



DESEMPENHO TÉRMICO E CONSUMO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS EM SÃO CARLOS, SP

Kellen Regina Monte Carrières (1); Maurício Roriz (2)

(1 e 2) Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de
Campinas, Brasil – e-mail: kellen@duotone.com.br

(2) Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, Brasil – e-mail:
m.roriz@terra.com.br

RESUMO

Neste artigo, são apresentados e discutidos os resultados de uma pesquisa de mestrado sobre edifícios de escritórios na cidade de São Carlos, Estado de São Paulo. O objetivo principal da pesquisa foi avaliar as influências exercidas por diversos parâmetros construtivos sobre os níveis de conforto e a eficiência energética dessas edificações, bem como propor recomendações para futuros projetos, de modo a torná-las mais confortáveis e eficientes. A metodologia incluiu monitoramentos, análises teóricas e simulações com o programa Energy-Plus. A pesquisa é parte de um projeto maior, desenvolvido em âmbito nacional, visando produzir subsídios para uma futura normatização sobre esses edifícios e que envolveu as oito Zonas Bioclimáticas definidas para o Brasil pela NBR 15220-3. No caso da cidade de São Carlos, os resultados indicaram que erros nas decisões iniciais de projeto podem incrementar em mais de cinco vezes o consumo energético dos escritórios.

Palavras-chave: consumo energético, conforto térmico, edifícios de escritórios.

ABSTRACT

In this article we present and discuss the results of a master's degree research about office buildings located in the city of São Carlos, state of São Paulo. The main goal of the research was to evaluate the influence of diverse construction parameters on the levels of comfort and energetical efficiency of this type of building and also to propose recommendations for future building projects, in order to make them more comfortable and efficient. The methodology used included local monitoring, theoretical analysis and simulations using the "Energy-Plus" software. This particular research is part of a major project, nationwide developed, that aims to generate patterns for a future standardization of these buildings and which has involved the eight Bioclimatic Zones defined for Brazil by NBR 15220-3. For the city of São Carlos the results indicate that mistakes committed during the initial decisions of a project can increase the offices energy consumption more than five times.

Key Words: energy consumption, thermal comfort, buildings of offices.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta significativa diversidade climática e cada região exige soluções específicas, ainda insuficientemente estudadas. O desconhecimento sobre essas especificações vem sendo responsável pela proliferação de edifícios com baixo desempenho térmico e, por consequência, elevado consumo de energia, pois a adoção de soluções construtivas idênticas ou semelhantes para todo o país provoca consumo desnecessário de energia elétrica (LAMBERTS et al, 2004). Estima-se que edifícios com projetos adequados possam consumir em torno de 30% menos energia que outros que ofereçam níveis de conforto e utilização similares (GÓMEZ et al, 1995).

No âmbito da arquitetura, a preocupação com o consumo de energia está voltada principalmente para os edifícios dos setores públicos e comerciais, que, entre 1970 e 2004, sofreram um crescimento de 700% (MME, 2005). Observa-se que a iluminação artificial e o ar condicionado são os grandes vilões, pois são responsáveis por aproximadamente 64% do consumo de um edifício, sendo 44% provenientes da iluminação artificial e 20% do uso de ar condicionado (LAMBERTS et al, 1997).

Estudo realizado em São Paulo mostrou que edifícios comerciais construídos recentemente são os que apresentam maior consumo energético, tanto pelo uso de iluminação artificial, quanto de ar condicionado (ROMÉRO et al, 1999). Esse fato decorre, principalmente, da formação profissional deficiente e da falta de consciência ambiental dos técnicos da construção civil, que desperdiçam relevantes oportunidades de poupar energia, por não considerar, desde o projeto arquitetônico, passando pela construção, até a utilização final, os importantes avanços ocorridos nas áreas da arquitetura bioclimática, materiais, equipamentos e tecnologia vinculados à eficiência energética.

O custo crescente da energia elétrica, agravado pelos sérios impactos ambientais provocados por sua produção, torna este insumo um parâmetro fundamental de planejamento. Neste sentido, o presente trabalho apresenta e discute os resultados de uma pesquisa de mestrado que enfocou os níveis de conforto e a eficiência energética de edifícios de escritórios na cidade de São Carlos, buscando identificar as influências exercidas sobre estes níveis por diferentes parâmetros arquitetônicos e construtivos.

2. METODOLOGIA

O levantamento dos edifícios de escritórios de São Carlos foi feito junto à Prefeitura Municipal da cidade, sendo selecionados de vinte edifícios apenas seis que apresentavam mais de quatro pavimentos, restrição que garantia a presença de elevadores. Os detalhes construtivos foram obtidos através de plantas do arquivo da Prefeitura, de construtoras e visitas *in loco*.

