

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS CONSTRUTIVOS RELACIONADOS AO ENVELOPE NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO DA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

Marina Vasconcelos Santana (1); Eneide Ghisi (2)

(1) Arquiteta, Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, marina@labeee.ufsc.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, enedir@labeee.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

Este trabalho avalia a influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório. Essa avaliação foi realizada através de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus. Para tal análise, foi modelado um edifício de escritório com características construtivas predominantes levantadas de edificações do centro da cidade de Florianópolis, e simulado com os dados climáticos desta. Os parâmetros considerados foram: os ângulos horizontal e vertical de sombreamento, o entorno, o fator solar dos vidros, o percentual de área de janela na fachada, a transmitância térmica dos materiais, a absorptância dos materiais e orientação da edificação.

Dessa forma, foram realizadas alterações de cada parâmetro construtivo, enquanto outras características mantiveram-se constantes, assim, pôde-se avaliar a resposta no consumo de energia e os resultados comparados entre si. A cada variação de 10% do percentual de área de janela na fachada, o consumo de energia aumentou em 2,9%. Para a absorptância das paredes externas, cada variação de 10% implicou no aumento de 1,9% do consumo de energia. No entanto, ao se analisar a carga de resfriamento relacionada à transmitância térmica e à absorptância do pavimento de cobertura, observaram-se variações significativas. Ao se aumentar a transmitância térmica da cobertura em 10%, implicou-se no aumento da carga de resfriamento em 8%; para a absorptância da cobertura, a cada acréscimo de 10%, a carga de resfriamento aumentou em 14%. A simulação dos casos permitiu identificar a influência desses parâmetros relacionados ao envelope da edificação no consumo de energia, auxiliando nas decisões mais adequadas ao clima em estudo a fim de garantir melhores níveis de eficiência energética.

Palavras-chave: Parâmetros construtivos; Eficiência energética; Simulação computacional; Edifícios de escritório.

ABSTRACT

The main objective of this paper is to analyze office buildings located in Florianópolis – Brazil, evaluating the influence of construction parameters on their energy consumption by using the EnergyPlus computer programme. The model to be simulated comprises the constructive details obtained by surveying office buildings located in the city centre of Florianópolis, southern Brazil. Simulations were performed by using climatic data of Florianópolis. Alterations in construction parameters were carried out in order to evaluate their influence on the energy consumption. The parameters considered were the horizontal and vertical shading angle, the building surroundings, the solar heat gain factor of glasses (SHGF), the window to wall ratio (WWR), the thermal transmittance (U-value) of components, the absorptance of surfaces, the solar orientation of the building. For the envelope, by increasing the WWR by an increment of 10%, the annual energy consumption increased by 2.9%. Regarding the absorptance of external walls, an increment of 10% implied an increase of 1.9% on the energy consumption. However, by analysing the cooling load related to the roof thermal transmittance and the absorptance of the roof tiles, significant variations were observed on the top storey. By increasing the roof thermal transmittance in 10%, an increase of 8% on the cooling load was observed on the top storey; and by increasing the absorptance of the roof tiles in 10%, an increase of 14% on the cooling load was observed. As for the HVAC efficiency, by increasing it in 0.1W/W, a decrease of 1.6% on the energy consumption was observed. Results helped identify the influence of construction parameters on the energy consumption of office buildings, as well as the decision-making by providing appropriate measures according to the climate to guarantee better levels of energy efficiency.

Keywords: Construction parameters; Energy efficiency; Computer simulation; Office buildings.

1. INTRODUÇÃO

A correta escolha de parâmetros construtivos promove a eficiência energética e, como consequência, gera economia de energia e reduz os impactos ambientais.

Para avaliar a importância dos parâmetros construtivos, Ünver et al. (2004) e Oral et al. (2004) desenvolveram métodos que aborda a otimização do desempenho de edificações na Turquia, em função de elementos que compõem o envelope construtivo. Yang et al. (2008) criaram envelopes genéricos de edificações na China, considerando zonas diferenciadas, e apresentaram o desempenho térmico e energético de cada envelope.

Um dos parâmetros mais significativos no consumo de energia está relacionado à abertura de janela. Segundo Ghisi e Tinker (2005), grandes áreas de janela têm a inconveniência de permitir ganhos ou perdas excessivas de calor. Logo, para amenizar o desconforto, torna-se mais intenso o uso de sistema de ar condicionado, aumentando o consumo de energia. Em um estudo realizado em Netherlands, por Bokel (2007), concluiu-se que houve uma redução na demanda de energia de 1400kWh/ano ao se utilizar as combinações adequadas de posição, de tamanho, de forma e de sistemas de abertura. Ainda, Lam (2000) verificou que os ganhos de calor através da janela representam quase 50% dos ganhos através do envelope da edificação.

O estudo das características do envelope de um edifício de apartamentos energeticamente eficiente, de Cheung et al. (2005), mostra que, com uma redução de 30% da absorvância à radiação solar, pôde-se alcançar uma redução de 12,6% da carga de resfriamento. Em um trabalho realizado em Hong Kong, de Cheng e Givoni (ano), de acordo com a absorvância à radiação solar utilizada, ocorreram variações de temperaturas internas até 12°C.

Na Turquia, Oral e Yilmaz (2006) e Aksoy e Inalli (2002) revisaram valores limites de transmitância térmica em relação à forma e à orientação solar da edificação com o intuito de alcançar conforto térmico e, por conseguinte, conservar energia.

