externa das paredes (20%); fator solar do vidro refletivo (0,58) e WWR de 20%.

O aumento da transmitância térmica da cobertura nestes casos, refletiu em um aumento do consumo anual, como pode ser observado através da Figura 16.

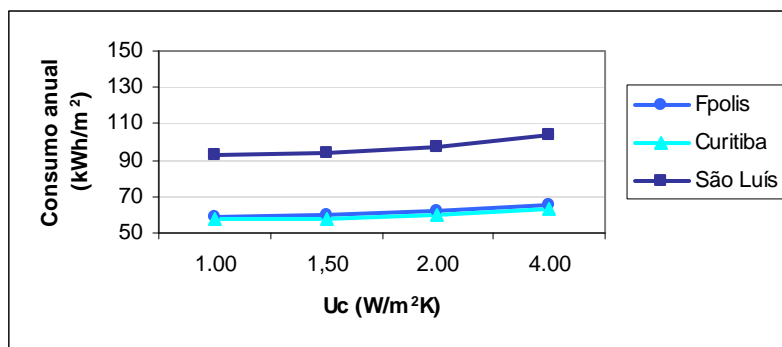


Figura 16. Consumo anual baseado no padrão de uso de 8h.

Para o clima de Florianópolis o aumento no consumo anual da edificação em relação à cobertura com $1\text{W/m}^2\text{K}$ para $4\text{W/m}^2\text{K}$ foi de 10% (14,149kWh). Para Curitiba e São Luís o aumento foi de 11% (16,380kWh) e 12% (27,827kWh), respectivamente. Com relação ao consumo do sistema de condicionamento de ar, tanto de aquecimento como de resfriamento, a edificação também apresentou um aumento para todos os climas simulados, sendo mais representativo para a cidade de Curitiba a qual apresentou um aumento de 36%.

O aumento do padrão de uso destes casos de 8h para 12h (Figura 17) também resultou em um aumento do consumo anual das edificações. Entretanto, analisando as coberturas com transmitância térmica de $1\text{W/m}^2\text{K}$ com $4\text{W/m}^2\text{K}$ observou-se que a utilização do padrão de uso de 12h para estes casos apresentou um menor aumento do consumo anual das edificações, quando comparados com os casos com padrão de uso de 8h para o clima de Florianópolis e São Luís. Para Florianópolis o aumento foi de 7% (15,984kWh) e para São Luís foi de 8% (26,770kWh). Para o clima de Curitiba, o aumento do consumo anual foi maior para os casos com padrão de uso de 12h do que para os casos com padrão de uso de 8h em 1%. O consumo do sistema de condicionamento de ar aumentou em 39% para a cidade de Curitiba com o aumento a transmitância térmica da cobertura para $4\text{W/m}^2\text{K}$. Para Florianópolis e São Luís o aumento foi de 24% e 14%, respectivamente.

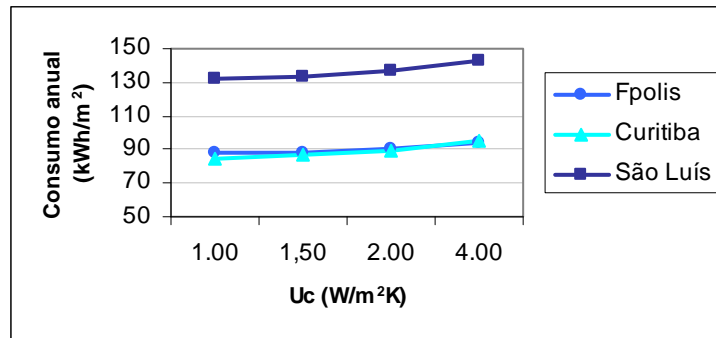


Figura 17. Consumo anual baseado no padrão de uso de 12h.

O aumento da transmitância térmica das coberturas resulta no aumento do consumo anual das edificações em razão deste componente opaco possuir ganhos solares durante grande parte do dia. Sendo assim, quanto maior a transmitância térmica da cobertura maior será o ganho externo para o ambiente interno. Nos casos com padrão de uso elevado, o aumento da transmitância térmica ajuda na dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo.

4.3.2 Fator solar

Para aqueles casos com FS de 0,87 e padrão de uso de 8h; densidade de carga interna alta (70W/m^2); baixa absorvância superficial externa da cobertura (20%) e WWR de 80%.

Para estes casos simulados o aumento da transmitância térmica da cobertura de $1\text{W/m}^2\text{K}$ para $4\text{W/m}^2\text{K}$ representou um aumento do consumo anual e no consumo do sistema de condicionamento de ar das edificações, como mostra a Tabela 12. O aumento dos sistemas foi de aproximadamente de 7% para todos os climas analisados.

Tabela 12. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,87.

Clima	U_c (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	135,88	1,9	100,493	6,1
	4,00	138,50		107,061	
Curitiba	1,00	128,18	1,9	81,243	7,1
	4,00	130,65		87,431	
São Luís	1,00	186,42	3,9	226,844	7,7
	4,00	193,97		245,716	

A utilização do fator solar no valor de 0,58 para os casos simulados apresenta uma maior diferença entre o consumo anual das edificações com relação aos casos onde foi utilizado um fator solar nos vidros de 0,87, como pode ser observado através da Tabela 13.

Tabela 13. Consumo anual baseado no vidro com fator solar de 0,58.

Clima	U_c (W/m ² K)	Consumo (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	134,65	2,3	97,422	7,4
	4,00	137,78		105,238	
Curitiba	1,00	126,69	2,4	77,535	9,2
	4,00	129,83		85,368	
São Luís	1,00	184,13	4,2	221,122	8,4
	4,00	192,22		241,343	

O valor do consumo anual das edificações com coberturas com transmitância térmica de 4W/m²K foi reduzido em aproximadamente 2kWh/m² para os climas simulados com a utilização do FS de 0,58. Observa-se que a diferença entre o consumo do sistema de condicionamento de ar também aumentou para todos os climas analisados com a utilização de um fator solar de 0,58.

4.3.3 Percentual de área de janela nas fachadas

Para aqueles casos com WWR de 20%; padrão de uso de 12h; densidade de carga interna alta (70W/m^2); baixa absorvância superficial externa da cobertura (20%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Analisando estes casos simulados com WWR de 20% através da Tabela 14 percebe-se que o consumo anual aumenta para todos os climas adotados. A cidade de São Luis apresentou a maior diferença entre o consumo anual e Curitiba apresentou a maior diferença entre o sistema de condicionamento de ar da edificação.

Tabela 14. Consumo anual baseado no WWR de 20%.

Clima	U_c ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Consumo anual (kWh/m^2)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	194,27	0,7	126.870	2,5
	4,00	195,57		130.116	
Curitiba	1,00	183,01	1,2	86.831	16,6
	4,00	185,18		104.138	
São Luís	1,00	257,22	2,4	284.254	5,3
	4,00	263,61		300.230	

Para estes casos, o consumo permanece praticamente constante até a utilização de $2\text{W/m}^2\text{K}$ de valor de transmitância térmica da cobertura. Quando a cobertura possui um valor maior de transmitância térmica, reflete no aumento do consumo anual da edificação.

Aumentando o WWR a 50% (Tabela 15), nota-se que o aumento do consumo anual para a cidade de Florianópolis é de aproximadamente 1kWh/m^2 e para Curitiba de 2kWh/m^2 , já para a cidade de São Luís o aumento é de aproximadamente 7kWh/m^2 . Observa-se que a diferença do consumo anual do sistema de condicionamento de ar para as cidades de Curitiba e Florianópolis é reduzida quando comparada com o caso anterior.

Tabela 15. Consumo anual baseado no WWR de 50%.

Clima	U_c (W/m ² K)	Consumo (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	196,90	0,5	133,454	1,7
	4,00	197,80		135,708	
Curitiba	1,00	185,45	1,1	104,099	5,4
	4,00	187,52		109,996	
São Luís	1,00	261,45	2,5	294,823	5,4
	4,00	268,18		311,647	

A utilização de um valor de WWR de 80% (Tabela 16), nestes casos, reflete em um aumento do consumo anual quando comparado com os casos simulados com WWR de 20% e de 50%.

Tabela 16. Consumo anual baseado no WWR de 80%.

Clima	U_c (W/m ² K)	Consumo (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	199,14	0,3	139.045	1,2
	4,00	199,80		140.690	
Curitiba	1,00	187,72	1,0	110.507	3,9
	4,00	189,53		115.036	
São Luís	1,00	265,21	2,6	304.218	5,4
	4,00	272,19		321.687	

Analisando o aumento do consumo anual dos casos com a cobertura de 1W/m²K para 4W/m²K e simulados com WWR de 20%, 50% e 80%, nota-se que a menor diferença do consumo anual foi dos casos simulados com o maior valor de WWR para as cidades de Florianópolis e Curitiba. Para a cidade de São Luís a diferença entre o consumo anual e a diferença entre o consumo do sistema de condicionamento de ar permaneceu praticamente constante para todos os casos. O aumento do WWR para 80% representou a menor diferença do consumo do sistema de condicionamento de ar entre as coberturas com transmitância térmica de 1W/m²K e 4W/m²K para as cidades de Curitiba e Florianópolis.

4.3.4 Absortância superficial da cobertura

Para aqueles casos com α de 0,2 (branca); padrão de uso de 8h; densidade de carga interna baixa (30W/m^2); WWR de 20% e fator solar do vidro claro (0,87).

O aumento do valor da transmitância térmica da cobertura para estes casos representou um aumento do consumo anual de aproximadamente 10% para os climas analisados, como pode ser observado através da Figura 18. O consumo do sistema de condicionamento de ar aumentou em 35% para a cidade de Curitiba, 28% para Florianópolis e 18% para São Luís.