Para monitorar as temperaturas e umidades relativas do ar, interna e externamente aos edifícios, foram escolhidas duas salas em cada um deles, atendendo a exigência de estarem situadas em pavimentos intermediários. Essas salas foram selecionadas pela facilidade de acesso e permissão para as medições, efetuadas com sistemas Hobo de aquisição de dados, durante 10 dias, no inverno e no verão, a cada 15 minutos.

Para dimensionar os níveis de desconforto de cada edifício, adotou-se os números de graus-hora de frio ou calor, calculados em função dos intervalos confortáveis de temperatura, conforme indica a Norma Ashrae 55-2004 para ambientes ventilados naturalmente. Pelo fato das medições terem acontecido no mês de março, período de verão, e no mês de julho, período de inverno, a temperatura confortável (T_c) para frio foi de 22.86 °C e para calor de 24.63 °C.

As condições adotadas nas simulações foram padronizadas para todas as equipes que participaram do projeto nacional. Um edifício hipotético, tomado como referência, apresentava alguns parâmetros variáveis como orientação, capacidade térmica, transmitância das vedações, absorvância da fachada e da cobertura, porcentagem de vidro na fachada e número de renovações de ar por hora. E outros parâmetros fixos como planta baixa, nº de pavimentos, pé direito, tipo de cobertura, laje de piso, ocupação média, carga de iluminação, carga de equipamentos, equipamento de ar condicionado, padrão de uso e tipo de vidro, procurando-se refletir os sistemas construtivos mais usuais no Brasil.

As simulações foram realizadas no Programa Energy Plus, Versão 1.3, através da Interface E2-Ar

Condicionado, Versão 2.3.1, considerando apenas o ambiente com condicionamento de ar, já que a prioridade deste trabalho foi analisar arquitetura x consumo energético. Para os dados de entrada do programa de simulação, foram consideradas a tipologia construtiva e a caracterização de uso e ocupação do edifício de referência, bem como arquivos climáticos com dados horários do ano típico da cidade de São Carlos que foram obtidos através do método de TRY.

Ao todo foram 288 simulações, pois foi feita a combinação de todas as hipóteses, cujos resultados foram analisados estatisticamente através de regressão linear múltipla, sendo que foram considerados para essa análise apenas o consumo total acumulado dos meses de junho e de dezembro.

Para incluir nas regressões a influência das orientações dos edifícios, cada orientação foi representada pela soma das irradiâncias médias incidentes nas fachadas envidraçadas, para o dia 15 de junho (inverno) e 15 de dezembro (verão). Essa estimativa foi obtida através do software Luz do Sol, que estima a irradiância em função da latitude, data e azimute de cada fachada (tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Orientação Solar

Orientação	Irradiância média -15 junho (Wh/m²)	Irradiância média -15 dezembro (Wh/m²)
Norte/Sul	10147	4879
Nordeste/Sudeste	8233	10007
Leste/Oeste	7774	13220

Para os parâmetros serem comparados entre si, foi necessário colocá-los em uma mesma escala. Para isso, foi adotado o maior valor de cada parâmetro como sendo o máximo teórico, estabelecendo assim uma escala percentual para cada variável, tornando a irradiância, a renovação de ar e a Capacidade Térmica em irradiância relativa (Irrad*), renovação relativa (Renov*) e Capacidade Térmica relativa (CT*). A PjF e a absorvância da fachada e cobertura foram mantidas em suas escalas percentuais.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Diagnóstico dos Edifícios de São Carlos

Dos seis edifícios levantados, três foram escolhidos para medições de temperatura e umidade do ar. Essa escolha se deu principalmente pela facilidade de acesso. Os edifícios escolhidos foram: Centro Médico, Conde do Pinhal e Luciano Zanollo.

As medições de temperatura e umidade foram realizadas em duas salas de cada um dos edifícios, no inverno, no período de 21 a 30 de julho de 2005 e, no verão, no período de 23 de março a 01 de abril de 2006. Em todos os casos o aparelho Hobo ficou na fachada externa sul das edificações, para que os resultados não fossem influenciados pela radiação solar direta. Internamente, o aparelho foi posicionado na vertical em altura de aproximadamente 2 m.

A análise dos dados medidos de temperatura foi feita a partir do cálculo de graus-hora de frio e calor, considerando os limites de conforto estabelecidos pela Norma Ashrae 55-2004.

Como as medições foram realizadas 10 dias em março e 10 dias em julho, optou-se por calcular os graus-hora de frio e de calor para um dia médio de cada mês monitorado.