Simulação termo-energética é um método vastamente utilizado para analisar a influência dos parâmetros construtivos no consumo de energia. Neste âmbito, Lam e Hui (1993) apresentaram um estudo do desempenho térmico e energético de edifícios comerciais em Hong Kong, destacando a importância dessa ferramenta para a análise termo-energética de edifícios. Iqbal et al. (2007) investigaram, a partir de simulação computacional, medidas de conservação de energia em edifícios de escritório na Arábia Saudita e apresentaram que uma edificação pode reduzir o consumo anual de energia em 36%.

Neste trabalho, específico para Florianópolis, apresenta-se uma metodologia utilizada para simulações termo-energéticas a fim de avaliar a influência das alterações dos parâmetros construtivos a partir da caracterização de edifícios de escritório sob a ótica do consumo de energia elétrica.

2. OBJETIVO

Avaliar a influência de parâmetros construtivos relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC, através de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus.

3. MÉTODO

O método utilizado para se avaliar os parâmetros relacionados ao envelope no consumo de energia em edifícios de escritório consiste em simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus.

Para tal análise, foi modelado um edifício de escritório com características construtivas predominantes obtidas através de levantamentos realizados em edificações desse tipo no centro da cidade de Florianópolis (Figura 1), e simulado com os dados climáticos desta (SANTANA, 2006). Dessa forma, foram realizadas alterações dos parâmetros construtivos, enquanto outras características mantiveram-se constantes, assim, pôde-se avaliar a resposta no consumo de energia e os resultados comparados entre si.

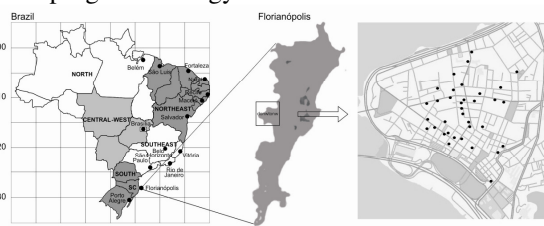


Figura 1 – Mapa do Brasil, destacando o município de Florianópolis e indicação da distribuição dos edifícios de escritório no centro da cidade.

3.1. Modelo computacional

O modelo computacional foi obtido de levantamentos reais e, generalizados para serem transformados em indicadores para a simulação. Este possui 8m de largura por 25m de comprimento, apresentando uma área de pavimento de 200m², correspondendo ao valor de área de pavimento mais freqüente no estudo de ocorrência de Santana (2006). Dessa forma, o edifício apresenta uma proporção aproximada de 1x3 das edificações retangulares analisadas. O modelo ainda apresenta 11 pavimentos e a média da altura do pé direito, 2,7m. A Figura 2 apresenta o modelo genérico que foi reproduzido para o programa simulador. Observa-se que a fachada principal é aquela voltada para orientação nordeste. Nota-se que as janelas foram modeladas contínuas, mesmo que não corresponda à realidade; assim foram feitas com o intuito de simplificar a modelagem para a simulação.

A forma, a proporção, a área do pavimento e a área das zonas foram retiradas do estudo de frequência de ocorrência de cada item disposto, assim como os materiais utilizados, dispostos na Tabela 1 (SANTANA, 2006). O modelo possui 3 zonas térmicas (modelo multi-zona), sendo a frontal e a posterior (88m² cada) condicionadas, e, a zona denominada circulação (24m²), não condicionada. O padrão de ocupação e o padrão de uso de equipamentos foram obtidos dos levantamentos das edificações (SANTANA, 2006). Para o período da manhã de 8h às 12h, e para o período da tarde de 14h às 18h. O arquivo climático utilizado foi o desenvolvido no estudo de Goulart (1993), revisto, tratados e compilado com estimativa de dados de radiação solar no estudo de Carlo (2005).

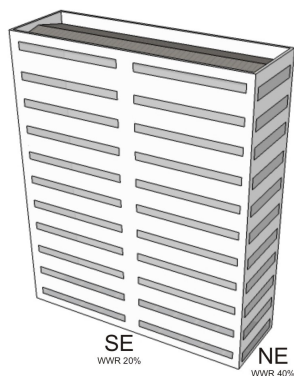


Figura 2 – Modelo genérico

Tabela 1 – Descrição da tipologia predominante.

Transmitância Térmica (W/m ² K)	Paredes	2,47
	Cobertura	2,42
Capacidade Térmica [kJ/(m ² K)]	Paredes	200
	Cobertura	187
Absortância	Paredes	0,65
	Cobertura	0,70
Vidro	Cor	cinza
	Espessura	6 mm
	Fator solar	0,83
Ocupação média (m ² /pessoa)		14,7
Densidade de carga interna (W/m ²)	Iluminação	6,4
	Equipamentos	9,7
Características do sistema de condicionamento de ar	Tipo	Aparelho de janela
	Capacidade de refrigeração (BTU/h)	21.000
	COP (W _{térmico} /W _{elétrico})	2,8

3.2. Parâmetros analisados do envelope através de simulação computacional

Iniciou-se a simulação termo-energética com a tipologia predominante e, em seguida, foram simuladas as alterações de parâmetros da tipologia predominante. Alterou-se um parâmetro por vez, relacionados a seguir, tornando-se conhecido o efeito de cada alteração no consumo de energia da edificação.

3.2.1. Ângulos horizontal e vertical de sombreamento

Para as simulações das variações dos elementos de proteção solar, foram simulados três casos com brises (ângulos de 45°). Os brises utilizados na simulação são iguais para as fachadas e dispostos em todas as aberturas da edificação. Foram modeladas placas de 50cm distanciadas verticalmente a cada 50cm. A Figura 3 apresenta os croquis dos casos simulados. As placas foram desenhadas de forma simplificada para a simulação, porém proporcionando a mesma proteção desejada. Com relação aos brises horizontais, ainda foram simulados dois casos variando os ângulos verticais de sombreamento (ângulos de 25° e 65°).