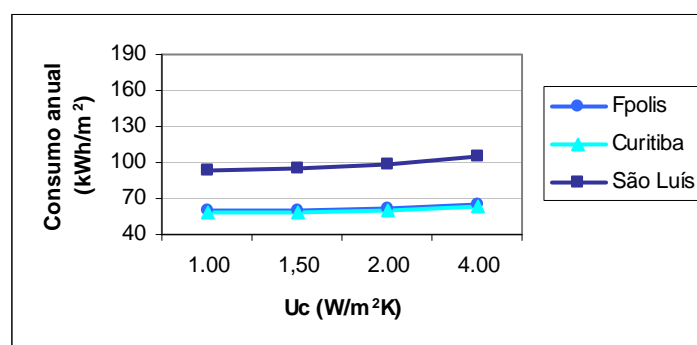


Figura 18. Consumo anual baseado na absortância de 0,2.

Aumentando o valor da absortância à radiação solar da cobertura para 0,9 refletiu em um aumento significativo do consumo anual das edificações para os três climas simulados (Figura 19) e em um aumento do consumo do sistema de condicionamento de ar. Comparando o consumo anual com a cobertura com transmitância de $1\text{W/m}^2\text{K}$ com a cobertura com $4\text{W/m}^2\text{K}$ observa-se que o aumento foi de 30% para o clima de Florianópolis, Curitiba e São Luís. Analisando a diferença entre o consumo do sistema de condicionamento de ar com os valores de transmitância térmica da cobertura de $1\text{W/m}^2\text{K}$ e $4\text{W/m}^2\text{K}$ observou-se que a cidade de Curitiba apresentou um aumento de 65%. Florianópolis e São Luís representaram um aumento de 62% e 51%, respectivamente.

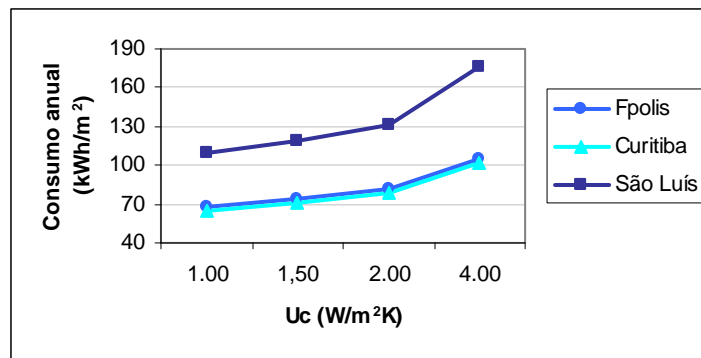


Figura 19. Consumo anual baseado na absorvância de 0,9.

O aumento da transmitância térmica da cobertura simulado juntamente com o valor de 0,9 de absorvância à radiação solar resultou em um elevado consumo anual da edificação. Pois, além dos ganhos externos em razão da alta transmitância térmica da cobertura, a utilização do valor de 0,9 para a absorvância à radiação solar da cobertura também vai ajudar no aumento do consumo em razão da alta absorção da radiação solar.

4.3.5 Carga interna instalada

Para aqueles casos com carga interna instalada de 30W/m²; padrão de uso de 8h; WWR de 50%; baixa absorvância superficial externa da cobertura (20%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Através da Tabela 17 pode-se observar que o aumento da transmitância térmica da cobertura reflete no aumento do consumo anual das edificações. O maior aumento do consumo ocorre quando a transmitância térmica da cobertura das edificações é de 4W/m²K. Para Florianópolis o aumento foi de aproximadamente 8%, e para Curitiba e São Luís o aumento foi de aproximadamente 10%. A maior diferença entre o consumo do sistema de condicionamento de ar foi observada para a cidade de Curitiba com aproximadamente 38%.

Tabela 17. Consumo anual baseado na carga interna instalada de 30W/m².

Clima	U _c (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	61,43	7,92	39,180	25,2
	4,00	66,72		52,396	
Curitiba	1,00	58,88	9,36	32,809	37,7
	4,00	64,97		48,019	
São Luís	1,00	97,53	9,68	129,415	16,8
	4,00	107,98		155,545	

O aumento do valor da carga interna instalada para 70W/m² também resultou no aumento do consumo anual em relação ao aumento da transmitância térmica da cobertura. Analisando a Tabela 18 observa-se que para Florianópolis e Curitiba o aumento do consumo anual foi de aproximadamente 3%, e para São Luís foi de 4%.

Tabela 18. Consumo anual baseado na carga interna de 70W/m².

Clima	U _c (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Diferença (%)	Consumo HVAC (kWh)	Diferença (%)
Florianópolis	1,00	132,38	2,57	91,746	8,7
	4,00	135,87		100,487	
Curitiba	1,00	124,46	2,74	71,943	10,9
	4,00	127,96		80,713	
São Luís	1,00	180,32	4,28	211,591	8,7
	4,00	188,38		231,763	

Comparando o aumento do consumo anual da cobertura com transmitância de 1W/m²K com a cobertura com 4W/m²K para os casos simulados com carga interna baixa e alta, observa-se que os casos simulados com carga interna de 30W/m² apresentam uma maior diferença entre o consumo anual do que os casos simulados com a carga interna de 70W/m². O aumento da transmitância térmica da cobertura nestes modelos facilita a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo, refletindo também na diminuição da diferença entre o consumo do sistema de condicionamento de ar quando comparado com o caso anterior.

A utilização do sistema de condicionamento de ar para os casos com baixa densidade de carga interna instalada é maior para a cidade de Curitiba pelo fato desta cidade possuir um inverno rigoroso, fazendo com que a edificação perca mais calor no inverno. Já para os casos com uma maior densidade de carga interna instalada faz com que a necessidade da utilização do sistema de condicionamento de ar seja reduzida.

4.3.6 Coeficiente de performance

Para analisar a representatividade da influência do COP de 3,19 e 1,82 nos casos simulados adotou-se o caso com padrão de uso de 8h; WWR de 20%; carga interna instalada baixa (30W/m^2); alta absorvância superficial externa da cobertura (90%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Analisando a Figura 20 observa-se que a utilização de um sistema de condicionamento de ar com coeficiente de performance do tipo E proporciona um maior aumento do consumo anual da edificação quando comparado com um sistema mais eficiente.

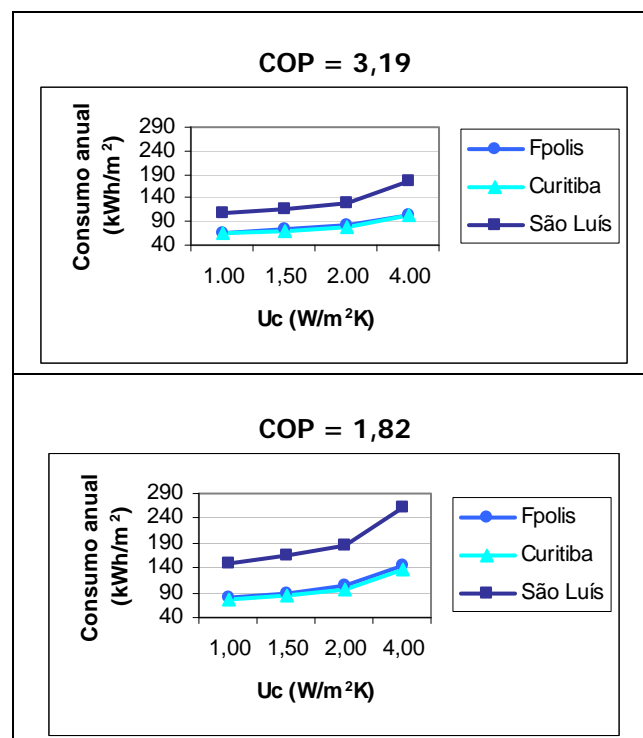


Figura 20. Consumo baseado no coeficiente de performance.

Comparando o valor de transmitância térmica de $4\text{W/m}^2\text{K}$ da cobertura com o sistema de condicionamento de ar de COP de 3,19 com 1,82, observa-se que o consumo anual da edificação aumenta em 40kWh/m^2 para Florianópolis e Curitiba e em 86kWh/m^2 para São Luís quando se utiliza um sistema menos eficiente.

A utilização do sistema de condicionamento de ar com COP de 3,19 permite que a edificação reduza o consumo anual em razão deste tipo de sistema possuir eficiência A, possuindo uma maior capacidade de refrigeração por Watt elétrico consumido.

4.3.7 Sumarização dos resultados – Tipologia 2

Optou-se em sumarizar os resultados referentes aos casos simulados utilizando a Tipologia 2 em uma tabela para uma melhor observação e compreensão dos resultados obtidos.

Através da Tabela 19 pode-se observar a sumarização dos resultados referentes aos casos simulados para a Tipologia 2.

Tabela 19. Sumarização dos resultados – Tipologia 2.