A figura 3.1 mostra a situação da sala de orientação O/NO/N/L/SE do edifício Centro Médico. Esse foi o único edifício que apresentou desconforto por calor, chegando a 18,00 graus-hora de desconforto por mês. Isso deve ter ocorrido pelo fato desse edifício possuir formato hexagonal com 20 fachadas, sendo 18 envidraçadas sem proteção solar e por possuir a maior absorvância das paredes externas (0,60), o que acarreta em ganhos extras de calor, gerando desconforto térmico aos ocupantes. Já no período de inverno a sala de orientação L/SE/S/O apresentou desconforto por frio, atingindo 58,8 graus-hora de desconforto por mês (figura 3.2). O que provavelmente provocou esse desconforto por frio foi a perda de calor através dos vidros.



Figura 3.1 - Edifício Centro Médico
Desconforto por Calor (O/NO/N/L/SE)

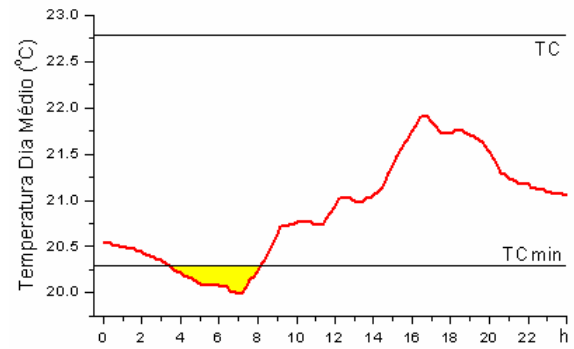


Figura 3.2 - Edifício Centro Médico
Desconforto por Frio (L/SE/S/O)

No edifício Conde do Pinhal, nenhuma sala apresentou desconforto por calor e, durante o inverno, a sala de orientação N/L foi a única com desconforto por frio, chegando a 77,7 graus-hora de desconforto por mês. Além disso, essa sala apresentou menores temperaturas em relação a sala de orientação S/O. Tal fato pode ter ocorrido pela presença de protetores solares verticais e horizontais na fachada norte da sala em estudo e pelo seu mau dimensionamento.

Já no edifício Luciano Zanollo nenhuma das duas salas apresentou desconforto por calor. Enquanto que no período de inverno, as duas salas apresentaram o pior desempenho térmico, com 840,60 graus-hora de desconforto por mês na sala de orientação S/O (fig. 3.3) e 23,70 graus-hora de desconforto por mês na sala de orientação N/L (fig. 3.4). Isso pode ter ocorrido pelo fato desse edifício possuir as áreas envidraçadas voltadas para as menores fachadas (L e O) com proteção solar, enquanto que as maiores fachadas estão voltadas para norte e sul, sendo que a orientação sul não recebe radiação solar direta nessa época do ano. Além disso, possui a menor porcentagem de área de vidro (23%).

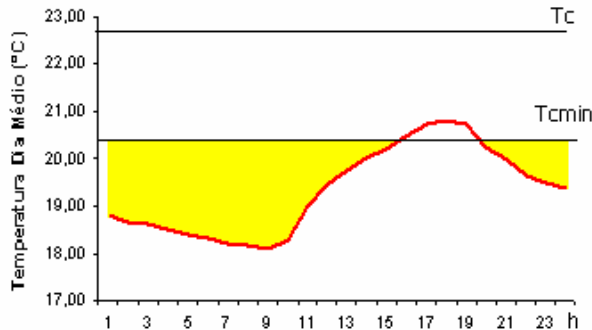


Figura 3.3 - Edifício Luciano Zanollo
Desconforto por Frio (S/O)

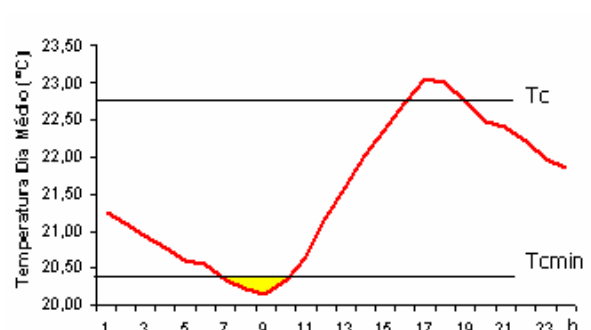


Figura 3.4 - Edifício Luciano Zanollo
Desconforto por Frio (N/L)

3.2 Análise Estatística dos Resultados Simulados

Para a realização da análise estatística, por meio de regressão linear múltipla, os casos simulados foram separados em dois grupos: pavimento intermediário e pavimento cobertura. Além disso, esses modelos foram divididos por consumo para resfriamento e consumo para aquecimento, sendo que foram considerados para análise estatística apenas o consumo total acumulado dos meses de junho e de dezembro.