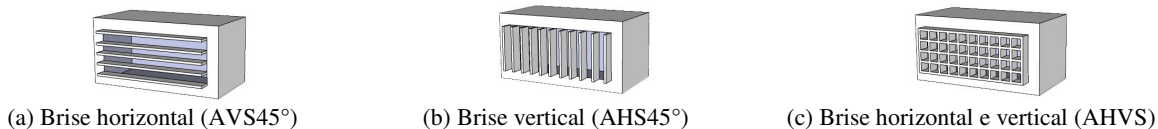


Figura 3 – Características dos casos relacionados ao fator de projeção.

3.2.2. Entorno

Para a análise das obstruções, geralmente comuns no entorno das edificações, foram simulados casos em seis situações distintas. Foram consideradas obstruções que representassem edificações construídas respeitando o afastamento disposto pela Lei Complementar nº 1/97 do Código de Obras de Florianópolis (Figura 4).

A altura considerada para as edificações do entorno, é igual à altura do edifício que representa a tipologia predominante. A Figura 5 apresenta os seis casos que foram simulados para a análise da influência do entorno no consumo de energia do edifício. Os blocos com hachuras representam a tipologia predominante.

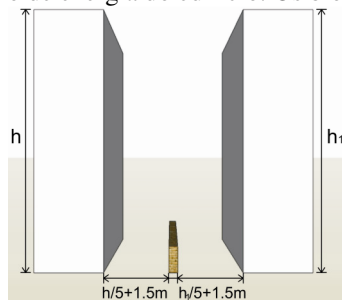


Figura 4 – Afastamento adotado pelo Código de Obras de Florianópolis.

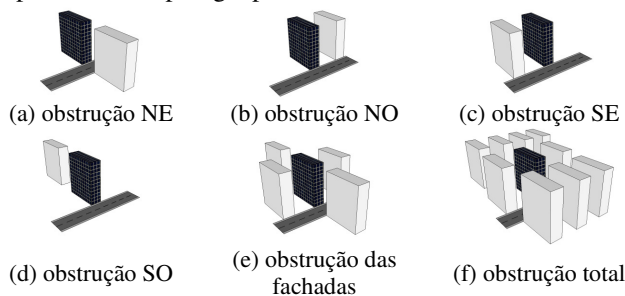


Figura 5 – Casos simulados para a análise do entorno.

3.2.3. Fator solar dos vidros

A partir do vidro adotado para a tipologia predominante (vidro fumê com FS equivalente a 0,83) foram avaliados outros vidros encontrados no levantamento construtivo das edificações com seus respectivos fatores solares (FS). Estes são: vidro claro, com FS equivalente a 0,87; vidro refletivo prata, com FS equivalente a 0,61; e vidro refletivo bronze, com FS equivalente a 0,22. Os resultados dessas alterações foram comparados ao caso base.

3.2.4. Percentual de área de janela na fachada

Para a análise do consumo de energia com relação à dimensão das áreas de janela, foram estabelecidas faixas de percentagem. Foram simulados casos com PJFs iguais para as quatro fachadas, variando de 10% a 100% em intervalos de 10%, totalizando dez casos.

3.2.5. Transmitâncias térmicas

A partir do valor adotado para as transmitâncias térmicas da cobertura e paredes do caso base, foram avaliadas as alterações destas em faixas percentuais que variam de -50%, -25%, 25% e 50%. Para esses casos, não foram mencionados quais os materiais utilizados, apenas os componentes construtivos desses materiais para as transmitâncias desejadas. A transmitância e a capacidade térmica das paredes e da cobertura foram obtidas do procedimento de cálculo apresentado na ABNT (2005).

Foram simulados quatro casos alterando as transmitâncias térmicas da cobertura e quatro casos alterando as transmitâncias térmicas das paredes externas. Ainda para o último pavimento, mais sensível às alterações climáticas e construtivas, analisou-se a carga de resfriamento, sabendo-se que, cargas maiores de resfriamento implicam em um consumo maior de energia.

3.2.6. Absortâncias das paredes externas

Para a análise das absortâncias das paredes externas, foram simulados nove casos com as cores obtidas do levantamento *in loco*. No entanto, para a cobertura, adotou-se a absortância correspondente à cor do material obtida do levantamento de dados para a tipologia predominante. Para as simulações das alterações, as absortâncias foram adotadas (20%, 40%, 60% e 80%), pois não foram obtidas as cores das coberturas da amostra de edificações. Também foi realizada uma análise da carga de resfriamento somente para o pavimento de cobertura.

3.2.7. Orientação solar

Para as simulações dos casos das alterações da orientação solar, foram consideradas as quatro orientações principais: norte (0°), sul (180°), leste (90°) e oeste (-90°). A Figura 5 apresenta os casos descritos com as fachadas principais voltadas para as orientações adotadas.

4. RESULTADOS

São apresentados os resultados obtidos das simulações propostas na metodologia, tais como a simulação da tipologia predominante e de suas alterações.

4.1. Simulação da tipologia predominante: caso base

Na Figura 6, observa-se o gráfico de consumo em kWh/m² no decorrer do ano para a tipologia predominante. O edifício apresenta um consumo anual de energia de 191,8 MWh (87,2 kWh/m²). Claramente, observa-se na curva que o consumo de energia durante o período de temperaturas mais amenas (junho, julho e agosto) é reduzido, pois os aparelhos de ar condicionado não são acionados, nem mesmo para aquecimento, pois no clima de estudo, o inverno não é rigoroso.