Clima	PU (h)	Fator solar	WWR (%)	Absort.	ILD (W/m^2)	Up ($\text{W/m}^2\text{K}$)	Consumo anual (kWh/m^2)	Consumo HVAC (kWh)
FLN	8	0,58	20	0,2	30	1,00	59,20	33,591
	8	0,58	20	0,2	30	4,00	64,86	47,741
CRT	8	0,58	20	0,2	30	1,00	57,15	28,463
	8	0,58	20	0,2	30	4,00	63,70	44,845
SL	8	0,58	20	0,2	30	1,00	92,67	117,268
	8	0,58	20	0,2	30	4,00	103,80	145,093
FLN	12	0,58	20	0,2	30	1,00	87,57	47,327
	12	0,58	20	0,2	30	4,00	93,84	63,009
CRT	12	0,58	20	0,2	30	1,00	84,79	40,383
	12	0,58	20	0,2	30	4,00	95,20	66,409
SL	12	0,58	20	0,2	30	1,00	132,58	159,853
	12	0,58	20	0,2	30	4,00	143,29	186,623
FLN	8	0,87	80	0,2	70	1,00	135,88	100,493
	8	0,87	80	0,2	70	4,00	138,50	107,061
CRT	8	0,87	80	0,2	70	1,00	128,18	81,243
	8	0,87	80	0,2	70	4,00	130,65	87,431

Clima	PU (h)	Fator solar	WWR (%)	Absort.	ILD (W/m ²)	Up (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Consumo HVAC (kWh)
SL	8	0,87	80	0,2	70	1,00	186,42	226.844
	8	0,87	80	0,2	70	4,00	193,97	245.716
FLN	8	0,58	80	0,2	70	1,00	134,65	97.422
	8	0,58	80	0,2	70	4,00	137,78	105.238
CRT	8	0,58	80	0,2	70	1,00	126,69	77.535
	8	0,58	80	0,2	70	4,00	129,83	85.368
SL	8	0,58	80	0,2	70	1,00	184,13	221.122
	8	0,58	80	0,2	70	4,00	192,22	241.343
FLN	12	0,58	20	0,2	70	1,00	194,27	126,87
	12	0,58	20	0,2	70	4,00	195,57	130,116
CRT	12	0,58	20	0,2	70	1,00	183,01	86,831
	12	0,58	20	0,2	70	4,00	185,18	104,138
SL	12	0,58	20	0,2	70	1,00	257,22	284,254
	12	0,58	20	0,2	70	4,00	263,61	300,23
FLN	12	0,58	50	0,2	70	1,00	196,90	133.454
	12	0,58	50	0,2	70	4,00	197,80	135.708
CRT	12	0,58	50	0,2	70	1,00	185,45	104.099
	12	0,58	50	0,2	70	4,00	187,52	109.996
SL	12	0,58	50	0,2	70	1,00	261,45	294.823
	12	0,58	50	0,2	70	4,00	268,18	311.647
FLN	12	0,58	80	0,2	70	1,00	199,14	139,045
	12	0,58	80	0,2	70	4,00	199,80	140,69
CRT	12	0,58	80	0,2	70	1,00	187,72	110,507
	12	0,58	80	0,2	70	4,00	189,53	115,036
SL	12	0,58	80	0,2	70	1,00	265,21	304,218
	12	0,58	80	0,2	70	4,00	272,19	321,687
FLN	8	0,87	20	0,2	30	1,00	59,70	34,844
	8	0,87	20	0,2	30	4,00	65,22	48,644
CRT	8	0,87	20	0,2	30	1,00	57,55	29,478
	8	0,87	20	0,2	30	4,00	63,92	45,393
SL	8	0,87	20	0,2	30	1,00	93,87	120,273
	8	0,87	20	0,2	30	4,00	104,66	147,252

Clima	PU (h)	Fator solar	WWR (%)	Absort.	ILD (W/m ²)	Up (W/m ² K)	Consumo anual (kWh/m ²)	Consumo HVAC (kWh)
FLN	8	0,87	20	0,9	30	1,00	68,11	55,886
	8	0,87	20	0,9	30	4,00	105,41	149,114
CRT	8	0,87	20	0,9	30	1,00	65,26	48,755
	8	0,87	20	0,9	30	4,00	102,57	142,035
SL	8	0,87	20	0,9	30	1,00	108,86	157,757
	8	0,87	20	0,9	30	4,00	175,32	323,894
FLN	8	0,58	50	0,2	30	1,00	61,43	39.180
	8	0,58	50	0,2	30	4,00	66,72	52.396
CRT	8	0,58	50	0,2	30	1,00	58,88	32.809
	8	0,58	50	0,2	30	4,00	64,97	48.019
SL	8	0,58	50	0,2	30	1,00	97,53	129.415
	8	0,58	50	0,2	30	4,00	107,98	155.545
FLN	8	0,58	50	0,2	70	1,00	132,38	91.746
	8	0,58	50	0,2	70	4,00	135,87	100.487
CRT	8	0,58	50	0,2	70	1,00	124,46	71.943
	8	0,58	50	0,2	70	4,00	127,96	80.713
SL	8	0,58	50	0,2	70	1,00	180,32	211.591
	8	0,58	50	0,2	70	4,00	188,38	231.763

4.4 Balanço térmico

Através do sistema de condicionamento de ar inserido nos casos simulados, verificou-se se o procedimento utilizado para o cálculo do balanço térmico foi realizado corretamente, uma vez que este sistema informa a quantidade de calor que dever ser adicionado ou retirado do ambiente para manter a temperatura do ambiente em condições de conforto.

Nota-se que a superfície do piso dos casos simulados apresenta uma grande parcela de ganho de calor. Isto acontece em razão do piso estar ganhando calor por irradiação proveniente das janelas.

Apesar de alguns casos possuírem a mesma quantidade de carga interna instalada, observa-se que o ganho interno com equipamentos, pessoas e iluminação varia entre estes casos. Este fato ocorre, pois os ganhos com estes parâmetros são

somente utilizados no cálculo do balanço térmico quando há o funcionamento do sistema de condicionamento de ar.

Juntamente com os gráficos do balanço térmico é apresentada a influência do ILD e da troca de calor entre os componentes opacos e o ar interno da zona (convecção) em razão do consumo do sistema de condicionamento de ar.

Através dos relatórios de saída fornecidos pelo *EnergyPlus* é possível analisar o consumo dos sistemas de condicionamento de ar e o pico de carga de cada equipamento. Além disso, o próprio programa dimensiona a potência do sistema de condicionamento de ar que poderá ser inserido em cada zona.

O sistema de condicionamento de ar utilizado nas tipologias possui tanto a capacidade de aquecimento como a de resfriamento. Entretanto, a divisão do consumo do sistema de condicionamento de ar de aquecimento pela área total da edificação resulta em um valor muito baixo quando comparado com o sistema de resfriamento. Em razão disto, os gráficos apresentam somente o consumo do sistema de resfriamento pelo fato deste ser mais utilizado durante o ano.

O balanço térmico da tipologia 1 foi realizado no terceiro pavimento da edificação com a fachada principal voltada para o norte, como mostra a parte em azul da Figura 21. Na tipologia 2, o balanço térmico foi realizado em toda a edificação, pelo fato desta não possuir divisão de zonas térmicas.

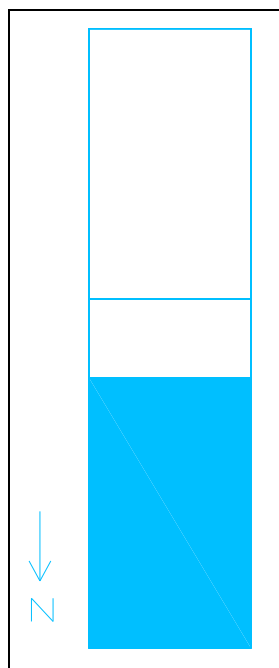


Figura 21. Realização do balanço térmico na tipologia 1.

Dentre os casos simulados optou-se em analisar aqueles que apresentaram uma maior influência no aumento da transmitância térmica das paredes e cobertura nos climas adotados.

4.4.1 Padrão de uso

Com relação ao parâmetro do padrão de uso optou-se em analisar os casos onde se utilizou o padrão de uso de 12h, com baixa densidade de carga interna ($30\text{W}/\text{m}^2$); baixa absorvância superficial externa (20%); fator solar do vidro refletivo (0,58) e WWR de 20%. Foram analisados os casos simulados para o clima da cidade de Florianópolis.

Através da Figura 22 observa-se que para a tipologia 1, as paredes armazenam menos calor com o aumento da transmitância térmica das paredes permitindo que o calor interno dissipe para o ambiente externo mais facilmente, diminuindo o funcionamento do sistema de condicionamento de ar em $22,77\text{kWh}/\text{m}^2$. O ganho de calor através das paredes foi diminuído em 40% ($3,53\text{kWh}/\text{m}^2$) quando se aumentou a transmitância térmica das paredes para $4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

