

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS CONSTRUTIVAS E DE VARIÁVEIS DE USO E OCUPAÇÃO NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO.

Leandra Beggiato Porto do Nascimento (1); Miriam Jerônimo Barbosa (2).

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, lb_porto@yahoo.com.br

(2) PhD, Professora do Departamento de Construção Civil, mjb@uel.br

Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Construção Civil, Rodovia Celso Garcia Cid, Km 380, Cx. Postal 6001, CEP 86055-900, Londrina – PR, Tel: (43) 3371-4000

RESUMO

O objetivo deste trabalho é verificar o impacto de variáveis construtivas e de variáveis de uso e ocupação no consumo de energia em edifício de escritórios. Pretende-se entender melhor a relação de influência no consumo de energia entre variáveis construtivas (proporção da forma da planta, absorvância térmica das paredes externas, transmitância térmica das paredes externas, porcentagem de área de janela na fachada, tipo de vidro e proteção solar) e variáveis de uso e ocupação (número de ocupantes, carga interna de iluminação e de equipamentos), em edifícios de escritórios, mantendo-se fixas as características climáticas. Utilizou-se uma sala de advocacia de um edifício típico da cidade de Londrina como caso base do estudo, criando um modelo virtual através do *software EnergyPlus 2.2.0*, contendo as mesmas características físicas e de ocupação do espaço, que foi devidamente calibrado. Durante a etapa de calibração do modelo constatou-se um problema nos valores de radiação solar no arquivo climático de Londrina, levando a necessidade de substituir pelo arquivo climático de São Paulo. A simulação do Caso Base foi refeita e calibrada novamente. Em seguida, foram realizadas as simulações das alterações de cada uma das variáveis para valores máximos e mínimos, para cada orientação solar. Os resultados demonstraram que as variáveis de uso e ocupação influenciam em mais de 30% no consumo de energia em uma sala de edifício de escritório, enquanto as variáveis construtivas influenciam no máximo em 13%.

Palavras-chave: eficiência energética; consumo de energia; simulação térmica; edifícios comerciais.

ABSTRACT

The purpose of this study is to verify the impact of architectural and occupational parameters in energy consumption of office buildings. The intention is to understand the responsibility in the energy consumption among the architectural parameters (floor plan proportion, external walls transmittance, external walls absorptance, window to wall ratio, shading of windows and solar orientation) and the occupational parameters (occupancy, loads of equipment and lightning) maintaining the weather characteristics' fixated. A model was created through the software *EnergyPlus 2.2.0*, based on a lawyer company of a typical office building in Londrina, using the same physical and occupational characteristics. During the calibration of the model a problem with the radiation data of weather file was discovered, requiring changing the file to another city, São Paulo. The simulation of the model was redone and once again calibrated. The model was simulated and then the variation of architectural and occupational parameters for minimal and maximal values, for each solar orientation. The results demonstrated that occupational parameters influence the energy consumption of office building in almost 30% for equipments, whilst the architectural parameters have a maximum influence of 13% for window wall ratio.

Keywords: energy efficiency, energy consumption, thermal and energy simulation, office buildings.

1. INTRODUÇÃO

O problema relacionado ao alto consumo energético tem sido tema de atual importância para a sustentabilidade, tendo em vista as restrições energéticas e a crescente demanda no setor da construção civil, especialmente após a revolução industrial (CRUZ et al., 2004). Desde a crise do petróleo, na década de 70, estudos têm sido realizados com o intuito de aprimorar a eficiência energética. Os países foram estimulados pelo fato de que é mais fácil economizar energia do que recorrer a novas fontes de recursos naturais. De acordo com Goulart e Lamberts (1997), atualmente, países como: EUA, Canadá, México, Reino Unido, Portugal, Espanha, Austrália, Nova Zelândia, possuem algum tipo de normalização relacionada à eficiência energética. O cenário brasileiro é muito diferente. Somente em 2001, após a crise energética, o Brasil começou a se preocupar com o consumo de energia, estipulando critérios e regulamentações.

Uma edificação é considerada mais eficiente energeticamente do que outra quando é capaz de assegurar as mesmas condições de conforto ambiental, através de um menor consumo energético (PAPST, A.L. et al, 2005). Entretanto, a avaliação da eficiência energética de uma edificação é um processo difícil porque o conceito de eficiência engloba muitos fatores. E deve-se atentar que nem sempre uma edificação que apresenta baixo consumo energético é energeticamente eficiente. Da mesma forma, uma edificação eficiente energeticamente pode não apresentar baixo consumo de energia anual devido ao fato dos equipamentos eficientes não estarem instalados de forma satisfatória (OLLOFSSON et al, 2004).