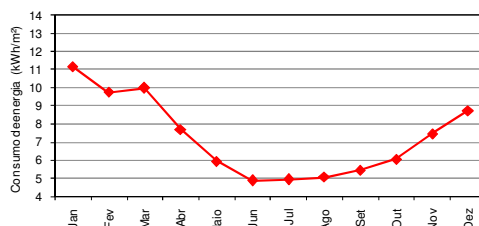


Figura 6 – Consumo de energia da tipologia predominante (caso base).

4.2. Simulação dos parâmetros construtivos

4.2.1. Variações dos ângulos horizontal e vertical de sombreamento

A análise da influência no consumo de energia com relação aos ângulos de sombreamento foi feita de forma simplificada, contudo, as respostas dos casos analisados foram bem significativas.

A Figura 7 apresenta o consumo de energia comparado ao consumo do caso base. Nota-se que nos cinco casos apresentados ocorreu uma redução no consumo de energia, porém, vale ressaltar que a maior redução no consumo de energia não quer dizer necessariamente que seja o caso ideal, pois a proteção pode estar barrando em excesso a entrada de luz no ambiente.

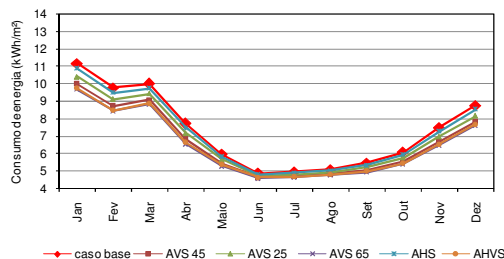


Figura 7 – Consumo de energia das variações do ângulo trocar tudo que for fator.

O brise vertical (AHS) obteve a menor influência na redução do consumo de energia, ao passo que os demais casos obtiveram uma redução máxima no consumo de energia de 15,2% para o mês de abril.

A Tabela 2 apresenta o consumo anual de energia com relação ao fator de projeção. Comparando-se o caso base com o caso que obteve menor consumo anual de energia, nota-se que houve uma redução de 10,1 kWh/m².ano (11,6%).

Tabela 2 – Consumo anual de energia com relação ao ângulo de sombreamento e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base	Ângulo horizontal			Ângulo vertical	Ângulo horizontal e vertical
		AVS25°	AVS45°	AVS65°		
Simulado (kWh/m².ano)	87,2	82,3	79,4	77,1	85,1	77,8
Varição (%)	-	-5,6	-8,9	-11,6	-2,4	-10,7

Os brises horizontais (AVS) demonstraram uma relação linear com o consumo de energia. Ocorreu uma redução no consumo energia ao se aumentar o ângulo vertical de sombreamento.

Observou-se que os casos simulados com proteção solar colaboraram para a redução do consumo de energia, porém, deve-se atentar para a adequação desta ao tipo de clima e, principalmente, à orientação solar. Para este trabalho, os brises foram considerados iguais para todas as fachadas, no entanto, para um melhor desempenho, estes devem ser projetados de acordo com a orientação solar correspondente a cada fachada.

4.2.2. Variações do entorno

O entorno foi determinado da forma descrita na metodologia, nos quais são apresentados seis casos distintos. A Figura 8 apresenta as curvas de consumo anual do caso base e dos demais casos simulados.

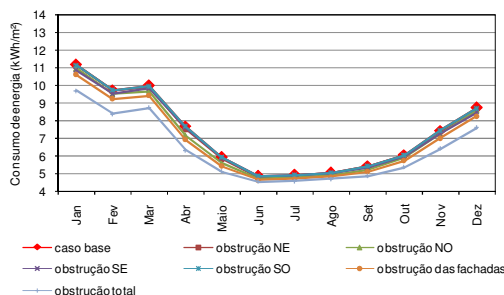


Figura 8 – Consumo de energia das variações de entorno.

Os casos onde ocorreram as menores variações do consumo de energia foram quando se obstruíram separadamente as fachadas NE, SE e SO do caso base, nas quais não ultrapassam 2% (Tabela 3).

Da análise das obstruções adotadas separadamente, a maior variação do consumo de energia ocorreu ao se obstruir a fachada NO, devido à grande incidência de radiação solar nesta. Embora no período do inverno (junho, julho e agosto) a altitude solar é menor, o que ocasiona mais sombreamento em função das obstruções do entorno, o consumo é menor do que os demais períodos do ano, pois no inverno o uso do ar condicionado é reduzido.

A Tabela 3 mostra o consumo anual de energia com relação ao entorno. Nota-se uma pequena influência no consumo de energia ao analisar as obstruções do entorno individualmente. No entanto, ao se obstruir todas as fachadas e

até mesmo cercar toda a edificação (obstrução total), observa-se que ocorreu uma redução no consumo de 5,8% e 12,3%, respectivamente. Embora ocasione redução no consumo de energia, o entorno também possui seus aspectos negativos, como a obstrução da iluminação natural, a obstrução da ventilação natural e até mesmo, a obstrução da vista para o exterior.