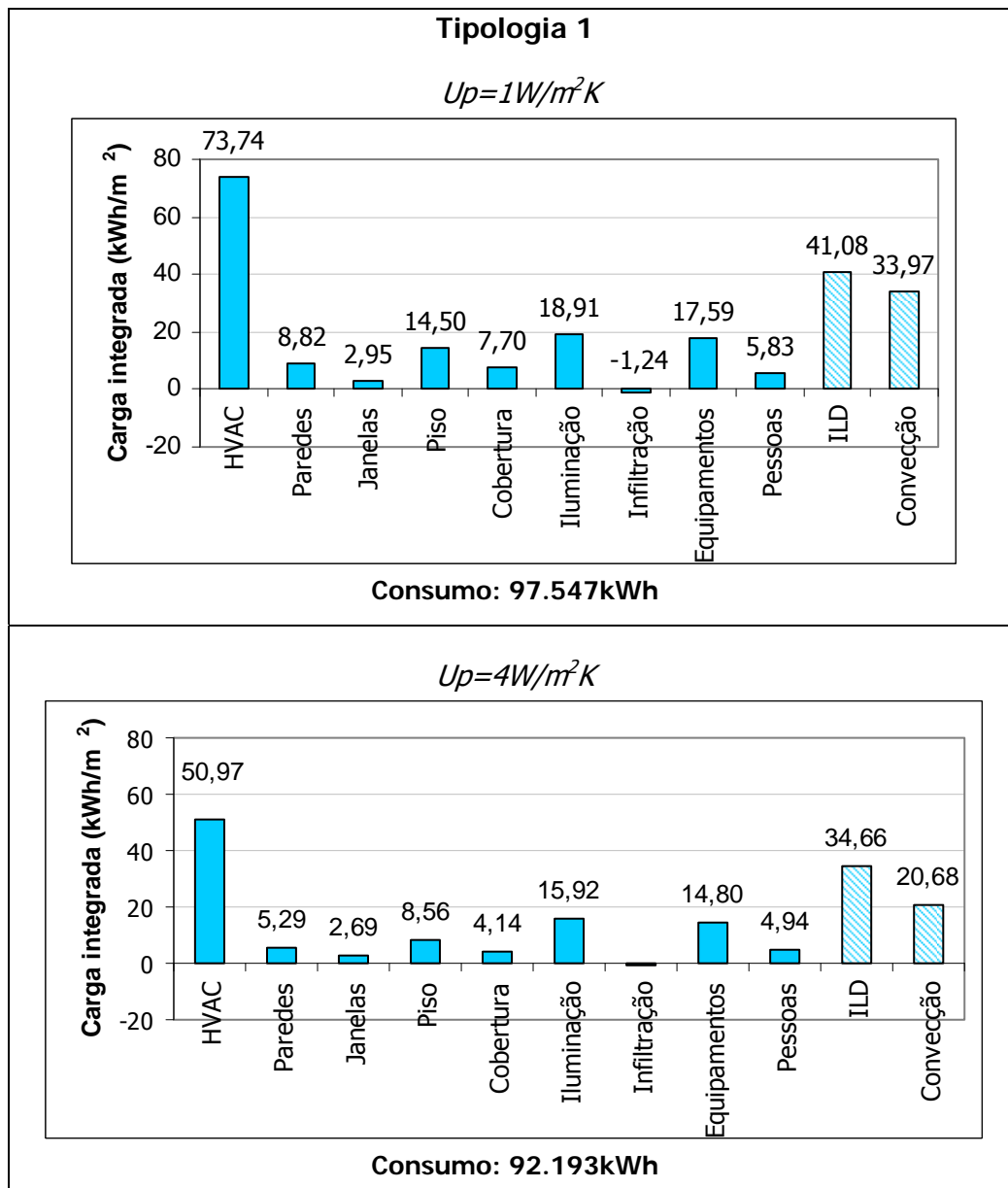


Figura 22. Balanço térmico de casos com padrão de uso de 12h – 3º pvto da tipologia 1.

Analisando-se o pico de carga do caso com as paredes com transmitância de $1W/m^2K$ através dos relatórios fornecidos pelo *EnergyPlus*, observou-se que este foi de 4,661Wh e do caso com as paredes de $4W/m^2K$ foi de 4,838Wh. Assim sendo, o dimensionamento da máquina proposto pelo programa *EnergyPlus* antes de aproximadamente 20.000Btu/h para as paredes com transmitância de $1W/m^2K$ passaria para 25.000Btu/h com a utilização das paredes com transmitância de $4W/m^2K$.

Para a tipologia 2 observa-se que o aumento da transmitância térmica da cobertura aumenta os ganhos de calor através da cobertura, aumentando o consumo da edificação, como pode ser observado através da Figura 23. O consumo do sistema de condicionamento de ar aumentou em $7,33\text{kWh/m}^2$. O ganho de calor através da cobertura representou um aumento de 70% em razão do aumento da transmitância térmica da cobertura para $4\text{W/m}^2\text{K}$.

O pico de carga do sistema de condicionamento de ar antes de $82,450\text{Wh}$ aumenta para $141,968\text{Wh}$ com o aumento da transmitância térmica da cobertura, aumentando significativamente a potência do sistema que deverá ser inserido neste ambiente para que este sistema retire todo o calor necessário para manter o ambiente em condições adequadas de conforto. Observa-se que o ganho de calor através de convecção do caso com cobertura de $4\text{W/m}^2\text{K}$ duplica em relação ao caso com cobertura com transmitância térmica de $1\text{W/m}^2\text{K}$.

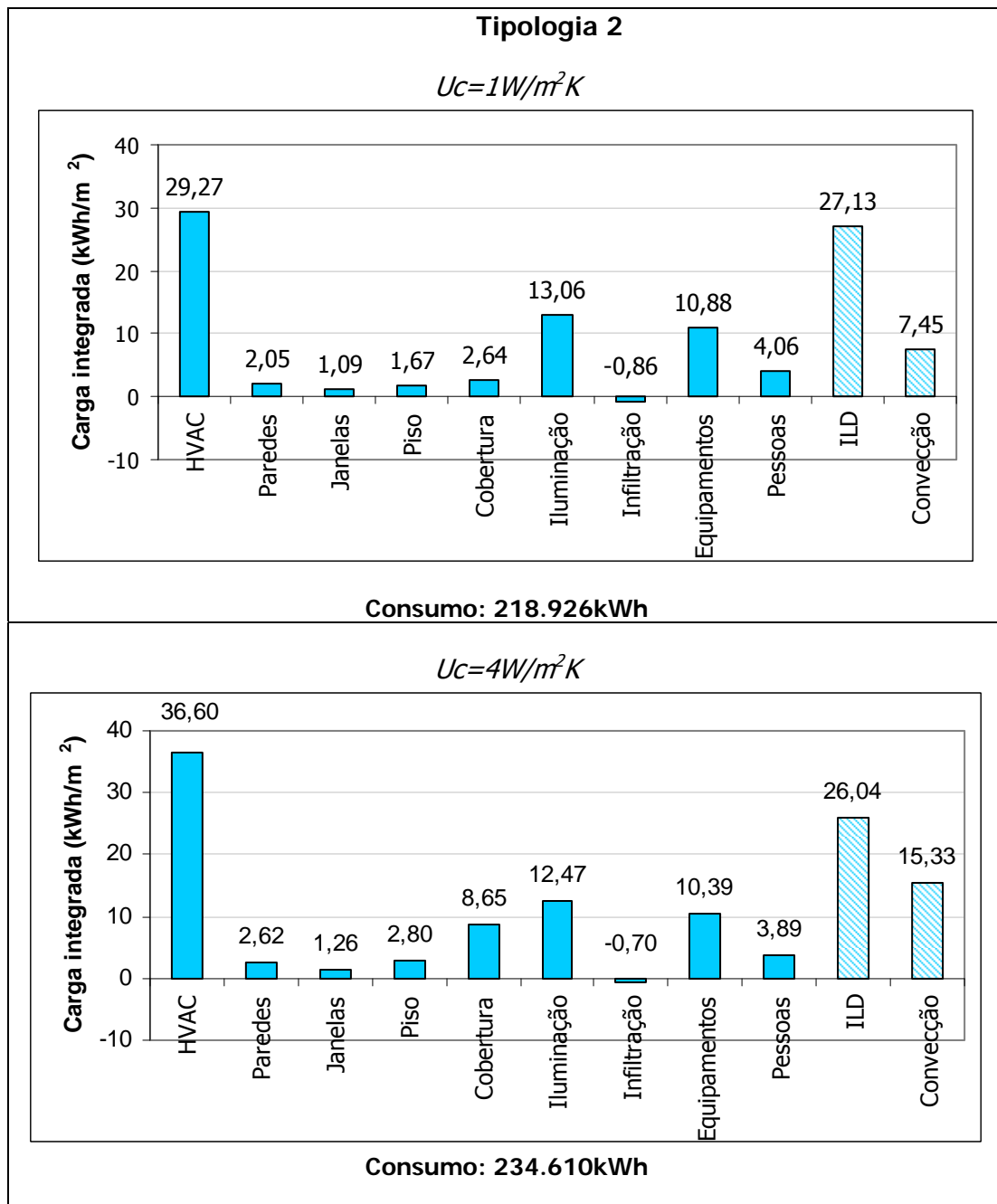


Figura 23. Balanço térmico de casos com padrão de uso de 12h – Tipologia 2.

4.4.2 Percentual de área de janela nas fachadas

O cálculo do balanço térmico com relação ao WWR dos casos simulados foi realizado com base nos casos com WWR de 50%; padrão de uso de 12h; alta densidade de carga interna ($70W/m^2$); baixa absorptância superficial externa (20%) e fator solar do vidro refletivo (0,58). Nestes casos adotou-se o clima da cidade de Curitiba.

O aumento da transmitância térmica das paredes dos casos com elevado valor de carga interna e WWR de 50% diminuem o ganho de calor pelas paredes em $7,27\text{kWh/m}^2$, como pode ser observado na Figura 24. O consumo do sistema do condicionamento de ar diminui em $36,55\text{kWh/m}^2$ com o aumento da transmitância térmica das paredes para $4\text{W/m}^2\text{K}$.

Através da análise dos relatórios de saída do *EnergyPlus* observou-se que o pico de carga do sistema de condicionamento de ar antes de $8,603\text{Wh}$ diminuiu para $7,743\text{Wh}$, reduzindo a potência instalada do sistema que deve ser inserido no ambiente com a utilização de um WWR de 50% na edificação.

