

DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE SHOPPING CENTERS –

Edvalson Moreira Firmino Junior

edfirmino@gmail.com

Resumo. O objetivo desse trabalho foi avaliar os indicadores de desempenho energético de “Shopping Centers”, simulando um modelo desse tipo de edificação no programa Energy Plus. Baseado nos resultados, foi possível realizar a determinação de indicadores do desempenho energético que sejam capazes de analisar o comportamento do gasto de energia da construção. A matriz energética obtida da simulação mostrou que a maior parcela do gasto de energia corresponde à climatização. Análises de sensibilidade de algumas variáveis, como as densidades de ocupação e de iluminação, foram realizadas e comprovadas suas importâncias no consumo energético. Por fim, alguns indicadores ($kWh/m^2 \text{ } ^\circ C \cdot \text{mês}$ e $kWh/m^2 \text{ } ^\circ C \cdot \text{ano}$) foram analisados para cinco diferentes regiões climáticas do Brasil. Verificou-se que esses indicadores conseguem proporcionar uma boa previsão do consumo energético, já que apresentaram pequenos desvios em relação à média.

Palavras chave: Shopping Center, índice de produtividade (eficiência), energia térmica (eficiência), software livre.

1. Introdução

A prática da sustentabilidade está se disseminando cada vez mais nas atitudes da sociedade. O consumo energético é o principal foco a ser analisado na busca da eficiência. As políticas de conservação de energia no Brasil são deficientes e pouco difundidas. Isso dificulta as ações que evitam o desperdício energético.

Uma maneira de tentar desviar das burocracias dessas políticas seria a utilização de índices energéticos no serviço de fiscalização de construções eficientes. Para isso, é necessário a realização de um “benchmarking” dos valores energéticos específicos para cada tipo de edificação.

A fim de que se tenha uma base de dados confiável, precisa-se de um estudo detalhado do modelo de construção. Isso possibilita a identificação dos melhores índices avaliadores de eficiência energética. Portanto, as utilizações de normas e ferramentas de simulação são essenciais para a confiabilidade dos resultados.

No caso desse trabalho, será realizada a análise dos índices energéticos de “Shopping Centers”. O programa Energy Plus servirá como ferramenta principal para auxiliar no tratamento dos dados referentes a esse tipo de edificação.

A importância de se determinar índices avaliadores de eficiência energética para “shoppings” se deve ao fato de que essa é uma construção comercial bastante disseminada pelo país. Segundo a (ABRASCE, 2010), existem mais de 390 edificações, ocupando uma área aproximada de 19,6 milhões de metros quadrados. Assim, é interessante aplicar a sustentabilidade e promover a economia no consumo de energia desses prédios comerciais.

2. Objetivo

A intenção desse trabalho é avaliar energeticamente um modelo de um prédio típico de “Shopping Center”, baseado no método da norma ASHRAE 90.1. Em seguida, fazer o levantamento dos resultados das simulações feitas no Energy Plus e analisá-los, para que seja possível identificar os melhores índices avaliadores da eficiência energética.

3. Caracterização do modelo da edificação

O modelo utilizado para o estudo tem uma geometria típica de “Shopping Centers” padrão médio construídos atualmente, segundo (ABRASCE, 2010). As suas principais características são:

- Área total construída: 27536 m²;
- Área condicionada: 27536 m²;
- Prédio com cinco pavimentos, contando com o subsolo;
- Geometria dividida em 45 zonas térmicas, todas condicionadas;
- As paredes verticais têm no máximo 40% de área envidraçada, de acordo com a norma (ASHRAE, 2007);
- Na cobertura, as aberturas zenitais possuem no máximo 5% de área envidraçada, de acordo com a norma (ASHRAE, 2007);
- O sistema de refrigeração utiliza dois chillers de COP=6,1 e uma caldeira à gás natural de COP=0,8.

4. Montagem da simulação

Utilizando o apêndice G da norma ASHRAE 90.1 definiram-se os parâmetros da simulação que servirão de referência para as análises seguintes. Foram verificadas se as transmitâncias térmicas das paredes estavam de acordo com o valor estabelecido na norma (0,705W/m²), e se o material das janelas tem o índice SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) próximo do valor 0,25.

Além disso, o sistema de ar condicionado também foi determinado no apêndice G. Isso foi estabelecido de acordo com a área total condicionada do modelo. O sistema utilizado foi o de volume de ar variável, com dois chillers elétricos de água gelada e compressores centrífugos.