Tabela 3 – Consumo anual de energia com relação ao entorno e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base	Obstrução					
		NE	NO	SE	SO	Fachadas	Total
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	86,5	84,4	85,7	87,0	82,1	76,5
Variação (%)	-	-0,8	-3,2	-1,7	-0,2	-5,8	-12,3

4.2.3. Variações do fator solar dos vidros

Para a simulação das variações do fator solar dos vidros, adotaram-se os vidros que foram encontrados com maior frequência. Dessa forma, foram simulados: o vidro claro, com fator solar igual a 0,87; o vidro refletivo prata, com fator solar igual a 0,61; e o vidro refletivo bronze, com fator solar igual a 0,22. Os resultados foram comparados ao caso base, simulado com vidro fumê, fator solar igual a 0,83, e PJF de 40% para a fachada nordeste e 20% para as demais fachadas.

A Figura 9 apresenta a semelhança no consumo anual de energia das variações do fator solar dos vidros, exceto o vidro com fator solar igual a 0,22, onde ocorreu a variação mais significativa do consumo, 4,7% no mês de janeiro.

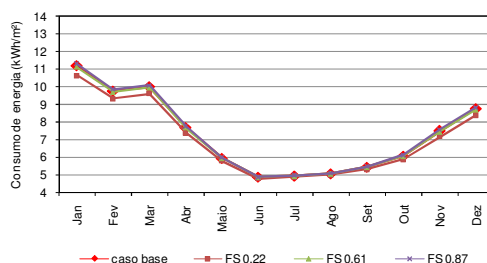


Figura 9 – Consumo de energia em função das variações do fator solar dos vidros.

A Tabela 4 apresenta o consumo anual de energia com relação ao fator solar. Nota-se que a maior redução do consumo anual de energia foi de 3,5%. Pode-se deduzir que a pequena variação da influência do consumo pode ser explicada pelo pequeno valor de PJF adotado no caso base. Observa-se que ocorre um acréscimo no consumo de energia conforme se aumenta o valor do fator solar dos vidros, embora o acréscimo seja pouco significativo. Aumentando o fator solar em 0,1, aumenta-se o consumo de energia em 0,65%.

Tabela 4 – Consumo anual de energia com relação ao fator solar e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base	Fator solar		
		0,22	0,61	0,87
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	84,1	86,7	87,9
Variação (%)	-	-3,5	-0,6	0,8

4.2.4. Variações do percentual de área de janela na fachada

Para a análise da influência no consumo de energia em função percentual de área de janelas na fachada, foram variados os PJFs em faixas de 10%, igualmente para as fachadas, e comparados ao caso base. A Figura 10 mostra a variação do consumo de energia no decorrer do ano com relação aos PJFs adotados para a análise. Ocorre uma redução máxima do consumo de 8,5% para PJF igual a 10% no mês de abril quando comparada ao consumo do caso base, e um acréscimo máximo do consumo de 25,1% para o PJF igual a 100%, no mês de fevereiro.

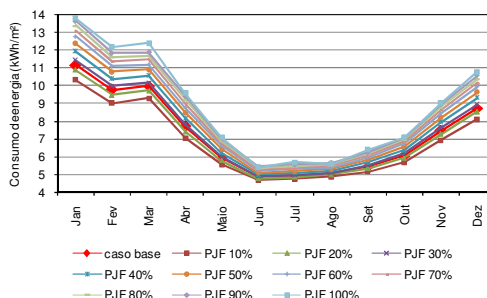


Figura 10 – Consumo de energia em função das variações dos PJFs.

Na Tabela 5, observa-se que houve uma redução no consumo de energia de 6,6% para de PJF equivalente a 10%. Já para o maior valor de PJF, equivalente a 100%, houve um acréscimo no consumo de energia de 20,4%. Excluindo o caso base e considerando o consumo de energia do PJF de 10% a 100%, nota-se um acréscimo

de 23,6kWh/m².ano, equivalente a 29%. Fazendo uma correlação do PJF com o consumo de energia, com o aumento de 10%, há um acréscimo do consumo de energia de aproximadamente 2,9%.

Tabela 5 – Consumo anual de energia com relação ao PJF e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso Base	PJF									
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	81,4	85,1	88,7	91,9	94,9	97,5	99,7	101,6	103,3	105,0
Varição (%)	-	-6,6	-2,4	17	5,4	8,8	11,8	14,3	16,5	18,5	20,4

4.2.5. Variações das transmitâncias térmicas

Ao analisar a variação no consumo de energia em função das alterações das transmitâncias térmicas das paredes, observou-se a pequena influência deste parâmetro (Figura 11).

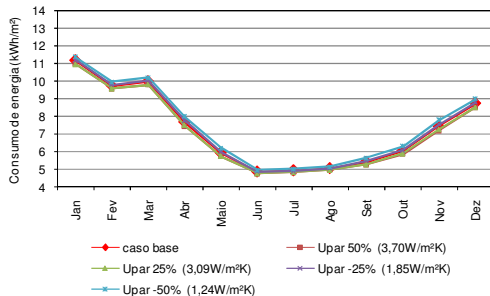


Figura 11 – Consumo de energia em função das variações da transmitância térmica das paredes.

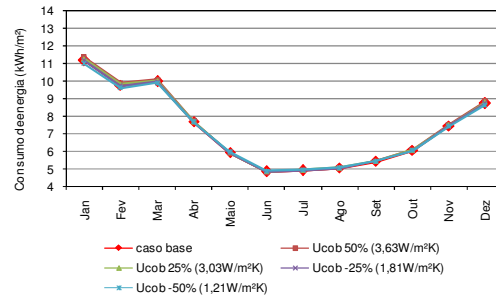


Figura 12 – Consumo de energia em função das variações da transmitância térmica da cobertura.