O estudo realizado por Santana (2006) permitiu demonstrar os parâmetros que mais influenciam no consumo de energia na tipologia construtiva de edifícios de escritórios em Florianópolis. Seu estudo analisou, através de simulações computacionais desenvolvidas com o *software EnergyPlus*, os seguintes parâmetros: fator de projeção, entorno, coeficiente de sombreamento dos vidros, percentual de área de janela na fachada, transmitância térmica das paredes e da cobertura e orientação. Dentre os parâmetros analisados, a porcentagem de janela na fachada foi a variável que apresentou resultados mais significativos, sendo que a cada 10% de aumento de área de janela, o consumo de energia sobe 2,9%. Para edifícios com grandes áreas de parede, o fator de absorvância demonstrou grande influência, observando redução de 1,9% do consumo de energia para cada alteração de 10% na absorvância. Na comparação entre modelos com paredes claras e escuras, o consumo de energia variou em 15,1%. A utilização de proteções solares, quando simulados para todas as orientações, demonstrou uma redução de 12% no consumo de energia.

O artigo produzido por Westphal e Lamberts (2007) apresentou os resultados da análise do desempenho energético de edificações comerciais através de simulações computacionais. Dois modelos arquitetônicos foram simulados no *software EnergyPlus* com diferentes condições de uso, densidade de carga interna e eficiência do sistema de ar condicionado, variando inclusive componentes construtivos, para três cidades brasileiras: Curitiba, Florianópolis e Salvador. Com as 23.040 simulações realizadas, verificou-se que os fatores carga interna, padrões de uso e eficiência do ar condicionado foram os mais importantes no consumo de energia dos edifícios, demonstrando que se os projetistas têm pouco controle sobre essas variáveis, a economia de energia prevista por um projeto arquitetônico mais eficiente pode não ser alcançada. Desta forma, demonstram serem relevantes estudos desenvolvidos para a avaliação da eficiência energética no Brasil e em edifícios de escritório, grandes consumidores de energia.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é verificar o impacto das variáveis construtivas e das variáveis de uso e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritório através de simulações computacionais. O objetivo secundário é verificar a relação entre as variáveis construtivas (proporção da forma da planta, transmitância térmica das paredes externas, absorvância térmica das paredes externas, porcentagem de área de janela em relação à fachada, tipo de vidro, sombreamento das aberturas e orientação das fachadas) e as variáveis de uso e ocupação (número de ocupantes, carga de iluminação e equipamentos) através da análise do consumo de energia dos modelos virtuais.

3. MÉTODO

A partir do objetivo deste trabalho, fez-se necessário eleger uma sala comercial que servisse como modelo de estudo. De acordo com Nascimento (2009), existem dois edifícios que representam a tipologia construtiva de edifícios comerciais na cidade de Londrina e a atividade comercial de maior ocorrência é advocacia, representando 20% do total. Estes dados permitiram determinar uma sala comercial utilizada para empresa de advocacia em um edifício típico na cidade para servir de Caso Base. O método deste trabalho foi dividido em três etapas:

- Simulação e calibração do Caso Base para as quatro orientações solares, gerando quatro modelos de referência;
- Simulação das alterações das variáveis construtivas para valores máximos e mínimos, conforme realidade observada na cidade, para cada orientação solar;
- Simulação das alterações das variáveis de uso e ocupação para valores máximos e mínimos, conforme realidade observada na cidade, para cada orientação solar.

3.1 Simulação do Caso Base

Com os dados obtidos, gerou-se um modelo virtual desta sala, para a orientação sudoeste, utilizando um simulador. A ferramenta escolhida foi o *software EnergyPlus2.2.0*, que é um programa de simulação térmica e energética de edificações integrada com seus sistemas, como o ar condicionado, equipamentos, iluminação. O *software* realiza todos os cálculos de carga térmica para cada hora do dia, de acordo com os dados climáticos na cidade determinada, as temperaturas internas e externas, a envoltória da edificação e demais sistemas, permitindo uma análise energética através dos relatórios de resultados (*Excel* e *AutoCAD*). O *software* apresenta inúmeros recursos de configuração e cálculo, mas para o objetivo deste trabalho ele possibilita especificamente: a comparação entre temperaturas internas e externas; o consumo de ar condicionado por horário e a decomposição do consumo em três categorias (iluminação, equipamentos elétricos e ar condicionado) ao longo do ano. O *software* requer diversos dados, tais como:

- Dados climáticos:
 - Arquivo TRY (Ano Climático de Referência).
- Dados de Projeto:
 - Dimensões da sala (planta, paredes e laje);
 - Dimensões das esquadrias;
 - Orientação das fachadas;
 - Elementos de proteção solar e detalhes construtivos;
 - Cor e materiais da fachada.
- Dados de Padrão de Uso e Ocupação:
 - Horários de ocupação da sala;
 - Padrão de uso de equipamentos;
 - Densidade de carga interna (pessoas e equipamentos).