5. Ganhos internos de carga térmica

A iluminação do modelo foi baseada nas informações fornecidas pela norma ASHRAE 90.1 onde as densidades luminosas utilizadas para áreas comuns e de circulação foi de 16 W/m^2 ; para áreas maiores como praças de alimentação seria de 30 W/m^2 ; e para grandes lojas variam entre 40 W/m^2 e 50 W/m^2 , dependendo da área.

Nos casos da ocupação e dos equipamentos internos, não existem dados específicos para “Shopping Centers” na norma ASHRAE 90.1. Portanto foram utilizados números baseados na experiência de pessoas de mercado e de dados de pesquisas de campo. A densidade de ocupação utilizada foi de 8 pessoas/m^2 para áreas de circulação; para praças de alimentação foi de 2 pessoas/m^2 ; e grandes lojas variando entre 5 e 6 pessoas/m^2 . Já a densidade de potência dos equipamentos internos foi utilizado valor de 2 W/m^2 para a maior parte da edificação e de 15 W/m^2 para as grandes áreas, como praça de alimentação.

6. Perfil do horário de funcionamento

Para definir a distribuição horária das cargas térmicas ao longo de um dia típico, a fim de fazer o cálculo da carga térmica do prédio, necessita-se da determinação dos horários de acionamento e desligamento dos sistemas. As figuras 1, 2 e 3 mostram os perfis de utilização dos principais fatores que influenciam no consumo de energia.

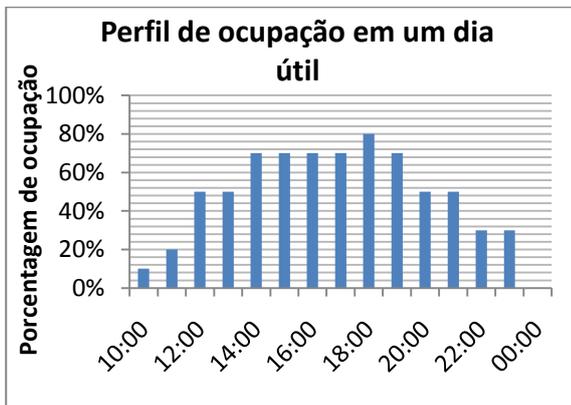


Figura 1: Perfil de ocupação em um dia útil.

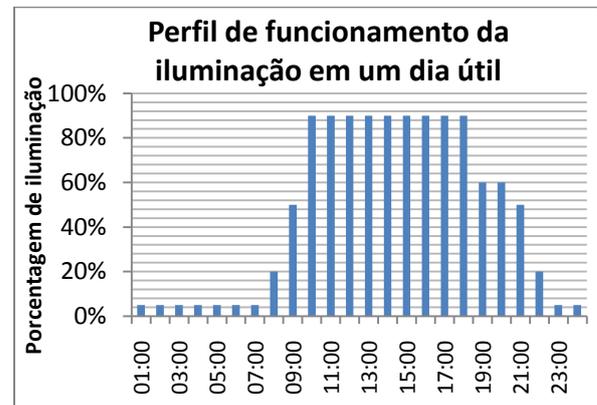


Figura 2: Perfil de funcionamento da iluminação.

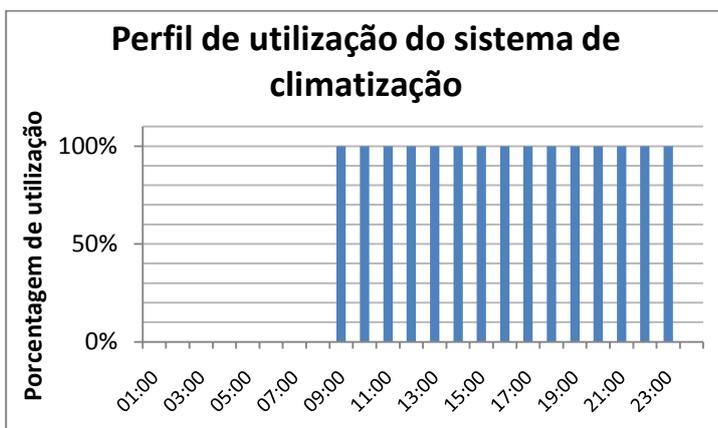


Figura 3: Perfil de utilização do sistema de climatização.

7. Resultados da simulação

Utilizando o modelo montado com os dados de ganhos de carga térmica descritos, foi realizada a simulação de 8760 horas na cidade de São Paulo. A figura (4) mostra a fachada norte do modelo em 3D.