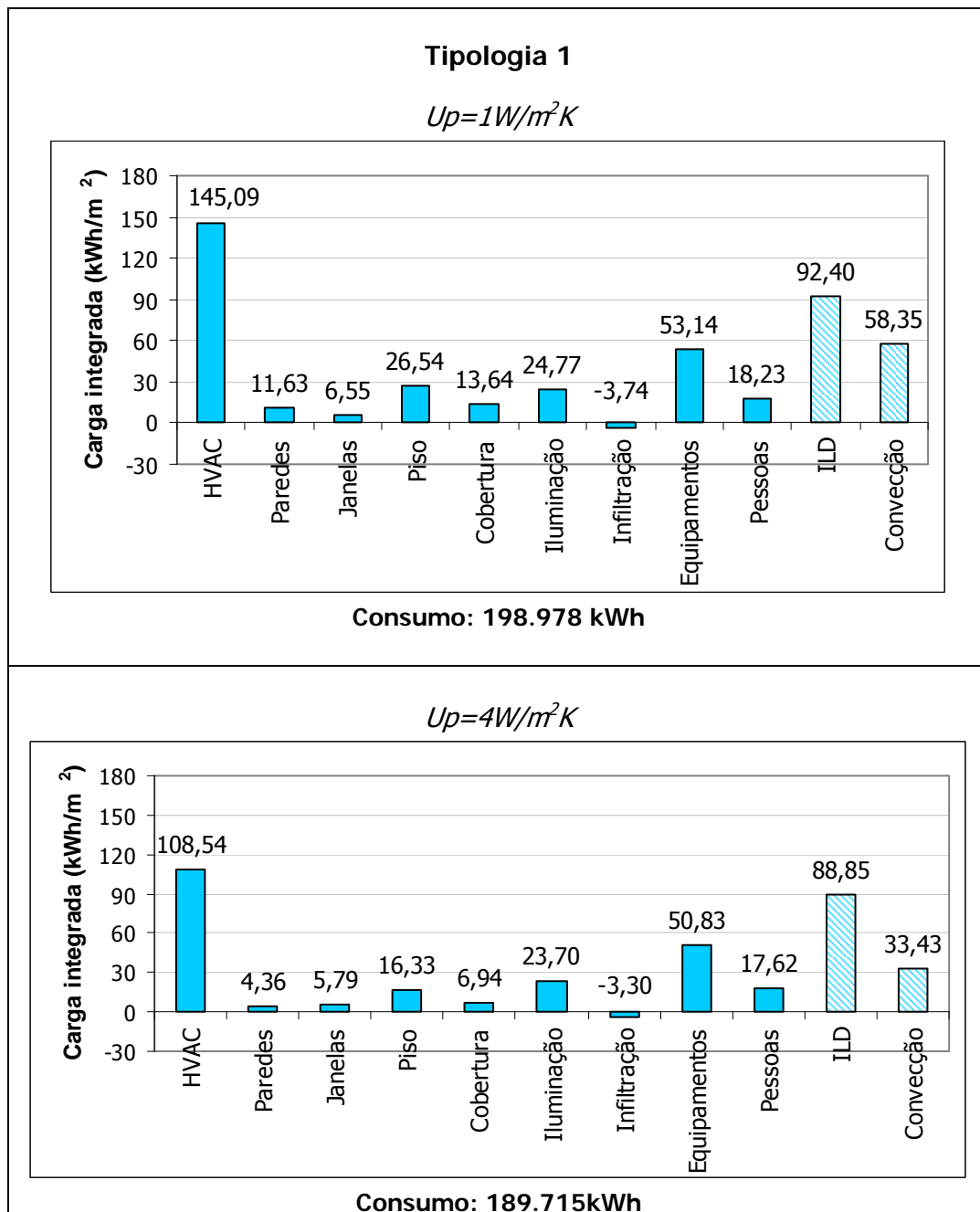


Figura 24. Balanço térmico de casos com WWR de 50% - 3º pvto da Tipologia 1.

Através da Figura 25, observa-se que na tipologia 2 o consumo é maior com o aumento da transmitância térmica da cobertura. Nota-se que o consumo aumenta em razão do sistema de condicionamento de ar possuir um maior funcionamento uma vez que este tem que retirar o calor do ambiente para eliminar os ganhos de calor interno e externo. O aumento da transmitância térmica da cobertura para $4W/m^2K$ representou um aumento de $3,17kWh/m^2$ (37%) no ganho de calor através da cobertura. O pico de carga do sistema de condicionamento aumentou em 46,447Wh.

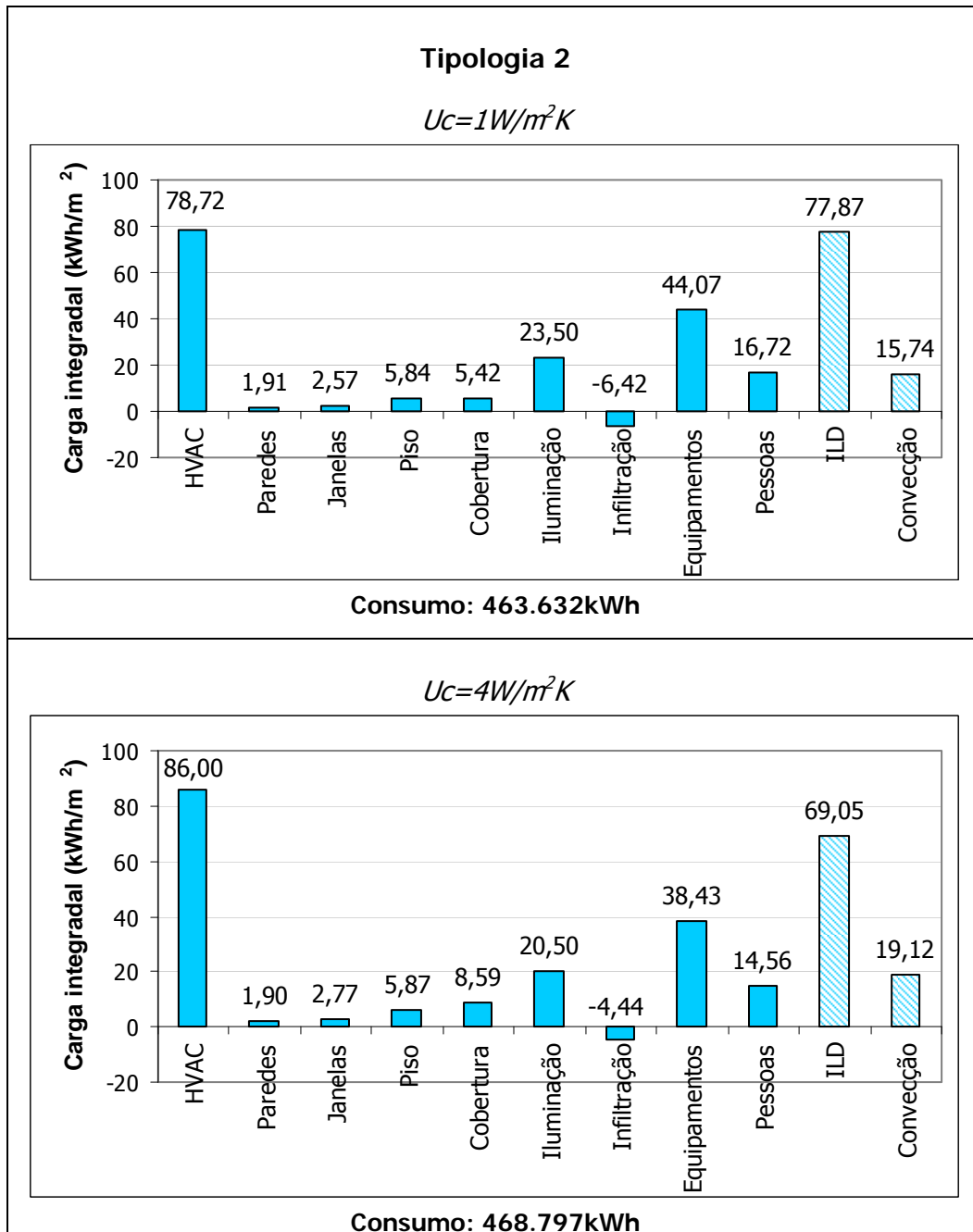


Figura 25. Balanço térmico de casos com WWR de 50% - Tipologia 2.

4.4.3 Absortância superficial da cobertura

Para analisar a influência da absortância à radiação solar no cálculo do balanço térmico adotou-se o clima de São Luís em razão de este clima possuir uma maior quantidade de graus-hora de resfriamento quando comparado com os outros climas analisados. Os casos analisados possuem valor de absortância superficial externa de

90%, WWR de 20%; padrão de uso de 8h; baixa densidade de carga interna ($30\text{W}/\text{m}^2$) e fator solar do vidro claro (0,87).

Através da Figura 26 pode-se observar na tipologia 1 que o aumento da absorvância das paredes reflete no aumento do ganho de calor pelas paredes em $20\text{kWh}/\text{m}^2$ e no aumento do uso do sistema de condicionamento de ar em $35\text{kWh}/\text{m}^2$ (20%). Nota-se que o ganho de calor por convecção dos componentes opacos aumentou em $30\text{kWh}/\text{m}^2$ em razão do aumento da transmitância térmica das paredes e o pico do sistema de condicionamento de ar antes de $6,832\text{Wh}$ aumentou para $9,353\text{Wh}$.