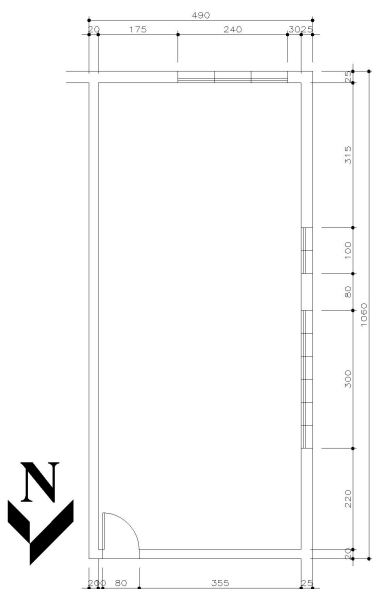


Figura 1 – Planta do Caso Base montado no simulador *EnergyPlus 2.2.0*.

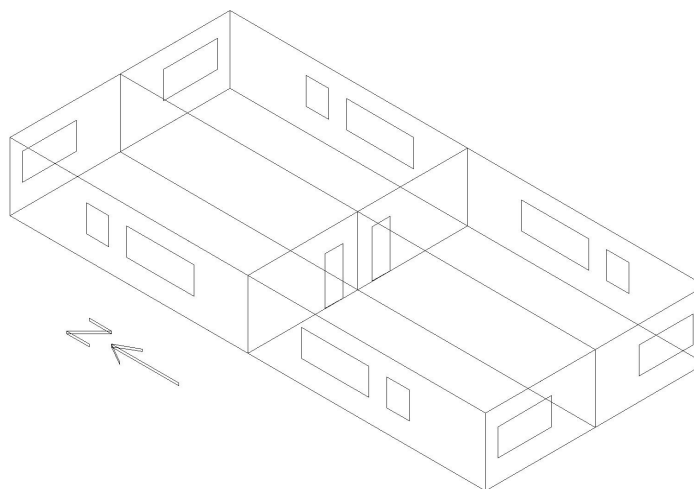


Figura 2 – Perspectiva esquemática do Caso Base, emitido pelo Programa *EnergyPlus 2.2.0*.

Depois de inseridos todos os valores referentes aos itens citados acima, foi instalado um aparelho de ar condicionado no Caso Base para que a temperatura interna do ambiente fosse mantida entre 18° e 29°C. Desta maneira, toda vez que o ambiente interno estiver fora da zona de conforto, o ar condicionado é acionado automaticamente. Cada vez que existe alteração na temperatura interna, pode-se analisar sua influência pelo consumo de energia apresentado pelo simulador. Os resultados obtidos durante a simulação

são apresentados em planilhas de Excel, com os valores de consumo de energia, em kWh, de cada mês do ano, separado em três categorias: iluminação, equipamentos elétricos e ar condicionado.

O modelo criado precisou ser calibrado para verificação de sua coerência com a condição real da sala. A calibração do modelo foi executada em três etapas:

- Comparação das temperaturas interna e externa em dias típicos de projeto (verão e inverno) e das mínimas e máximas temperaturas do ano;
- Comparação do consumo de energia real com a conta de luz;
- Simulação teste com algumas variáveis (absortância e carga interna).

Ao realizar a calibração do modelo uma incompatibilidade nos valores foi observada durante a terceira etapa. Após conferência detalhada do modelo, dos dados de input e dos resultados, verificou-se que o arquivo climático TRY de Londrina utilizado encontra-se incompleto quanto aos dados de radiação solar. Este problema inviabilizou a continuidade da metodologia, que procurava estudar especificamente a relação das variáveis construtivas e de uso e ocupação considerando o clima fixo para a cidade de Londrina.