A partir da transmitância térmica obtida para o caso base, foram variadas para mais e para menos em 25% e 50% do valor. A transmitância térmica obtida para o caso base foi de 2,47W/m²K. Os demais valores de transmitâncias térmicas obtidos para as simulações estão apresentados na Tabela 6. Nestes casos, os valores das capacidades térmicas adotadas foram mantidos ao se alterar as transmitâncias térmicas, certificando que a variação do consumo é proveniente da alteração somente da transmitância dos componentes.

Tabela 6 – Consumo anual de energia com relação à transmitância térmica das paredes e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base 2,47 W/m ² .K	U - parede			
		3,70 W/m ² .K	3,09 W/m ² .K	1,85 W/m ² .K	1,24 W/m ² .K
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	85,1	85,2	87,6	89,7
Varição (%)	-	-2,4	-2,3	0,5	2,9

Nesse parâmetro, a resposta do consumo de energia com relação às variações das transmitâncias térmicas das paredes não se comporta como o esperado, visto que ao se diminuir a transmitância térmica, ocorre um acréscimo no consumo de energia. Ao analisar o balanço térmico dos casos simulados, percebe-se que, ao se aumentar a transmitância térmica, ocorre perda de calor pelas paredes para o exterior, devido às cargas internas serem elevadas. Com isso, o calor no ambiente interno é reduzido, conseqüentemente implicando na redução do consumo por condicionamento de ar.

A Figura 12 apresenta as curvas de consumo de energia das variações da transmitância térmica da cobertura. Nota-se que o consumo do caso base e dos demais casos se assemelha.

A transmitância térmica da cobertura foi obtida da mesma maneira que as transmitâncias térmicas das paredes. A transmitância térmica da cobertura obtida para o caso base foi de 2,42W/m²K. Os demais valores de transmitâncias térmicas obtidos para as simulações estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo anual de energia, carga de resfriamento do edifício e do pavimento de cobertura com relação à transmitância térmica da cobertura e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base 2,42 W/m ² .K	U - cobertura			
		3,63W/m ² .K	3,03W/m ² .K	1,81W/m ² .K	1,21W/m ² .K
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	87,8	87,6	87,1	86,8
Varição (%)	-	0,7	0,5	-0,1	-0,5
Carga de resfriamento (kW)	Caso base 2,42 W/m ² .K	U - cobertura			
		3,63W/m ² .K	3,03W/m ² .K	1,81W/m ² .K	1,21W/m ² .K
Edifício simulado	125969	129038	127887	125830	124353
Varição (%)	-	2,4	1,5	-0,1	-1,3
Pavimento cobertura	15216	19697	19487	16440	14069
Varição (%)	-	29,4	28,1	8,0	-7,5

Comparando-se os casos de menor e maior consumo, obtém-se uma variação de 1,2%. Observa-se que a redução no consumo de energia é pequena, porém bastante significativa se comparada proporcionalmente com o comportamento das paredes, visto que a área de cobertura é menor que a área de paredes. Ao diminuir a transmitância térmica da cobertura em 1W/m²K, ocorre uma redução no consumo anual de energia de 0,5%.

Para a análise da transmitância térmica com relação apenas ao pavimento de cobertura, foram utilizadas também as cargas de resfriamento.

A Tabela 7 apresenta os valores de carga de resfriamento do caso base, das variações das transmitâncias térmicas e em seguida, os valores de carga de resfriamento do pavimento de cobertura. Também estão apresentadas as variações de carga de resfriamento com relação à tipologia predominante e ao pavimento de cobertura. Observa-se que, com relação ao edifício, a variação máxima de carga de resfriamento foi de 2,4%. Quando é considerado somente o pavimento de cobertura, ocorreu uma variação de carga de resfriamento de 29,4% para uma transmitância térmica de 3,63W/m²K. Essa análise demonstra que ocorrem pequenas variações de carga com relação ao edifício, porém ao se tratar do pavimento que está mais vulnerável às influências da cobertura, ocorrem variações significativas. Ao aumentar a transmitância térmica, ocorre um acréscimo na carga de resfriamento.

4.2.6. Variações das absorvâncias

Nas simulações do edifício que representa a tipologia predominante, foram estabelecidas paredes com acabamento superficial de cor cinza (absorvância média é igual a 65%). Das variações observadas no consumo de energia (Figura 13), quando a absorvância varia do valor mínimo obtido ($\alpha=0,19$) ao máximo ($\alpha=0,9$), ocorre um aumento no consumo de energia de 15,1%.

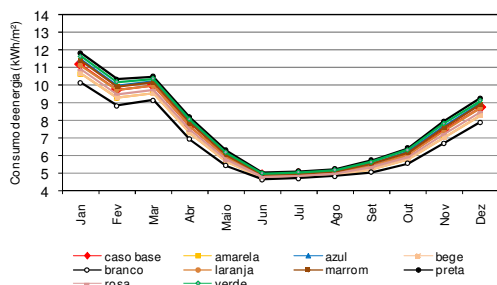


Figura 13 – Consumo de energia em função das variações da absorvância das paredes.

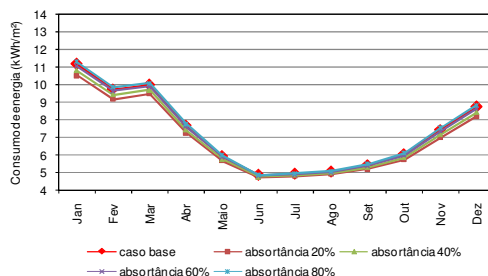


Figura 14 – Consumo de energia em função das variações da absorvância da cobertura.