3.2.1 Pavimento Intermediário - Mês Junho

A tabela 3.2 e a Equação 1 apresentam os resultados da regressão para o consumo de resfriamento do pavimento intermediário. Pelo fato dos resultados do indicador $\text{Prob}>|t|$ serem todos muito menores que 0,05, que é o valor crítico, pode-se aceitar esse modelo com mais de 99% de confiança.

Tabela 3.2 - Consumo para Resfriamento

Parâmetros	Coefficiente	Prob> t
Irrad*	0,6112	<0,0001
PJF	0,4066	<0,0001
AbsFach	0,4705	<0,0001
Renov*	0,1072	<0,0001
CT*	-0,2735	<0,0001

Consumo Resfriamento = 0,6112 Irrad* + 0,4066 PJF + 0,4705 AbsFach + 0,1072 Renov* -0,2735 CT [Eq. 1]

Os coeficientes positivos acima indicam que os parâmetros irradiância, PJF, absorvância da fachada e renovação de ar exercem influência diretamente proporcional sobre o consumo de energia para resfriamento. Sendo que a irradiância influencia 470% a mais no consumo em relação à renovação de ar, parâmetro de menor influência, a absorvância da fachada 339% e a PJF 270%, também em relação à renovação de ar. Já pelo fato da Capacidade Térmica do material apresentar coeficiente negativo, sua influência é inversamente proporcional ao consumo, ou seja, quanto maior for a CT menor será o consumo para resfriamento do edifício. As três situações extremas de consumo para resfriamento no mês de junho podem ser comparadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Desempenho Térmico de Pavimento Intermediário da Edificação em Junho

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renov.	CT (J/m ² .K)
101,16	10147	80	80	1	159
88,84	10147	80	80	5	159
75,83	8233	80	80	1	159
0	7774	20	20	1	256
0	7774	20	20	1	445
0	8233	20	20	1	445

Analisando as três situações com o pior desempenho térmico, pode-se verificar que a PJF e a absorvância da fachada têm grande influência no consumo de energia quando a irradiância na fachada também é intensa, ou seja, uma fachada com 80% de absorvância com uma irradiância de 10147 Wh/m², influencia 28,47 kWh a mais no consumo, se comparada com uma irradiância de 7774 Wh/m². Isso pode ser observado nas figuras 3.5 e 3.6, que mostram as relações entre algumas das variáveis. Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (10147 Wh/m²) e para a menor (7774 Wh/m²), obtendo um total de 395,88 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância. Em relação a CT, a tabela 3.3 comprova os resultados da regressão, ou seja, quanto maior for a Capacidade Térmica do sistema construtivo menor será o consumo de energia para resfriamento. Isso mostra que para uma cidade com o clima como o de São Carlos, vedações de maior inércia térmica são mais eficientes.

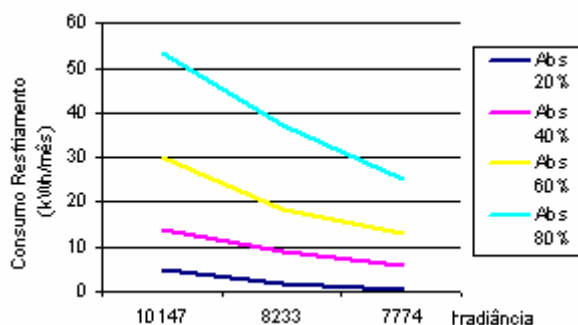


Figura 3.5 - Relação entre Absortância da Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

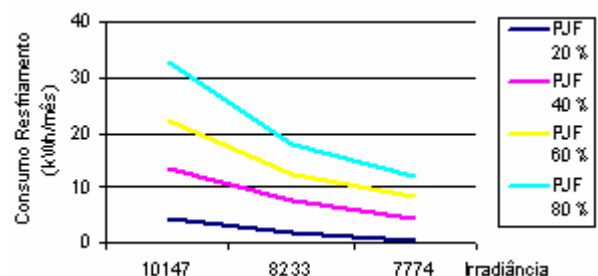


Figura 3.6 - Relação entre PJF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

Nas figuras 3.5 e 3.6, alguns parâmetros permaneceram constantes, como PJF 20% (fig.3.5), absorvância fachada 20% (fig.3.6), 1 renovação de ar e sistema construtivo constituído por tijolo de 6 furos de 14 cm com CT de 159 J/m².K.

No caso da regressão para o consumo de aquecimento (tabela 3.4), os parâmetros irradiância e PJF não

foram considerados, por não apresentarem correlação significativa com a variável dependente, que nesse caso é o consumo de energia.