Diversas cidades já possuem arquivos climáticos propícios para simulações termo energéticas através do *software Energy Plus 2.2.0*. Cidades como Florianópolis, Rio de Janeiro, Recife, Manaus, Brasília entre outras apresentam seus respectivos arquivos climáticos que já foram utilizados em outros estudos de simulação, demonstrando confiabilidade dos resultados. Dentre estas cidades, optou-se por utilizar a cidade de São Paulo como substituta, baseado na análise na norma de desempenho térmico, ABNT NBR 15220-3 que classifica as duas cidades como pertencentes a mesma Zona Bioclimática, exigindo as mesmas diretrizes de condicionamento térmico passivo; e nas características físicas das duas cidades: latitude, longitude, altitude; conforme é apresentado na Tabela 1; e temperaturas e precipitação média anual.

Tabela 1: Dados de latitude, longitude e altitude de Londrina e São Paulo.

	Latitude (m)	Longitude (m)	Altitude (m)
Londrina	-23,3	-51,22	576
São Paulo	-23,62	-46,65	803

Londrina apresenta clima subtropical com chuvas durante o ano todo, mas com concentração no período de verão. A precipitação anual média é de 1588mm. A temperatura média anual fica acima dos 21°C, com a temperatura máxima média de 27,3°C e a temperatura mínima média de 16°C. A cidade de São Paulo também possui clima subtropical, com chuvas mais frequentes no período de verão e precipitação anual média é de 1376,2mm. Os invernos são brandos e os verões com temperaturas moderadamente altas. A temperatura média anual é 20,7°C. A temperatura máxima média é de 24°C no mês de fevereiro e a temperatura mínima média é de 17°C, em julho.

A cidade de São Paulo foi adotada como substituta a Londrina e seu arquivo climático foi aplicado ao modelo. O caso base foi alterado e simulado com os dados climáticos de São Paulo e os mesmos testes de calibração foram realizados ao modelo virtual. Os dados obtidos foram coerentes e permitiram validar o modelo criado. Com o modelo para a orientação sudoeste pronto, foram criados os modelos para as demais orientações.

3.2 Simulação das Alterações das Variáveis Construtivas

Com a definição e calibração dos quatro Casos Base e os resultados obtidos de suas simulações, foram realizadas as simulações das alterações de cada variável. Na primeira etapa foram simuladas as alterações das variáveis construtivas, considerando valores mínimos e máximos, para cada orientação solar de fachada, conforme demonstrado na Tabela 2:

Tabela 2: Valores das Variáveis Construtivas para simulação.

Característica Arquitetônica	Valor Caso Base		Valor Mínimo	Valor Máximo
Forma da Planta (m)	retangular	4,90 x 10,60m	7,20 x 7,20m	-
Absortância (α)	0,5		0,2 (cor clara)	0,8 (cor escura)
Transmitância (U: W/m ² .K)	2		1	5
Porcentagem de Janela na Fachada	15%		10 e 20%	40%
Tipo de vidro	Incolor 3mm		Fumê 3mm e Reflexivo 6mm	
Sombreamento das aberturas	sem proteção		-	com proteção

3.3 Simulação das Alterações das Variáveis de Uso e Ocupação

Na etapa seguinte, foram simuladas as alterações das variáveis de uso e ocupação, conforme demonstra a Tabela 3. O número de ocupante e a carga interna de iluminação e equipamentos foram variados de acordo com a possibilidade de layout, espaço e atividade realizada no Caso Base, para valores máximos e mínimos viáveis. Essas variáveis construtivas e de uso e ocupação foram escolhidas por demonstrarem maior influência no desempenho térmico e energético de edificações, conforme a revisão bibliográfica, e por apresentarem viabilidade de serem realizadas dentro das limitações dos autores no uso da ferramenta de simulação.

Tabela 3: Valores das Variáveis de Uso e Ocupação para simulação.

Característica de Uso e Ocupação	Valor Caso Base	Valor Mínimo	Valor Máximo
Ocupantes	3	1	10
Iluminação (W)	735	210	1050
Equipamentos (W)	505	145	2370

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Simulação do Caso Base

Com a simulação dos Casos Base, foi possível obter uma planilha contendo o resultado do consumo energético anual dividido em: ventilação, aquecimento, resfriamento, iluminação e equipamentos, como são apresentados na Tabela 4:

Tabela 4: Resultados do consumo de energia do Caso Base por orientação, dividido por setores, em kWh