A Tabela 8 apresenta o consumo anual de energia com relação às absorvâncias médias das paredes externas. Observa-se que a menor variação com foi da cor branca, com uma redução do consumo de energia de 8,4%. A maior variação comparada ao caso base foi da cor preta, alcançando um acréscimo do consumo de energia de 5,5%.

Tabela 8 – Consumo anual de energia com relação à absorvância média das paredes e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base $\alpha=65\%$	Branco $\alpha=19,0\%$	Amarelo $\alpha=39,0\%$	Bege $\alpha=39,2\%$	Rosa $\alpha=60,7\%$
Simulado (kWh/m ² .year)	87,2	79,9	83,4	83,4	85,1
Variação (%)	-	-8,4	-4,4	-4,4	-2,4
Consumo	Laranja $\alpha=61,3\%$	Marrom $\alpha=74,4\%$	Azul $\alpha=74,5\%$	Verde $\alpha=85,8\%$	Preto $\alpha=92,6\%$
Simulado (kWh/m ² .year)	86,8	88,7	89,2	90,6	92,0
Variação (%)	-0,5	1,7	2,3	3,9	5,5

O consumo de energia aumenta em função do aumento da absorvância das paredes. A cada alteração de 10% da absorvância, ocorre aproximadamente um aumento de 1,9% no consumo de energia. A alteração da absorvância das paredes é uma alternativa de economia de energia relativamente simples de ser executada, pois na maioria das vezes, basta alterar a tonalidade da pintura do acabamento externo do edifício. Esta medida pode ter seu custo quase nulo se for implementada no período de execução ou reforma da edificação. Desta forma, a economia alcançada pode ser bem significativa.

Para a análise da influência da absorvância na cobertura, adotou-se para o caso base uma absorvância de 70%, caracterizando a cor da telha de fibrocimento escura. Na Figura 14, pode-se observar que no mês de novembro ocorreram as maiores variações, chegando a uma redução do consumo de 6,4% para absorvância igual a 20%.

Como mostra a Tabela 9, houve uma redução do consumo de energia em todos os casos analisados com absorvâncias inferiores às do caso base. Houve somente aumento no consumo de energia com relação ao caso base para a cobertura com absorvância de 80%. E ainda, correlacionado parâmetro com consumo, ao se aumentar a absorvância em 10%, aumenta-se o consumo de energia em 1%. A mesma análise realizada para verificar a influência da transmitância térmica na carga de resfriamento, foi realizada para verificar a influência da absorvância apenas considerando o pavimento de cobertura. De acordo com dados apresentados na Tabela 9, ao se comparar a carga total

dos edifícios, as variações são significativas. No entanto, ao se analisar somente o pavimento de cobertura, essas variações são maiores, chegando até 40,3% de redução de carga de resfriamento. E ainda, ao se alterar a absorvância em 10%, ocorre uma variação aproximada de carga de resfriamento no último pavimento de 14%.

Tabela 9 – Consumo anual de energia, carga de resfriamento do edifício e do pavimento de cobertura com relação à absorvância média da cobertura e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base $\alpha=70\%$	$\alpha=20\%$	$\alpha=40\%$	$\alpha=60\%$	$\alpha=80\%$
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	82,8	84,6	86,3	88,0
Variação (%)	-	-5,0	-3,0	-1,0	0,9
Carga de resfriamento (kW)	Caso base $\alpha=70\%$	$\alpha=20\%$	$\alpha=40\%$	$\alpha=60\%$	$\alpha=80\%$
Edifício simulado	125969	107660	115210	122429	129479
Variação (%)	-	-14,5	-8,5	-2,8	2,8
Pavimento cobertura	15216	9083	11502	13962	16485
Variação (%)	-	-40,3	-24,4	-8,2	8,3

4.2.7. Variações da orientação solar

Para analisar a influência da orientação no consumo de energia do edifício, o caso base foi adotado com suas características fixas, PJF de 40% na fachada principal orientada a nordeste e 20% para as demais fachadas. Para os 4 casos simulados, orientou-se a fachada principal para os principais pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste)

Os resultados de consumo de energia dos casos analisados relacionados à orientação são similares, como se pode observar na Figura 15. Vale reforçar que essa conclusão é válida apenas para o modelo adotado.

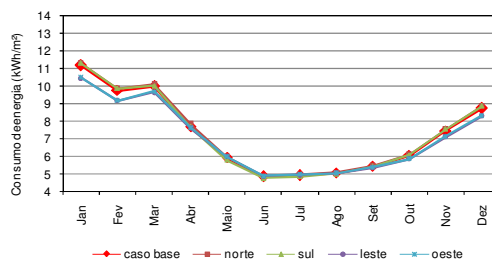


Figura 15 – Consumo de energia em função das variações das orientações.

A única situação em que durante todo o ano apresenta o consumo mais elevado que o caso base é o edifício com a fachada principal voltada para norte. As demais orientações apresentam oscilações do consumo de energia decorrentes da altitude solar. No verão, quando a fachada principal está orientada a leste e a oeste, ocorre uma redução no consumo de energia comparada ao caso base, cuja fachada está voltada para nordeste. Isso ocorre devido às diferenças de hora de sol incidentes nessas fachadas.

A Tabela 10 apresenta o consumo anual de energia com relação à orientação. Observa-se que o caso que apresentou maior variação de consumo de energia foi o edifício com a fachada principal orientada a leste, no qual ocorreu uma redução no consumo de 3,1%. Ao comparar os casos que obtiveram maior e menor consumo, edifício com a fachada principal voltada para norte e leste respectivamente, nota-se um acréscimo no consumo anual de 3,6kWh/m², apresentando uma variação no consumo de 4,3%.