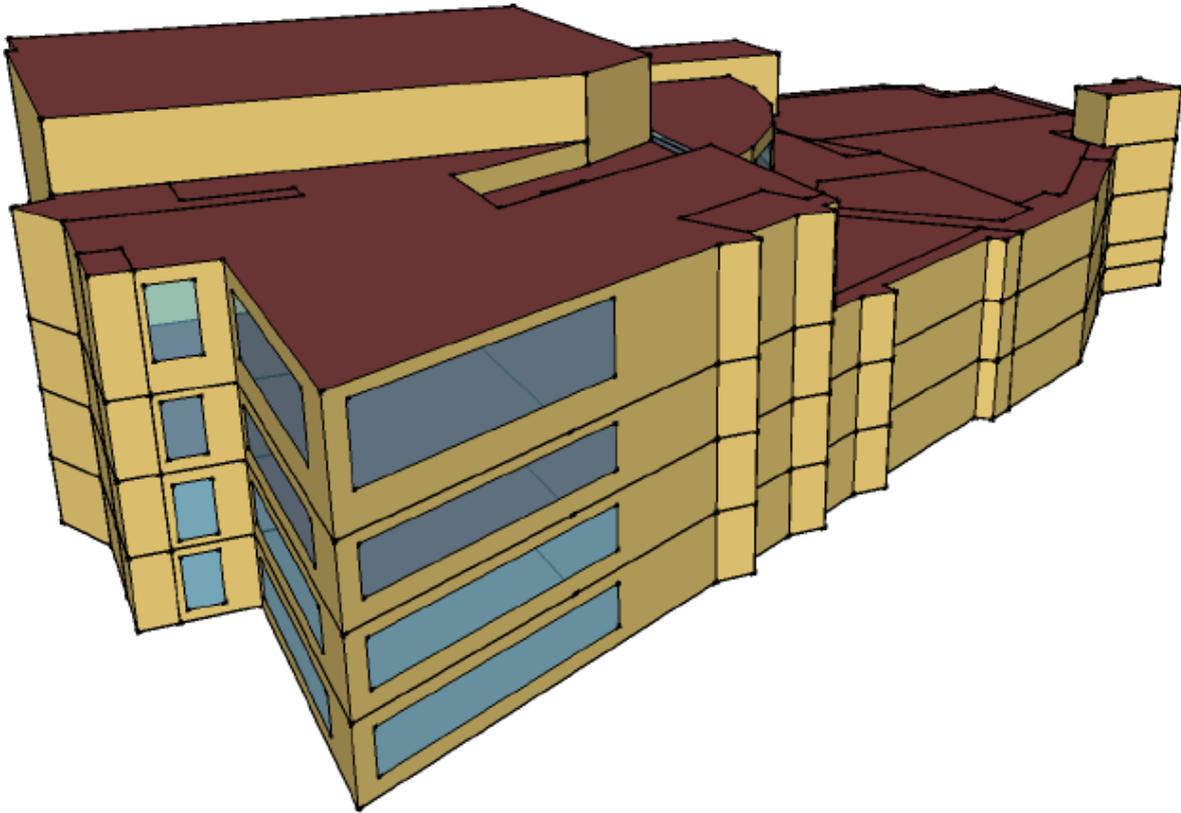


Figura 4: Vista do modelo - fachada norte.

Foi utilizado para a simulação o arquivo climático da cidade de São Paulo, disponível no site do (Departamento de energia dos Estados Unidos, 2010). Inicialmente foram analisados os resultados de apenas uma cidade brasileira, a fim de verificar como sistema montado está funcionando.

Assim, obtiveram-se alguns valores importantes para a avaliação do consumo energético:

- Consumo total anual de energia elétrica: 7.401.683 kWh;
- Consumo de energia elétrica para aquecimento: 2.311 kWh;
- Energia por metro de área condicionada: 268 kWh/m²;
- Carga térmica total demandada: 2.629.227 W ou 748 TR;
- Área por carga térmica: 36,8 m²/TR

Foi obtido também o gasto energético por uso final do prédio. A tabela (1) relata os valores.

Tabela 1: Consumo energético anual por uso final.

Uso final	Consumo (kWh)
Climatização	3.693.012
Iluminação	2.601.488
Equipamento	1.104.873
Aquecimento	2.311

Com base nos dado da Tab. (1), foi feito um gráfico, mostrado na Fig. (2), onde é possível verificar a parcela de cada utilidade no consumo total do prédio.