Orientação	Ventilação	Aquecimento	Resfriamento	Iluminação	Equipamentos	Consumo Anual
Nordeste	303	1	1834	2071	1839	6058
Noroeste	300	1	1744	2071	1839	5955
Sudeste	246	9	1436	2071	1839	5769
Sudoeste	264	6	1589	2071	1839	5601

A orientação nordeste foi a que apresentou maior consumo de energia, seguida pela noroeste, sudeste e sudoeste. A diferença máxima de consumo de energia entre elas foi de 457KWh por ano e o consumo médio foi de 5843,25kWh. É interessante notar que se utiliza muito mais energia para ventilar e resfriar o ambiente do que para aquecê-lo. Em todas as 84 simulações realizadas, não ocorreram valores para aquecimento do ambiente superior a 1% do consumo total de energia consumida. A ventilação do ambiente consome cerca de 5% da energia total. O consumo de energia para o resfriamento do ambiente interno, para mantê-lo dentro da zona de conforto é muito próximo do consumo de energia para a iluminação ou para os equipamentos, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do consumo de energia do Caso Base por orientação, dividido por setores, em porcentagem.

Orientação	Ventilação	Aquecimento	Resfriamento	Iluminação	Equipamentos	Consumo Anual
Nordeste	5.01%	0.02%	30.32%	34.24%	30.41%	100%
Noroeste	5.04%	0.02%	29.29%	34.78%	30.88%	100%
Sudeste	4.58%	0.10%	27.54%	35.90%	31.88%	100%
Sudoeste	4.39%	0.16%	25.64%	36.98%	32.83%	100%

4.2 Simulação das alterações das Variáveis Construtivas

4.2.1. Proporção da forma da planta

A proporção da planta foi alterada de retangular para quadrada. Foram realizadas quatro simulações, considerando cada orientação. Somente para a orientação nordeste ocorreu um pequeno aumento do consumo de energia. Para os demais casos, o consumo foi reduzido de 0,13% a 1,14%, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Resultados do consumo de energia alteração da forma, em kWh.

Proporção	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
Planta Quadrada	Nordeste	6040	-0.13%
	Noroeste	5964	0.15%
	Sudeste	5709	-1.04%
	Sudoeste	5537	-1.14%

4.2.2. Absortância térmica das paredes externas

Quando os modelos foram alterados para valores de absortância de 0,2, o consumo de energia foi reduzido em média 4,6%. E quando a absortância foi alterada para 0,8, o consumo de energia elevou-se em média 4%, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7: Resultados do consumo de energia alteração da forma, em kWh.

Absortância	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
0,2	Nordeste	5717	-5.47%
	Noroeste	5651	-5.10%
	Sudeste	5487	-4.89%
	Sudoeste	5426	-3.12%
0,8	Nordeste	6314	4.40%
	Noroeste	6196	4.05%
	Sudeste	5995	3.92%
	Sudoeste	5796	3.48%

4.2.3. Transmitância térmica das paredes externas

Alterados os valores de transmitância térmica das paredes externas para 1W/m².K, o consumo de energia aumentou aproximadamente 2%, sendo todo este valor verificado no aumento da carga para resfriamento da sala. Para transmitância térmica das paredes externas de 5W/m².K houve aumento de 4% no consumo de energia, valores verificados tanto para resfriamento quanto para aquecimento da edificação, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Resultados do consumo de energia alteração da transmitância, em kWh.

Transmitância	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
1 W/m ² .K	Nordeste	6172	2.05%
	Noroeste	6119	2.75%
	Sudeste	5861	1.59%
	Sudoeste	5736	2.41%
5 W/m ² .K	Nordeste	6284	3.90%
	Noroeste	6181	3.80%
	Sudeste	5998	3.97%
	Sudoeste	5905	5.43%

4.2.4. Porcentagem de área de janela por fachada (WWR)

No caso da porcentagem de área de janela por fachada, utilizou-se 10% como valor de redução de área e 40% como valor de aumento. O valor 20% foi considerado como ponto de equilíbrio uma vez que o caso base apresenta WWR de 15%. Para menor área de janela de fachada, o consumo de energia foi reduzido em mais de 4%. Para WWR de 20% o consumo aumentou mais de 2%, enquanto para WWR de 40% o aumento foi de 15%, conforme Tabela 9.

Tabela 9: Resultados do consumo de energia alteração da WWR, em kWh.