Tabela 10 – Consumo anual de energia com relação à orientação e variação percentual em relação ao caso base.

Consumo	Caso base 45°	Norte 0°	Sul 180°	Leste 90°	Oeste -90°
Simulado (kWh/m ² .ano)	87,2	88,1	87,3	84,5	84,7
Variação (%)	-	1,0	0,1	-3,1	-2,9

4.3. Síntese dos resultados

A Tabela 11 apresenta uma síntese dos resultados obtidos indicando os principais parâmetros construtivos que mais influenciam no consumo de energia e na carga de resfriamento para o caso da análise da transmitância térmica e da absorvância da cobertura para o último pavimento.

Tabela 11 – Variações do consumo de energia e carga de resfriamento com relação aos parâmetros construtivos.

Variação do parâmetro construtivo	Variação do consumo de energia	Consumo anual de energia (kWh/m ² .ano)		
		Mínimo	Caso base	Máximo
10% Percentual de janela na fachada (PJF)	2,9%	81,4	87,2	105,0
10% absorvância das paredes	1,9%	79,9	87,2	92,0
10° Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	1,8%	77,1	87,2	82,3
10% absorvância da cobertura	1,0%	82,8	87,2	88,0
0,1 fator solar	0,6%	84,1	87,2	87,9
10% transmitância térmica das paredes	0,5%	85,1	87,2	89,7
10% transmitância térmica da cobertura	0,1%	86,8	87,2	87,8

Tabela 11 (cont) – Variações do consumo de energia e carga de resfriamento com relação aos parâmetros construtivos.

Variação do parâmetro construtivo	Variação da carga de resfriamento	Carga de resfriamento (kW)		
		Mínimo	Caso base	Máximo
10% transmitância térmica da cobertura	8% (pavimento de cobertura)	14069	15216	19697
10% absorvância da cobertura	14% (pavimento de cobertura)	9083	15216	16485

5. CONCLUSÕES

A proposta metodológica apresenta-se apropriada para se analisar o desempenho energético de uma edificação. De acordo com a literatura revista e com os resultados obtidos neste trabalho, percebe-se a importância da escolha dos materiais e da adequação da edificação ao clima com o intuito de alcançar melhores níveis de eficiência energética. Esses aspectos influenciam no consumo de energia de uma edificação, portanto devem ser considerados na fase inicial de projeto. Muitas vezes, estudos e medidas simples implicam em uma redução significativa do consumo de energia.

A partir do trabalho apresentado, permitiu-se demonstrar os parâmetros relacionados ao envelope que mais influenciaram no consumo de energia, como o percentual de área de janela na fachada, a absorvância das paredes e, a presença de proteção solar nas aberturas. Vale ressaltar que as análises foram realizadas especificamente para uma tipologia predominante localizada na cidade de Florianópolis, e que para a definição desta, buscou-se a maior aproximação com a realidade construtiva local, caracterizando o diferencial deste trabalho. O estudo auxilia dessa forma, meios de adequar esse tipo de edificação ao clima e garantir melhores níveis de eficiência energética.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- AKSOY, U.T.; INALLI M. Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. **Building and Environment** 2002;37:1173-1180.
- BOKEL, R.M.J. The Effect of Window Position and Window Size on the Energy Demand for Heating, Cooling and Electric Lighting. In: Building Simulation 07, Beijing, 2007. **Proceedings...** Beijing: BS, 2007. *Documento Eletrônico*.
- CARLO, J.C. Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes. Processamento de arquivos climáticos para simulação de desempenho energético de edificações. **AET N° 02/04**. Florianópolis, 2005.
- CHENG, V.K.; GIVONI, B. Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. **Solar Energy** 2005;78:528-534.
- CHEUNG, C.K.; FULLER, R.J.; LUTHER, M.B. Energy-efficient envelope design for high-rise apartments. **Energy and Building** 2005;37:37-48.
- GHISI, E; TINKER, J.A. An Ideal Window Area concept for energy efficient integration of daylight and artificial light in buildings. **Building and Environment** 2005;40(1):51-61.
- GOULART, S.V.G.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileira. Eletrobras, Brazil: Procel; 1998.
- IQBAL, I; AL-HOMOUD, M.S. Parametric analysis of alternative energy conservation measures in an office building in hot and humid climate. **Building and Environment** 2007;42:2166-2177.
- LAM, J.C; HUI, S.C.M. Computer simulations of energy performance of commercial buildings in Hong Kong. In: Building Simulation 93, Australia, 1993. **Proceedings...** Australia: Building Simulation, 1993.
- LAM, J.C. Energy analysis of commercial buildings in subtropical climates. **Energy Conversion and Management** 2000;35:19-26.
- ORAL, G.K.; YENER, A.K.; BATAZIT, N.T. Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. **Building and Environment** 2004;39:281-287.
- ORAL, G.K.; YILMAZ, Z. The limit U values for building envelope related to building form in temperate and cold climatic zones. **Building and Environment** 2006;41:1742-1754.
- SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis-SC**. Florianópolis, 2006. 183p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- ÜNVER, R.; AKDAG, N.Y.; GEDIK, G.Z.; ÖZTÜRK, L.D.; KARABILBER, Z. Prediction of building envelope performance in the design stage: na application for Office buildings. **Building and Environment** 2004;39:143-152.
- YANG, L.; LAM, J.C.; TSANG, C.L. Energy performance of buildings envelopes in different climate zones in China. **Applied Energy** 2008;85:800-817.