Tabela 3.4 - Consumo para Aquecimento

Parâmetros	Coefficiente	Prob> t
AbsFach	-0,04681	5,42585E-4
Renov*	0,36171	<0,0001
CT*	-0,10871	<0,0001

$$\text{Consumo Aquecimento} = -0,04681 \text{ AbsFach} + 0,36171 \text{ Renov}^* - 0,10871 \text{ CT}^* \quad [\text{Eq. 2}]$$

No período de inverno, o único parâmetro que influenciou positivamente no consumo de energia para aquecimento foi a renovação de ar, ou seja, quanto maior for o número de renovações maior será o consumo de aquecimento do edifício. Isso também pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações adotadas nesse trabalho para 5 renovações e 1 renovação, chegando a um total de 1.388,96 kWh de consumo a mais para as situações de maior renovação. Deve-se ressaltar que a renovação do ar pode ajudar ou atrapalhar o desempenho energético do edifício, dependendo da temperatura interna e da temperatura externa. Já a absorvância da fachada e a CT influenciaram inversamente, quanto maiores elas forem menor será o consumo para aquecimento. Isso também pode ser observado na tabela 3.5, que mostra as três situações com o pior e o melhor desempenho térmico para o consumo de energia para aquecimento no mês de junho.

Tabela 3.5 - Desempenho Térmico de Pavimento Intermediário da Edificação em Junho

Aquecimento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renov.	CT (J/m ² .K)
45,42	8233	20	20	5	159
45,24	8233	80	20	5	159
44,8	8233	20	20	5	256
2,17	7774	20	80	1	445
1,9	8233	20	80	1	445
1,67	10147	20	80	1	445

3.2.2 Pavimento Intermediário - Mês de Dezembro

Para a realização da regressão linear múltipla para consumo de resfriamento no mês de dezembro foram considerados todos os parâmetros, pois os resultados da Prob>|t| deram menores que 0,05 (valor crítico). A tabela 3.6 e a equação 3 apresentam os resultados.

Tabela 3.6 - Consumo para Resfriamento

Parâmetros	Coefficiente	Prob> t
Irrad*	2,6863	<0,0001
PJF	2,8486	<0,0001
AbsFach	3,6564	<0,0001
Renov*	2,2782	<0,0001
CT*	-0,9219	<0,0001

$$\text{Consumo Resfriamento} = 2,6863 \text{ Irrad}^* + 2,8486 \text{ PJF} + 3,6564 \text{ AbsFach} + 2,2782 \text{ Renov}^* - 0,9219 \text{ CT}^* \quad [\text{Eq. 3}]$$

Os coeficientes da equação 3 mostram que a absorvância da fachada influencia 60% a mais no consumo de energia para resfriamento no mês de dezembro em relação à renovação de ar, parâmetro de menor influência. A PJF e a irradiância influenciam respectivamente 25% e 18% também em relação à renovação de ar. Já a CT apresenta um comportamento semelhante ao do mesmo modelo para o período de inverno, ou seja, quanto maior ela for menor será o consumo para resfriamento.

A tabela 3.7 apresenta três situações extremas de desempenho térmico para consumo de resfriamento no mês de dezembro. As três piores situações indicam que as influências da PJF e da absorvância da fachada são maiores quando a irradiância também é maior, ou seja, se um edifício possui 80% de PJF e 80% de absorvância de fachada e a irradiância incidente for pequena, a influência desses dois parâmetros será menor. Isso também pode ser observado nas figuras 3.7 e 3.8, que mostram a absorvância de fachada e a PJF em função da irradiância.

Com a figura 3.8 pode-se perceber que uma fachada com 80% de PjF com uma irradiância de 13220 Wh/m², influencia no consumo de resfriamento do edifício 192 kWh a mais se comparada com a irradiância de 4879 Wh/m². Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (13220 Wh/m²) e para a menor (4879 Wh/m²), obtendo um total de 4.025,60 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância.

Tabela 3.7 - Desempenho Térmico de Pavimento Intermediário da Edificação em Dezembro

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PjF (%)	Ab. Fach (%)	Renov.	CT(J/m ² .K)
1247,54	13220	80	80	5	159
1180,41	13220	80	80	5	256
1158,84	10007	80	80	5	159
470,21	4879	20	20	1	159
453,7	4879	20	20	1	445
434,01	4879	20	20	1	256