WWR	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
10%	Nordeste	5766	-4.66%
	Noroeste	5687	-4.50%
	Sudeste	5570	-3.45%
	Sudoeste	5415	-3.32%
20%	Nordeste	6202	2.55%
	Noroeste	6096	2.37%
	Sudeste	5919	2.60%
	Sudoeste	5735	2.39%
40%	Nordeste	6956	15.01%
	Noroeste	6813	14.41%
	Sudeste	6512	12.88%
	Sudoeste	6287	12.25%

4.2.5. Tipo de Vidro

Os dois vidros utilizados nas alterações simuladas proporcionaram redução no consumo de energia. A troca do vidro incolor de 3mm por vidro fumê de 3mm permitiu que o consumo de energia fosse reduzido em quase 2%, enquanto para o vidro Reflexivo de 6mm a redução foi de até 8,2%, conforme Tabela 10.

Tabela 10: Resultados do consumo de energia alteração do Tipo de Vidro, em kWh.

Tipo de Vidro	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
Fumê 3mm	Nordeste	5929	-1.97%
	Noroeste	5852	-1.73%
	Sudeste	5678	-1.58%
	Sudoeste	5525	-1.36%
Reflexivo 6mm	Nordeste	5548	-8.27%
	Noroeste	5501	-7.62%
	Sudeste	5380	-6.74%
	Sudoeste	5265	-6.00%

4.2.6. Proteção Solar

Apenas uma pequena parte dos prédios de Londrina apresentou algum tipo de proteção solar das aberturas das fachadas. Quando ela ocorria, eram elementos estruturais que avançavam na fachada não mais que 50cm. Foram simulados modelos com proteções solares horizontais e verticais de 50cm e de 100cm em todas as esquadrias. Os resultados demonstram que as proteções solares permitem uma redução maior no consumo energético, porém estes valores são bem próximos das proteções menores, com variação de 1,4% a 2,8%, conforme Tabela 11.

Tabela 11: Resultados do consumo de energia alteração da Proteção Solar, em kWh.

Proteção Solar	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
Proteção Solar 50cm	Nordeste	5876	-2.05%
	Noroeste	5770	-2.20%
	Sudeste	5643	-1.47%
	Sudoeste	5468	-1.59%
Proteção Solar 100cm	Nordeste	5924	-2.84%
	Noroeste	5824	-3.11%
	Sudeste	5684	-2.18%
	Sudoeste	5512	-2.37%

4.3 Simulação das alterações das Variáveis de Uso e Ocupação

4.3.1. Ocupantes

Para a variação no número de ocupantes, adotou-se como valor mínimo uma só pessoa, e para valor máximo de 10 pessoas (considerando 3 advogados, atendendo 2 pessoas cada um e um secretária). Para o mínimo de ocupantes as simulações mostraram redução no consumo de energia de cerca de 3% e para valores máximos, aumento no consumo em até 10%.

Observa-se que 10 é o número máximo que o simulador conseguiu comportar. Valores acima deste geraram erro de input e sobrecarregaram o ar condicionado, conforme Tabela 12.

Tabela 12: Resultados do consumo de energia alteração do Número de Ocupantes, em kWh.

Ocupantes	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
1	Nordeste	5865	-3.03%
	Noroeste	5782	-2.91%
	Sudeste	5603	-2.88%
	Sudoeste	5447	-2.75%
10	Nordeste	6697	10.73%
	Noroeste	6583	10.55%
	Sudeste	6372	10.45%
	Sudoeste	6173	10.21%

4.3.2. Iluminação

No caso da carga interna de iluminação, considerou-se valor mínimo de 210W e valor máximo de 1050W. Para o primeiro caso, a redução do consumo de energia foi de aproximadamente 30% enquanto para o segundo caso, o aumento no consumo de energia foi quase 20%, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13: Resultados do consumo de energia alteração da Carga Interna de Iluminação, em kWh.

Iluminação	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
210W	Nordeste	4182	-30.85%
	Noroeste	4084	-31.42%
	Sudeste	3942	-31.67%
	Sudoeste	3779	-32.53%
1050W	Nordeste	7179	18.70%
	Noroeste	7088	19.03%
	Sudeste	6884	19.33%
	Sudoeste	6715	19.89%

4.3.3. Equipamentos

Quando os valores da carga interna de equipamentos foram alterados para valores mínimos de 145W, o consumo de energia caiu em 30%. Inversamente, para aumento da carga interna dos equipamentos para 2370W, o consumo de energia aumentou em 30%, como apresenta a Tabela 14.

Tabela 14: Resultados do consumo de energia alteração da Carga Interna de Equipamentos, em kWh.