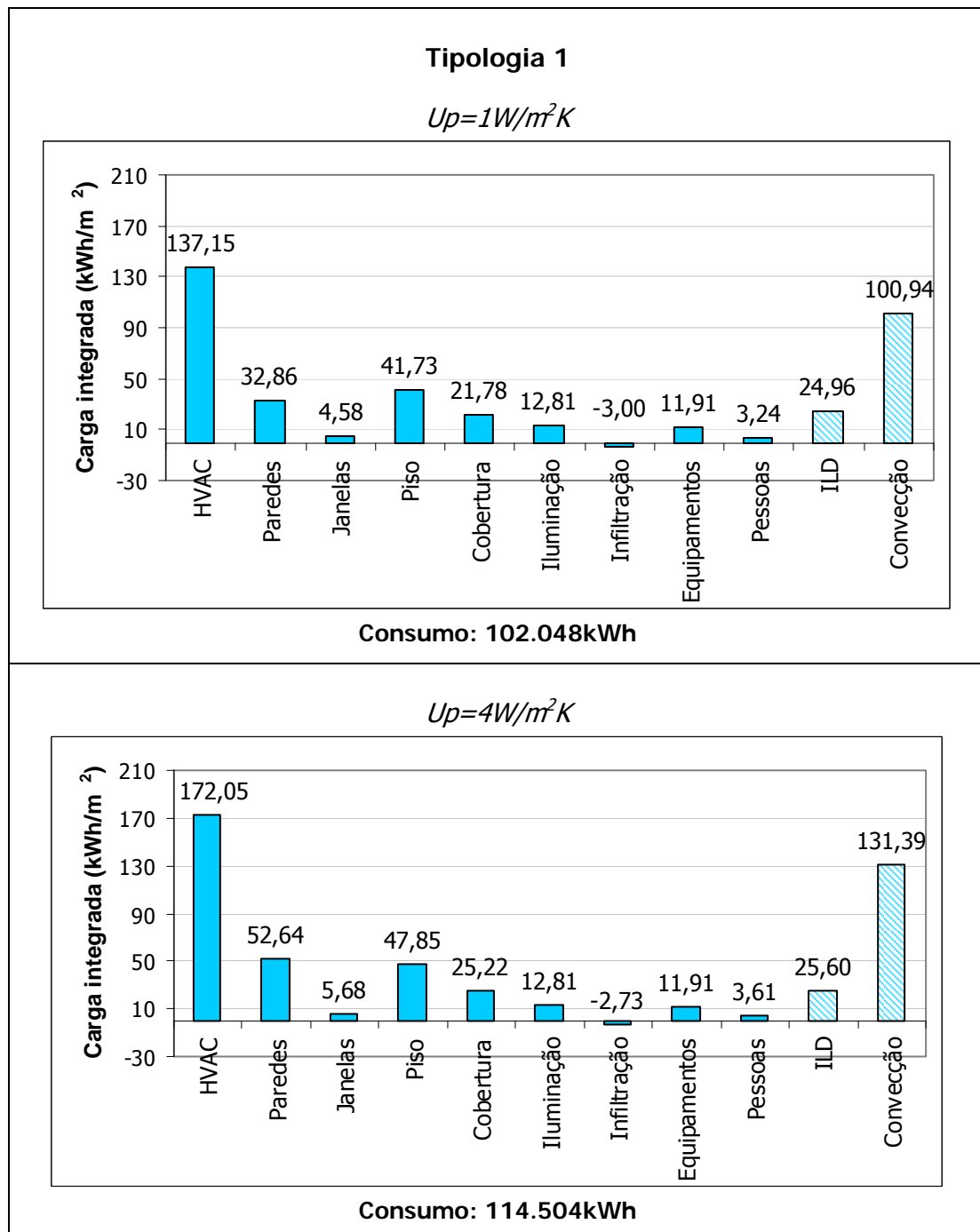


Figura 26. Balanço térmico de casos com alto valor de absorvância solar – 3º pvto da Tipologia 1.

Analisando a tipologia 2, nota-se que o aumento da absorvância à radiação solar da cobertura aumenta significativamente o ganho de calor pela cobertura da edificação, como pode observado através da Figura 27.

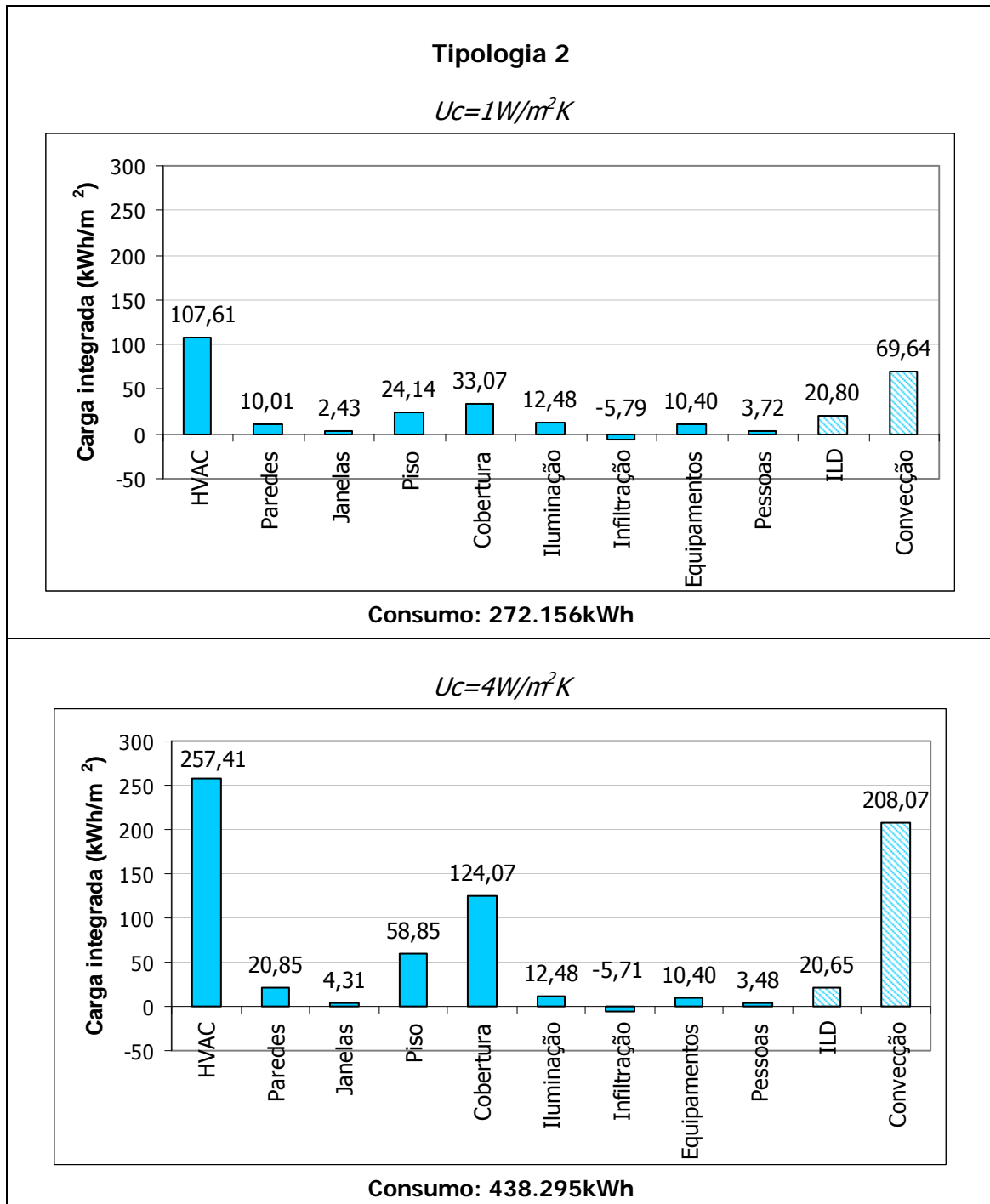


Figura 27. Balanço térmico de casos com alto valor de absorptância solar – Tipologia 2.

Nota-se que o consumo do sistema de condicionamento de ar instalado na tipologia 2 quase triplica quando se adota um valor maior para a absorptância à radiação solar da cobertura. O valor do pico de carga do sistema também foi um fator que triplicou com o aumento da absorptância à radiação solar da cobertura,

aumentando o pico em 67%. O ganho de calor pela cobertura aumenta em 73% quando se aumenta a transmitância térmica da cobertura para $4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

4.4.4 Carga interna instalada

A influência de diferentes valores de carga interna instalada foi analisada para o clima da cidade de Florianópolis. Optou-se em analisar os casos onde a carga interna instalada é alta ($70\text{W}/\text{m}^2$), o padrão de uso de 8h, WWR de 50%, baixa absorptância superficial externa (20%) e fator solar do vidro refletivo (0,58).

Através do cálculo do balanço térmico da tipologia 1 observa-se que o aumento da transmitância térmica das paredes na tipologia 1 reduz o consumo da edificação. Nota-se que o ganho de calor através dos componentes opacos é reduzido, sendo que o ganho de calor pelas paredes reduz-se em aproximadamente $4\text{kWh}/\text{m}^2$. Este fato interfere no funcionamento do sistema de condicionamento de ar, reduzindo o seu funcionamento em 17%, como pode ser observado na Figura 28.

Analisando os relatórios de saída referentes ao sistema de condicionamento de ar observa-se que o pico de carga reduz de $9,597\text{Wh}$ para $9,041\text{Wh}$, refletindo também na redução de 3% da potência do sistema de condicionamento de ar.