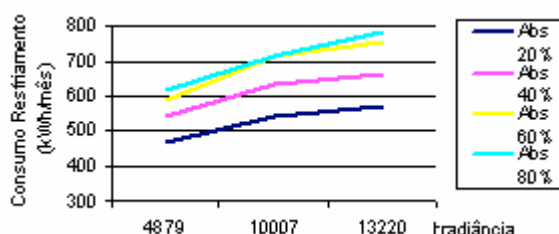


Figura 3.7 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

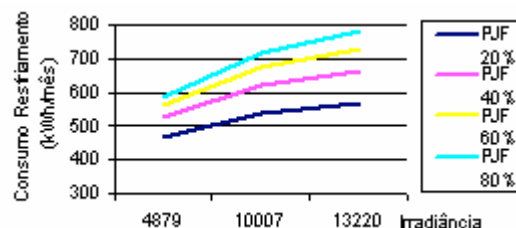


Figura 3.8 - Relação entre PjF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

No mês de dezembro não houve consumo de energia para aquecimento.

3.2.3 Pavimento Cobertura - Mês de Junho

Na regressão do mês de junho para o resfriamento no pavimento cobertura (tabela 3.8 e equação 4), o parâmetro renovação de ar não apresentou correlação, sendo desconsiderado.

Tabela 3.8 - Consumo para Resfriamento

Parâmetros	Coefficiente	Prob> t
Irrad*	0,7484	<0,0001
PjF	0,7913	<0,0001
AbsFach	0,4016	<0,0001
AbsCob	1,0445	<0,0001
CT*	-0,3604	<0,0001

$$\text{Consumo Resfriamento} = 0,7484 \text{ Irrad}^* + 0,7913 \text{ PjF} + 0,4016 \text{ AbsFach} + 1,0445 \text{ AbsCob} - 0,3604 \text{ CT}^* \quad [\text{Eq. 4}]$$

A regressão indicou que a absortância da cobertura influencia 160% a mais no consumo de energia em relação à absortância da fachada, parâmetro de menor influência. A CT, por outro lado, influenciou inversamente no consumo de energia.

A tabela 3.9 apresenta as três piores situações de desempenho térmico e as três melhores. Da mesma forma que ocorreu nos outros casos de resfriamento, a PjF e absortância da fachada apresentam maior influência quando a irradiância é mais intensa, nesse caso isso ocorreu também com a absortância da cobertura, onde um edifício com 80% de absortância de cobertura e irradiância incidente de 10147 Wh/m², influencia no consumo de resfriamento 11.58 kWh a mais se comparada com uma irradiância de 7774 Wh/m². Isso também pode ser observado nas figuras 3.9, 3.10 e 3.11. Outro exemplo da importância da irradiância pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações analisadas para a maior irradiância considerada (10147 Wh/m²) e para a menor (7774 Wh/m²), obtendo um total de 4.025,60 kWh de consumo a mais para as situações de maior irradiância.

Tabela 3.9 - Desempenho Térmico de Pavimento Cobertura da Edificação em Junho

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	Ab. Cob. (%)	CT (J/m ² .K)
191,88	10147	80	80	1	80	159
191,88	8233	80	80	1	80	159
172,43	10147	80	80	1	80	256
0	7774	20	20	1	20	445
0	8233	20	20	1	20	256
0	8233	20	20	1	20	445

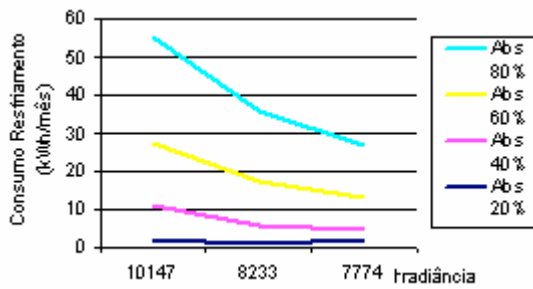


Figura 3.9 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

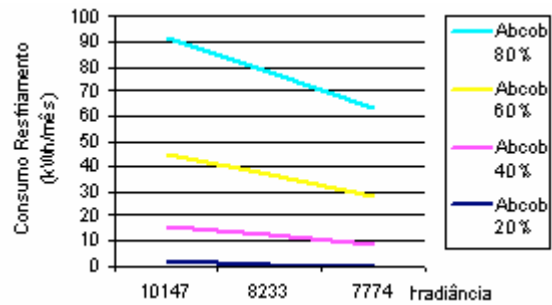


Figura 3.10 - Relação entre Absortância de Cobertura, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

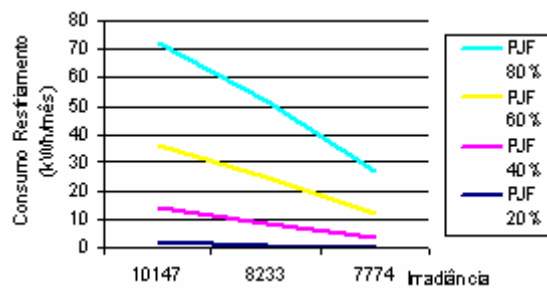


Figura 3.11 - Relação entre PJF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Junho

Na regressão linear múltipla para aquecimento (tab. 3.10), o parâmetro irradiância foi desconsiderado, isso porque a $\text{Prob}>|t|$ deu maior que 0,05 (valor crítico).