Equipamentos	Orientação	Consumo Anual	Relação ao Caso Base
145W	Nordeste	4265	-29.48%
	Noroeste	4168	-30.01%
	Sudeste	4021	-30.30%
	Sudoeste	3856	-31.16%
2370W	Nordeste	7738	27.94%
	Noroeste	7650	28.46%
	Sudeste	7437	28.91%
	Sudoeste	7268	29.76%

5. DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS

As simulações realizadas neste estudo foram inicialmente analisadas separadamente, como foi apresentado no item 4, e em seguida os resultados foram analisados juntos, para comparação de valores. As simulações forneceram tabelas contendo o consumo anual de energia dividido em energia destinada a ventilação do ambiente, aquecimento, resfriamento, iluminação e equipamentos. Os valores de cada simulação foram selecionados e tabulados para obtenção da resposta para a questão de pesquisa.

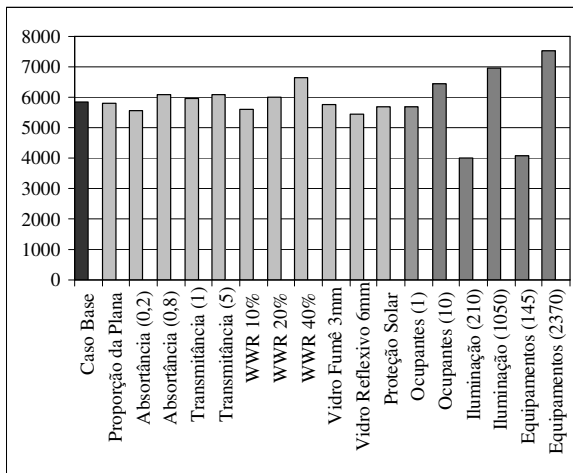


Figura 3: Gráfico do consumo de energia por variável, em kWh.

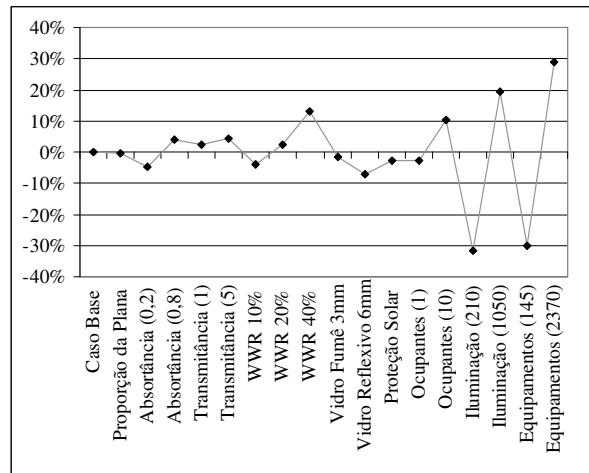


Figura 4: Gráfico do consumo de energia por variável, em %.

Os resultados das simulações demonstraram que o escritório analisado sofre mais influência no consumo de energia anual das variáveis de uso e ocupação (número de ocupantes, carga interna de iluminação e de equipamentos) do que as variáveis construtivas, como mostram as Figuras 3 e 4. O consumo de energia aumenta ou reduz de 10% a 30% nos parâmetros de uso e ocupação enquanto para os parâmetros construtivos estes valores mantêm-se entre 0.57% e 13.23%. Apesar dos resultados demonstrarem maior influência das variáveis de uso e ocupação, os resultados das variáveis construtivas não são nulos, podendo influenciar em mais de 13% no consumo de energia anual no escritório.

Analisando-se separadamente as variáveis que provocaram redução no consumo de energia, observa-se que para as variáveis de uso e ocupação a iluminação é o parâmetro de maior influência, seguido pela carga interna dos equipamentos e depois pelo número de ocupantes. No caso das variáveis construtivas, o parâmetro que mais influenciou foi o tipo de vidro (Vidro Reflexivo 6mm), seguido pela absortância, WWR 10%, proteção solar, tipo de vidro (Vidro Fumê 3mm) e por fim a proporção da planta.

As variáveis que provocaram aumento no consumo de energia, com referência à questão de uso e ocupação, a carga interna dos equipamentos foi a que mais influenciou no consumo, seguido pela iluminação e número de ocupantes. Para as variáveis construtivas, primeiro foi a WWR 40% seguido pela transmitância 5, absortância, WWR20% e transmitância 1, conforme os dados da Tabelas 15.

Tabela 15: Seqüência das variáveis que influenciaram e aumento e redução do consumo de energia, em porcentagem.