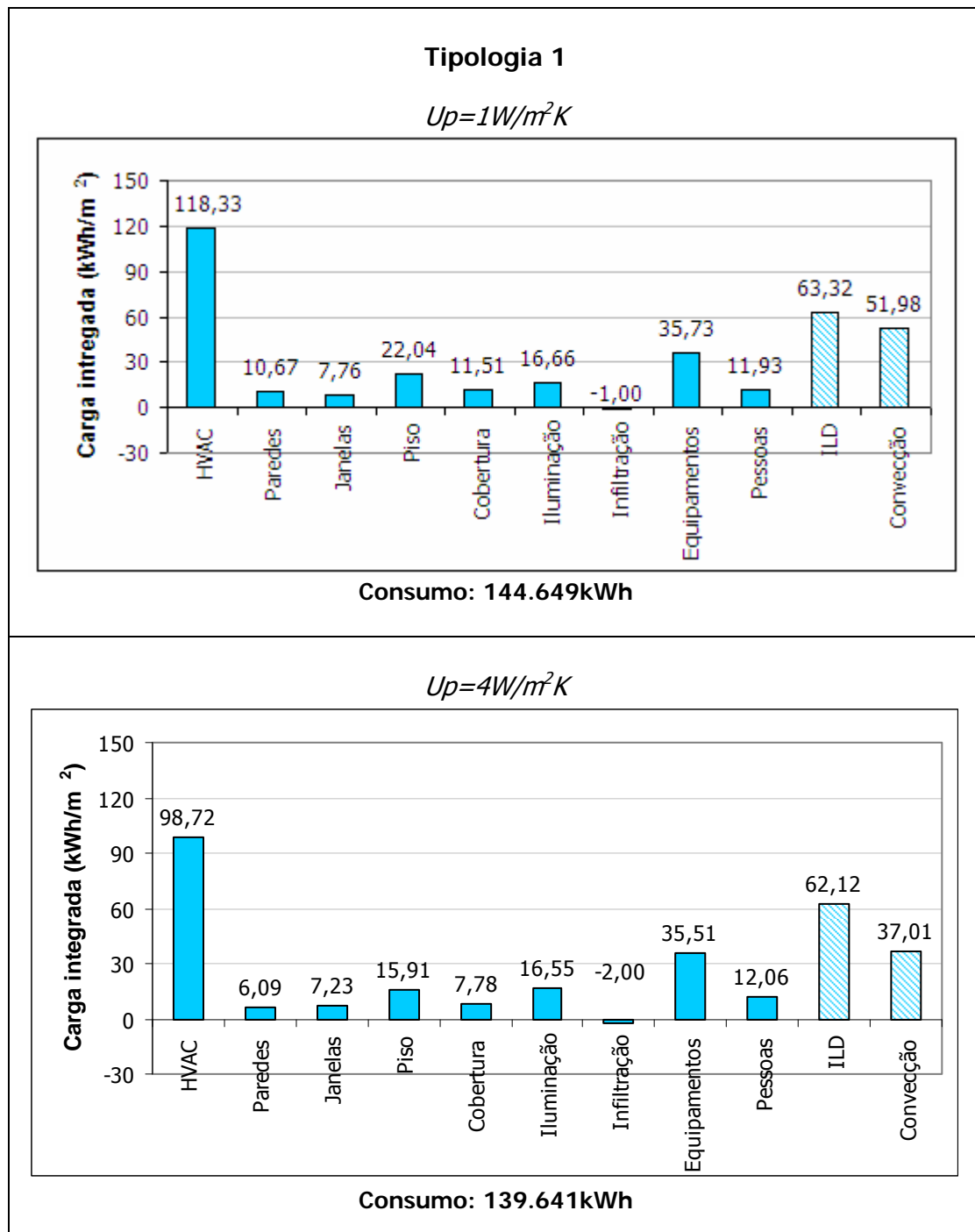


Figura 28. Balanço térmico dos casos com alta densidade de carga interna instalada – 3º pvto da Tipologia 1.

Através da Figura 29 observa-se que o aumento da transmitância térmica da cobertura (tipologia 2) simulado com alto valor de densidade de carga interna representou um aumento do sistema de condicionamento de ar em razão dos aumentos de ganhos de calor através dos componentes opacos, principalmente pela cobertura. O ganho de calor pela cobertura aumentou 40% com o aumento do valor

da transmitância térmica da cobertura. O pico de carga do sistema de condicionamento de ar aumentou em 30% e a potência do sistema aumentou em 27%.

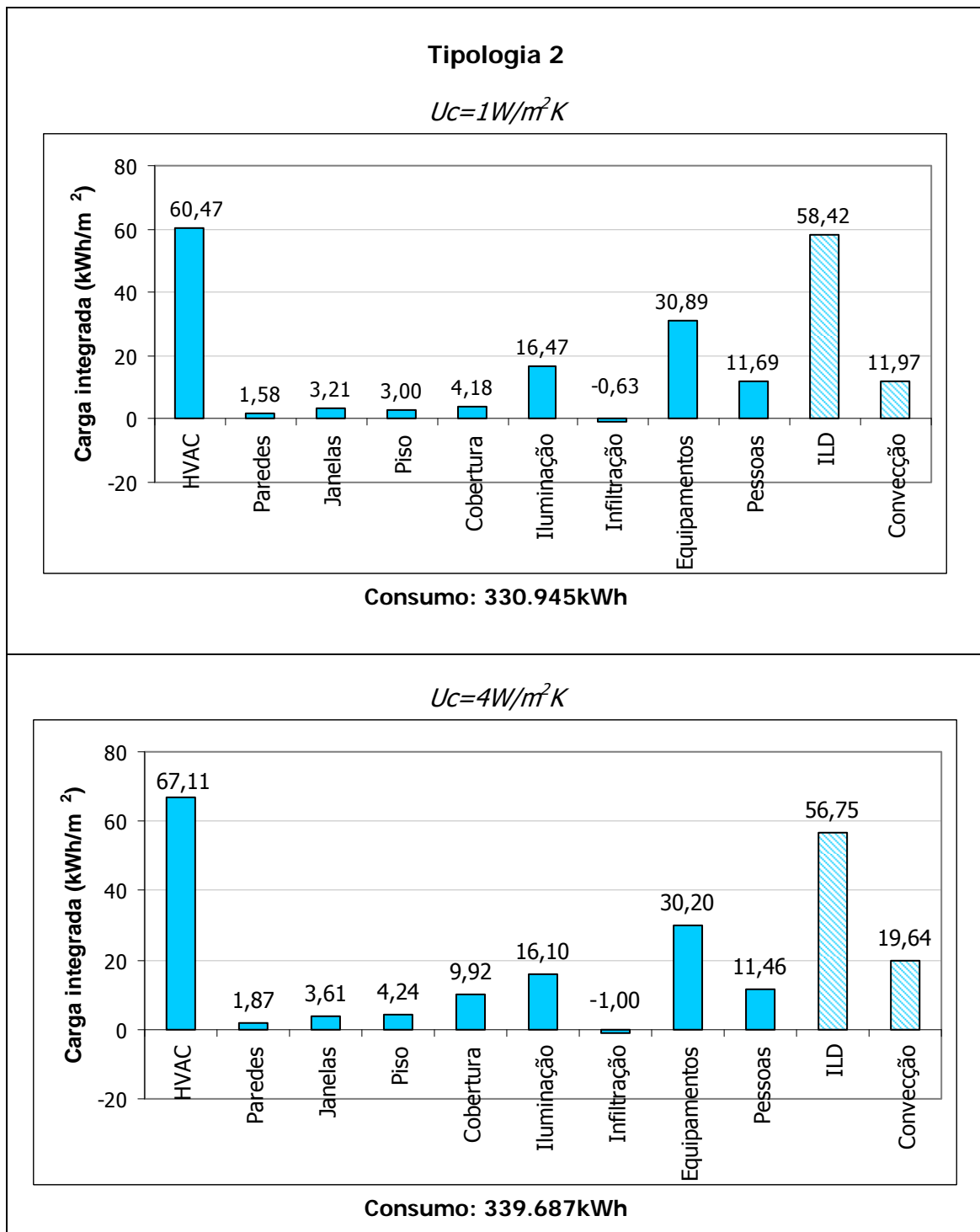


Figura 29. Balanço térmico dos casos com alta densidade de carga interna instalada – Tipologia 2.

5 CONCLUSÕES

5.1 Conclusões gerais

Este trabalho analisou a influência da transmitância e capacidade térmica das superfícies opacas de duas tipologias comerciais com diferentes condições de carga interna, em relação ao consumo de energia elétrica. Foram analisados os climas da cidade de Florianópolis, Curitiba e São Luís para melhor entender o comportamento da edificação em diferentes condições de graus-hora de resfriamento e aquecimento. A ferramenta utilizada para a simulação dos casos foi o programa *EnergyPlus*, versão 1.4.0.

Através da análise dos casos simulados pode-se observar que dependendo da densidade da carga interna instalada, do seu padrão de uso, do WWR, do fator solar dos vidros e da absorvância das superfícies externas, o aumento da transmitância térmica do envelope pode resultar em uma economia de energia na edificação.

Para o modelo do edifício comercial de 5 pavimentos (tipologia 1) simulado com baixo valor de absorvância das superfícies externas (20%) em conjunto com alta densidade de carga interna instalada (70W/m^2) ou padrão de uso elevado (12h) ou WWR de 20% foram os casos onde se verificou a maior redução do consumo anual da edificação quando se aumentou o valor da transmitância térmica das paredes. Este comportamento foi obtido para os três climas analisados, sendo que Florianópolis e Curitiba apresentaram as maiores reduções no consumo anual. Analisando o comportamento dos casos, nota-se que o aumento da transmitância térmica das paredes facilita a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo, reduzindo o consumo de energia do sistema de condicionamento de ar.

No modelo da edificação de 1 pavimento (tipologia 2), o aumento da transmitância térmica da cobertura provocou um aumento no consumo anual de energia elétrica da edificação para os três climas simulados.

Estes resultados contradizem os limites máximos de transmitância térmica para paredes e coberturas apresentados na *ASHRAE Standard 90.1*, de acordo com o clima no qual a edificação está inserida. Porém, esta norma não menciona as condições de uso da edificação ao estabelecer esses limites. Analisando os resultados do consumo da edificação observa-se que dependendo das cargas internas e padrão de uso utilizados nas simulações as paredes externas podem possuir uma transmitância térmica maior que $3,293\text{W/m}^2\text{K}$, a qual é adotada pela ASHRAE. Observou-se que para alguns casos, as paredes simuladas com uma transmitância térmica de $4\text{W/m}^2\text{K}$

reduzem o consumo da edificação para os climas analisados quando comparados com a parede com transmitância térmica de $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Comparando os casos simulados com um sistema de condicionamento de ar com COP de 1,82 com o sistema com o COP de 3,19, observa-se que a utilização de um sistema de eficiência E aumenta significativamente o consumo anual para todos os climas adotados. O sistema com eficiência A possui uma maior capacidade de refrigeração por watt elétrico consumido, deixando o ambiente em melhores condições de conforto e consumindo menos energia quando comparado com um sistema com eficiência E.

Com relação à inércia térmica, observou-se que quanto menor a utilização desta nas paredes da tipologia 1, maior foi o consumo anual encontrado para os três climas analisados. Todos os casos simulados para a análise da inércia térmica apresentaram aumento no consumo anual da edificação quando a capacidade térmica da parede é reduzida. Ressalta-se que para climas com verões quentes quanto menor for o valor da transmitância térmica das paredes, maior será a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo. Pode-se concluir que com a inércia nas paredes, a capacidade térmica ajuda a reduzir as cargas anuais.