Tabela 3.10 - Consumo para Aquecimento

Parâmetros	Coefficiente	$\text{Prob}> t $
PJF	-0,0949	<0,0001
AbsFach	-0,0688	<0,0001
Renov*	0,4019	<0,0001
AbsCob	-0,1319	<0,0001
CT*	-0,1831	<0,0001

$$\text{Consumo Aquecimento} = -0,0949 \text{ PJF} - 0,0688 \text{ AbsFach} + 0,4019 \text{ Renov} - 0,1319 \text{ AbsCob} - 0,1831 \text{ CT} \quad [\text{Eq. 5}]$$

Nesse caso, o único parâmetro diretamente proporcional ao consumo para aquecimento foi a renovação de ar. Isso também pode ser observado quando somados os consumos de todas as combinações adotadas nesse trabalho para as variáveis 1 renovação e 5 renovações de ar, chegando a 3.086,74 kWh a mais de consumo para as combinações de maior número de renovações.

Tabela 3.11 - Desempenho Térmico de Pavimento Cobertura da Edificação em Junho

Aquecimento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renov.	Ab. Cob. (%)	CT (J/m ² .K)
84,79	8233	20	20	5	20	159
82,01	8233	20	20	5	20	256
79,78	7774	20	20	5	20	256
15,72	7774	80	80	1	80	445
14,85	8233	80	80	1	80	445
14,72	10147	80	80	1	80	445

3.2.4 Pavimento Cobertura - Mês de Dezembro

Na regressão linear múltipla do consumo para resfriamento no mês de dezembro foram considerados todos os parâmetros. A tabela 3.12 mostra os resultados.

Tabela 3.12 - Consumo para Resfriamento

Parâmetros	Coefficiente	Prob> t
Irrad*	3,232	<0,0001
PJF	4,9381	<0,0001
AbsFach	2,3816	<0,0001
Renov*	3,0959	<0,0001
AbsCob	8,0658	<0,0001
CT*	-0,8851	<0,0001

$$\text{Consumo Resfr.} = 3,232 \text{ Irrad}^* + 4,938 \text{ PJF} + 2,382 \text{ AbsFach} + 3,096 \text{ Renov}^* + 8,066 \text{ AbsCob} - 0,885 \text{ CT}^* \quad [\text{Eq. 6}]$$

Percebe-se que, nesse caso, o parâmetro de maior influência é a absorvância da cobertura, influenciando 239% a mais no consumo de energia do que a absorvância da fachada. Já a PJF, a irradiância e a renovação do ar, influenciaram respectivamente 107%, 36% e 30% a mais no consumo também em relação à absorvância da fachada. Como em todas as outras situações, a CT permaneceu influenciando inversamente no consumo de energia.

A tabela 3.13 apresenta as situações com o pior e melhor desempenho térmico para esse caso. A PJF e as absorvâncias da fachada e da cobertura apresentam um peso maior no consumo quando a irradiância também é maior. Isso também pode ser visto nas figuras 3.12, 3.14 e 3.15 que mostram o comportamento de PJF, absorvância de fachada e cobertura em função da irradiância.

Tabela 3.13 - Desempenho Térmico de Pavimento Cobertura da Edificação em Dezembro

Resfriamento (kWh)	Irradiância (Wh/m ²)	PJF (%)	Ab. Fach (%)	Renovação	Ab. Cob. (%)	CT (J/m ² .K)
1857,4	13220	80	80	5	80	159
1814,81	13220	80	80	5	80	256
1780,37	13220	80	80	5	80	445
459,21	4879	20	20	1	20	159
433,59	4879	20	20	1	20	445
429,82	4879	20	20	1	20	256

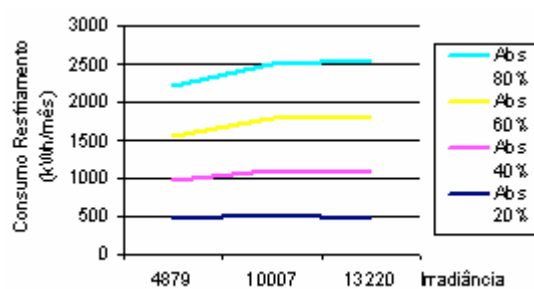


Figura 3.12 - Relação entre Absortância de Fachada, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