Colocação	Variável	Porcentagem de Influência	Colocação	Variável	Porcentagem de Influência
1°	Iluminação (210)	-31,60%	1°	Iluminação (210)	28,75%
2°	Equipamentos (145)	-30,22%	2°	Equipamentos (145)	19,22%
3°	Ocupantes (1)	-2,89%	3°	Ocupantes (1)	10,49%
1°	Vidro reflexivo 6mm	-7,18%	1°	WWR 40%	13,23%
2°	Absortância (0,2)	-4,67	2°	Transmitância (5)	4,26%
3°	WWR 10%	-4,00	3°	Absortância (0,8)	3,97%
4°	Proteção solar	-2,64	4°	WWR 20%	1,48%
5°	Vidro fumê 3mm	-1,66	5°	Transmitância (1)	2,20%
6°	Proporção da planta	-0,53			

6. CONCLUSÕES

As 84 simulações realizadas permitiram obter uma resposta para a questão de pesquisa elaborada na metodologia deste estudo. O principal objetivo deste trabalho era verificar a responsabilidade das variáveis construtivas e de uso e ocupação no consumo de energia anual em uma sala comercial típica da cidade de Londrina. O segundo objetivo era conhecer a relação do consumo entre cada uma das variáveis. Para alcançar estes objetivos foi necessário definir uma sala para servir de caso base das simulações. O Trabalho foi dividido em três grupos: definição da tipologia construtiva, simulação do caso base e simulação das alterações das variáveis de arquitetura e de uso e ocupação.

Com a análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que grande parte do controle do consumo de energia nos edifícios de escritório depende da maneira como os ocupantes utilizam o espaço através do uso de equipamentos e da iluminação. O controle da carga interna destinadas aos equipamentos e iluminação interna de salas de edifícios comerciais pode representar uma redução ou um aumento de mais de 30% no consumo de energia anual. E para os projetistas, suas decisões nas escolhas dos materiais da fachada, na porcentagem de vidro utilizada, na cor, na forma do prédio e na inclusão de proteções solares podem contribuir com redução de até 7,18% ou um aumento de mais de 13% no consumo de energia.

Apesar das limitações enfrentadas, espera-se que este trabalho possa colaborar com as pesquisas relacionadas à eficiência energética e, que a definição das responsabilidades no consumo de energia em edifícios de escritórios, proporcione aos ocupantes e os projetistas diretrizes para que suas decisões sejam baseadas em constatações técnicas e científicas e ocorram de forma clara e consciente para construção de edificações mais eficientes energeticamente.

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.

- _____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005b.
- CRUZ, A. B. S.; GONÇALVES, J. I. P.; SILVA, N.F.; FILHO, R. D. T.; FARBAM, E. R.; ROSA, L. P.; MARTINEZ, A. C. P.. **Avaliação da Sustentabilidade energética e ambiental em edificações.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 10, 2004, São Paulo. Anais São Paulo. ENTAC 2004. CD-ROM.
- ENERGY PLUS. **Getting Started With EnergyPlus: Everything You Need to Know About Running EnergyPlus,** 1995.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R. **Simulação da influência de Algumas variáveis arquitetônicas no consumo de energia em edifícios.** Departamento de Engenharia Civil – UFSC. Florianópolis, 2005.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 1997.
- LEE, A. S., F. S. WESTPHAL, R. LAMBERTS. **Verificação da eficiência energética de um edifício de escritórios através de simulação computacional.** In ENCAC, 2001.
- NASCIMENTO, L. B. P. **Análise da influência de variáveis construtivas e de variáveis de uso e ocupação no consumo de energia em edifícios de escritório.** Dissertação – Departamento de Construção Civil, UEL, Londrina PR, 2009.
- OLLOFSSON, T., A. MÉIER AND R. LAMBERTS. **Rating de Energy Performance of Building.** In *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*. Vol 3, 2004.
- PAPST, A. L., E. GHISI, F. COLLE, S.L. ABREU, S.GOULART, T.BORGES. **Eficiência Energética e Uso Racional da Energia na Edificação.** Labsolar, 2005.
- SANTANA, M. V. **Influência de parâmetros construtivos no consumo de energia de edifícios de escritório localizados em Florianópolis – SC.** 2006. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2006.
- WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, L. **Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais.** In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2007, Ouro Preto. ENCAC. 2007. CDROM

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro a pesquisa. E um especial agradecimento ao professor Enedir Ghisi que auxiliou este trabalho com preciosas discussões.