Observou-se que para os três climas analisados a utilização do isolamento nas paredes das tipologias adotadas aumentou o consumo anual das edificações, refletindo consequentemente no aumento do sistema de condicionamento de ar.

Analisando os relatórios de saída do programa computacional utilizado referente ao sistema de condicionamento de ar observou-se que o aumento da transmitância térmica das paredes de $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ para $4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ representou um aumento do pico de carga do sistema de condicionamento de ar. Para os casos nos quais foi utilizado um valor de WWR de 50% observou-se que o pico de carga diminuiu com o aumento da transmitância térmica das paredes. O aumento da transmitância térmica da cobertura resultou em um aumento do pico de carga dos sistemas de condicionamento de ar para todos os casos analisados em razão da grande quantidade de ganho de calor através da cobertura.

Com base nos cálculos do balanço térmico dos casos simulados, analisou-se ganhos e perdas dos componentes opacos da edificação. Este método pode ser utilizado para otimizar as variáveis da envoltória frente a combinação de cargas

internas, ganhos através da envoltória, ganhos internos em um dado clima e volumetria.

Através do cálculo do balanço térmico foi possível analisar a quantidade de troca de calor entre os componentes opacos e o ar interno da zona. Além disso, foi possível analisar a quantidade de carga interna instalada envolvida no cálculo do balanço térmico. Muitos dos casos demonstraram que aumentando a transmitância térmica das paredes, diminui-se a quantidade de ganho de calor através das paredes, uma vez que uma maior transmitância facilita a dissipação dos ganhos internos para o ambiente externo. Analisando o aumento da transmitância térmica da cobertura para $4\text{W/m}^2\text{K}$ observou-se um grande aumento do ganho de calor através deste componente opaco, refletindo no aumento da utilização do sistema de condicionamento de ar para manter o ambiente em condições de conforto. Além disso, os gráficos do balanço térmico também mostraram a representatividade da quantidade de carga interna e dos componentes opacos que interferem no consumo das edificações.

Mas, deve-se ressaltar que a economia de energia vai depender do clima; do tamanho e da forma da edificação; das áreas envidraçadas; das cargas internas; das propriedades dos materiais utilizados na construção, além do tipo e da eficiência dos sistemas de condicionamento de ar existentes.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Com base nos resultados deste trabalho, sugerem-se as seguintes opções de estudo:

- a) Analisar a variação da taxa de infiltração de ar na edificação;
- b) Analisar o desempenho térmico e energético de edificações através do *Energy Cost Budget Method* para alcançar maiores níveis de eficiência energética;
- c) Analisar e comparar resultados dos climas dos casos simulados com climas do exterior, onde os invernos são mais rigorosos;
- d) Inserir uma potência para os sistemas de condicionamentos de ar e analisar as horas não atendidas por este sistema durante o ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

AL-HOMOUD, M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation material. **Building and Environment**, v. 40, p. 353-366, 2005.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 90 -1975**: Energy Conservation in New Building Design. Atlanta, 1975.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 90.1-1989**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 1989.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2001**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 2001.

ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2004**: Energy Standard for Building Except Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, 2004.

BOJIC M.; YIK F.; SAT P. Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high-rise residential building in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 33, p. 569-581, 2001.

BRASIL. Decreto Nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei Nº 10.295 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 dez. 2001.

_____. Lei Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 out. 2001.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional**. Brasília, DF, 2005. Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em 10 de agosto de 2006.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Elaboração de protótipos para simulação do desempenho termo-energético de edificações. In: XI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Florianópolis: ENTAC, 2006.

CHENG, V.; NG E.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy**, v. 78, p. 528-534, 2005.

CHVATAL, K. M. S.; MALDONADO, E. A. B.; CORVACHO, M. H. P. Study of the impact of the increase of the thermal insulation of the building envelope upon its thermal performance. In: PALENC – Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, 2005. **Proceedings...**Santorini: PALENC, 2005a.

CHVATAL, K. M. S.; MALDONADO, E. A. B.; CORVACHO, M. H. P. The impact of envelope insulation and ventilation on summer performance. In: PALENC – Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment, Santorini, 2005. **Proceedings...**Santorini: PALENC, 2005b.

CUNHA, C. G. da. NEUMANN, Walter. Manual de impermeabilização e isolamento térmico – Como projetar e executar. Rio de Janeiro, RJ. 1979.

CRAWLEY, D.; HAND, J. W.; KUMMERT, M.; GRIFFITH, B. Contrasting capabilities of building performance simulation programs. **Building Energy Tools Directory**. Version 1. 2005.

DOE – DEPARTMENT OF ENERGY. Disponível em: <http://www.eren.doe.gov> Acesso em: 4 agosto. 2006.

DORNELLES, K; RORIZ, M. Efeitos da inércia térmica sobre as temperaturas internas de edificações na cidade de São Carlos, SP. In: V ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Alagoas: ENCAC, 2005.

FARHANIEH, B.; SATTARI S. Simulation of energy saving in Iranian building using integrative modeling for insulation. **Renewable Energy**, v. 31, p. 417-425, 2006.

GOULART, S. V.G. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico em Florianópolis.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, dezembro 1993. 124p.

GRINGS, E. T. O.; BEYER, P. O. Comparação entre resultados computacionais e experimentais do comportamento térmico de um ambiente. In: VII ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Curitiba: ENCAC, 2003.

HAGENTOFT, C. **Introduction to building physics.** Sweden, 422p. 2001.

HENSEN, J.; AUGENBROE, G. Performance simulation for better building design. **Energy and Buildings**, v. 36, p. 735-736, 2004.

HENSEN, J.; LAMBERTS, R.; NEGRÃO, C. O. R. A view of energy and building performance simulation at the start of the third millennium. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 853-855, 2002.

INCROPERA, F. P.; WITT, D.P. (2003). **Fundamentos de transferência de calor e massa.** Rio de Janeiro, RJ, 698p.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo, SP, 188p. 1997.

LAMBERTS, R.; GOULART, S.; CARLO, J.; WESTPHAL, F. Proposta de regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência energética de edifícios comerciais e públicos. In: ENCIT - 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. **Anais...**Curitiba: ENCIT, 2006.

LEE A.; WESTPHAL F. S.; LAMBERTS, R. Calibração de um modelo de simulação através de medições de curto prazo: estudo de caso no departamento de engenharia civil da UFSC. In: VII ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Campinas: ENCAC, 2001.

MASCARÓ, L. R.; MASCARÓ, J. L. **Incidência das variáveis projetistas e de construção no consumo de energético dos edifícios**. Sagra DC Luzzato. Porto Alegre. 1992.

WALKER, H.; MACALIK, M. **Energy Conservation, Desing Handbook**. Carswell, Toronto. 1979.

MEIER, A.; OLOFSSON, T.; LAMBERTS, R. What Is an Energy-Efficiency Building?. In: IX ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Foz do Iguaçu: ENTAC, 2002.

MELO, A. P. Avaliação computacional de estratégia para a redução do consumo de energia elétrica em um hotel de Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, dezembro, 2005. 65p.

MENDES, N. Simulação Computacional do Edifício Sede de Telepar, Análise Energética e Propostas de *Retrofit*. In: V ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Fortaleza: ENCAC, 1999.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**. Porto Alegre. V.5,n.4. p 47-68, 2005.

NETO, A. H.; TRIBESS, A.; FIORELLE, F. A. S. Influência da envoltória no consumo de energia em edifício comercial com ocupação mista. In: V ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Fortaleza: ENCAC, 1999.

NETO, A. H.; TRIBESS, A.; VITTORINO, F.; AKUTSU, M. The effects of indoor conditions on the building reduction of energy consumption in commercial buildings in Rio de Janeiro. In: The Sixth International IBPSA Conference - Building Simulation 1999. **Proceedings**...Kyoto,1999. p. 723-728.

OZEL, M.; PIHTILI, K. Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations. **Building and Environment**, v. 42, p. 3051-3059, 2006.

PEDRINI, A.; LAMBERTS, R. Influência do tamanho e forma sobre o consumo de energia de edificações de escritórios em clima quente. In: VII ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Curitiba: ENCAC, 2003.p.209-216.

PINTO, R. O.; JOTA, P. R. S.; ASSIS, E. S. Análise pós-ocupação do desempenho térmico de edifícios comerciais utilizando métodos estatísticos. In: NUTAU – Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo. **Anais**...São Paulo: NUTAU, 2002.

PROCEL – PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <http://www.procel.gov.br> . Acesso em: 12 de set. 2006.

PROCEL EDIFICA – CONVÊNIO ENTRE PROCEL/EDIFICA ELETROBRÁS. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/index.html>. Acesso em: 12 de set. 2006.

RAUBER, D. L.; VAN BELLEN, II. M.; SCHUCH, L. M. S.; NARCISO FILHO, P. A. L.; LAMBERTS, R. In: II ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Florianópolis: ENCAC, 1993.p.107-114.

SZOKOLAY, S. V. **Thermal design of building**. Canberra: Raia Education Division, 1987.

TOLEDO, L. M. A.; LAMBERTS, R.; PIETROBON, C.E. Influência de características arquitetônicas no consumo de energia elétrica de edifícios de escritórios de Florianópolis. In: III ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**...Gramado: ENCAC, 1995.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: VII ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**Curitiba: ENCAC, 2003.

WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. Proposta de melhoria na eficiência energética de um edifício comercial. In: VIII ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Salvador: ENTAC, 2000.

WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, R. Influência dos fechamentos opacos no desempenho energético de edificações em função de suas cargas internas e padrões de uso. In: ENCIT - 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. **Anais...**Curitiba: ENCIT, 2006.

WESTPHAL, F.S. **Desenvolvimento de uma metodologia de apoio à calibração de modelos para simulação do desempenho térmico de edificações.** Tese de doutorado – Programa de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.