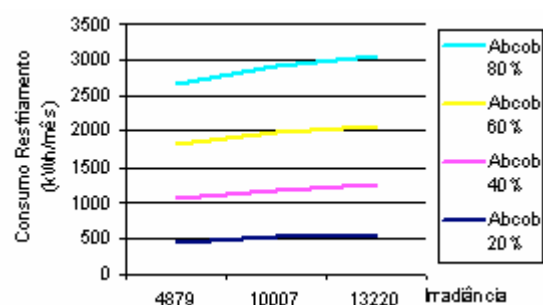


Figura 3.13 - Relação entre Absortância de Cobertura, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

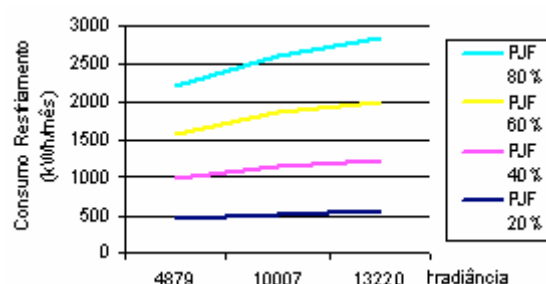


Figura 3.14 - Relação entre PJF, Irradiância e Consumo para Resfriamento - Mês Dezembro

4. CONCLUSÃO

A análise estatística dos casos simulados permitiu concluir que para o consumo de resfriamento no mês de junho e no mês de dezembro, o pavimento cobertura foi o que sofreu as maiores influências no aumento do consumo, sendo a absorvância da cobertura o parâmetro que mais influenciou, em segundo a PjF, em terceiro a irradiância, em quarto lugar a absorvância da fachada e por último o número de renovações de ar. Em todos os casos, a Capacidade Térmica do sistema construtivo apresentou influência inversamente proporcional ao consumo. Vale ressaltar que a influência da PjF e da absorvância da fachada e cobertura são maiores, quando a irradiância solar também é maior. Isso mostra que para analisar o desempenho energético e térmico de um edifício, é preciso analisar todas as variáveis em conjunto, pois uma influencia no comportamento da outra.

Já o consumo de energia para aquecimento só ocorreu no mês de junho, onde a renovação de ar foi o parâmetro que mais influenciou no consumo de energia.

O estudo permitiu estabelecer as seguintes recomendações construtivas para o clima de São Carlos:

- Para reduzir o consumo de eletricidade para resfriamento, tanto no inverno quanto no verão, os edifícios devem ser orientados de modo a minimizar a incidência da radiação solar, sendo que as superfícies envidraçadas devem ser sombreadas. No caso desse trabalho as menores irradiâncias consideradas foram 7774 (junho) e 4879 (dezembro). Além desses aspectos, o projetista deve procurar obter menor porcentagem de vidraças na fachada (20%), menor absorvância de fachada e de cobertura (20%), evitar infiltrações de ar e adotar sistema construtivo de grande capacidade térmica. Nesse trabalho o sistema construtivo considerado de maior CT foi o tijolo maciço de 27 cm.
- Para o consumo de aquecimento no período de inverno (junho), o número de renovações de ar foi o único parâmetro que influenciou no aumento do consumo. Portanto, na cidade de São Carlos, o projetista deve detalhar as esquadrias de modo a obter baixos índices de infiltração de ar nas edificações com sistema eletro-mecânico de condicionamento.

5. REFERÊNCIAS

CARRIÉRES, Kellen Monte. **Desempenho térmico e consumo energético de edifícios de escritórios em São Carlos, SP**. Dissertação de Mestrado. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2007. 151 f.

GÓMEZ, L. A.; LAMBERTS, R.; SIGNOR, R. Comparação de resultados de simulação com o consumo energético medido num edifício de escritório *In*: III CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE AR CONDICIONADO E REFRIGERAÇÃO, 1995, São Paulo. **Anais**. [S.l.]: [S.n.]1 CD. Acesso em: 10 out 2004.

LAMBERTS, R. **Impactos da Adequação Climática sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritório no Brasil**. Pesquisa financiada pelo CNPq e coordenada por Roberto Lamberts. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência energética na arquitetura** 1 ed. São Paulo: PW, 1997a. 188 p. v. 1.

MME - Ministério de Minas e Energia. **BEN - Balanço energético nacional**, 2005.

ROMÉRO, M.; GONÇALVES, J. C.; DILONARDO, L. F. P. A evolução da arquitetura e dos aspectos energéticos dos edifícios de escritórios nos últimos 30 anos na cidade de São Paulo *In*: Anais do V ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 1999, Fortaleza.