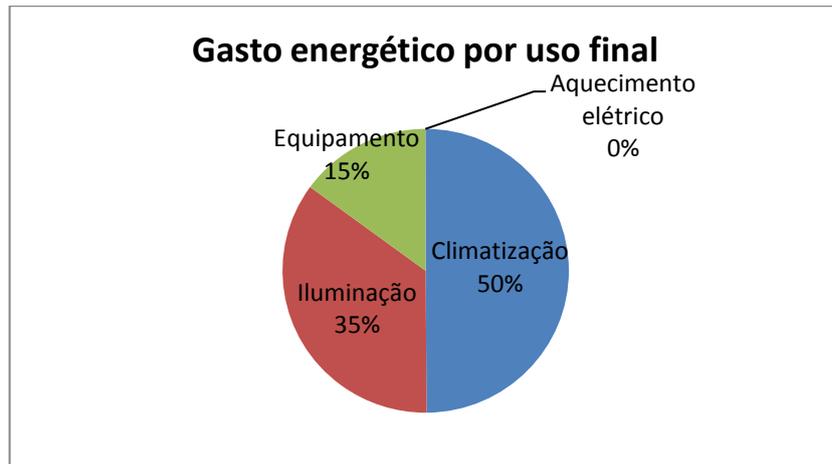


Figura 5: Divisão do consumo energético por uso final.

Na configuração simulada, o modelo apresentou a matriz energética da Fig. (5). A maior parcela de consumo se deve ao sistema de refrigeração, correspondendo ao perfil da maioria dos prédios comerciais. Porém, segundo a pesquisa de campo realizada em dois “Shopping Centers” da cidade de São Paulo por (Barros Filho, 2005), a maior parcela de gasto de energia é do sistema de iluminação. Porém, outras pesquisas realizadas em Hong Kong como no trabalho de Joseph e Danny (2002) mostram que essa matriz energética é válida para shoppings já em operação.

O perfil do consumo mensal por uso final desse modelo de referência é apresentado na Fig. (6). O importante a observar é a variação do consumo de refrigeração e de aquecimento ao longo do ano para a cidade de São Paulo. Verifica-se uma coerência com o clima da cidade, visto que no período de maio a setembro referente à estação do inverno, há uma redução no consumo da refrigeração.

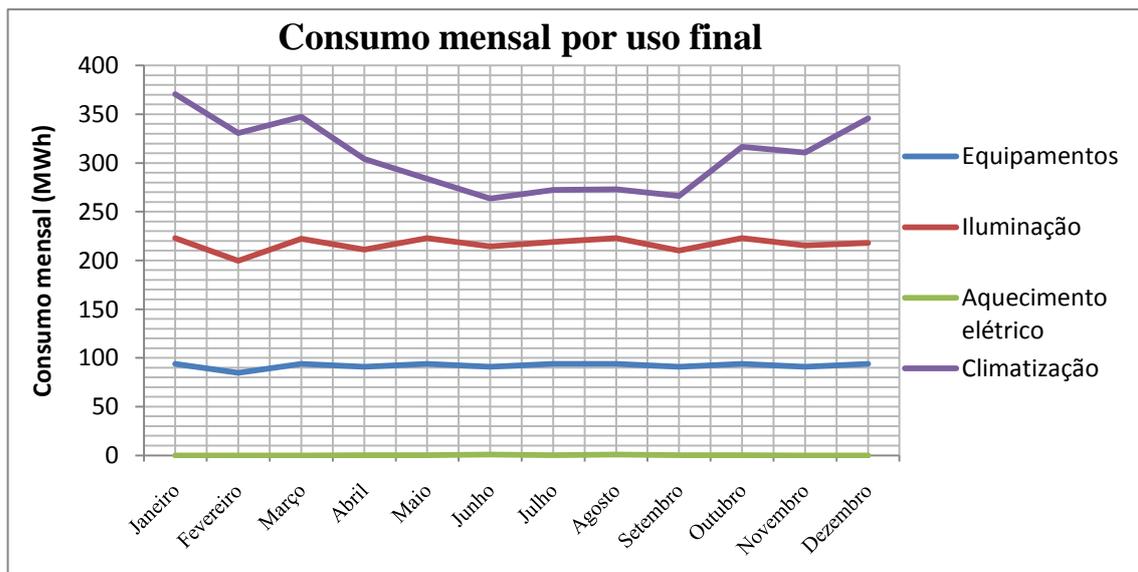


Figura 6: Consumo mensal por uso final do modelo de referência.

8. Análise de sensibilidade

Definido o modelo de referência, foi realizada uma análise mais detalhada das variáveis que causam maior impacto no consumo energético, inicialmente apenas para a cidade de São Paulo.

Foram estudadas três variáveis: densidade de ocupação, densidade luminosa, e o COP dos sistemas de refrigeração e aquecimento. O procedimento foi utilizar o modelo de referência e alterar os valores de uma das três variáveis em -20% e +20%, simulando o modelo com cada variação isoladamente. Em seguida foi feita uma comparação do consumo anual para cada alteração.

8.1. Análise de sensibilidade da densidade luminosa

A figura (7) mostra a comparação dos consumos por uso final para cada variação.

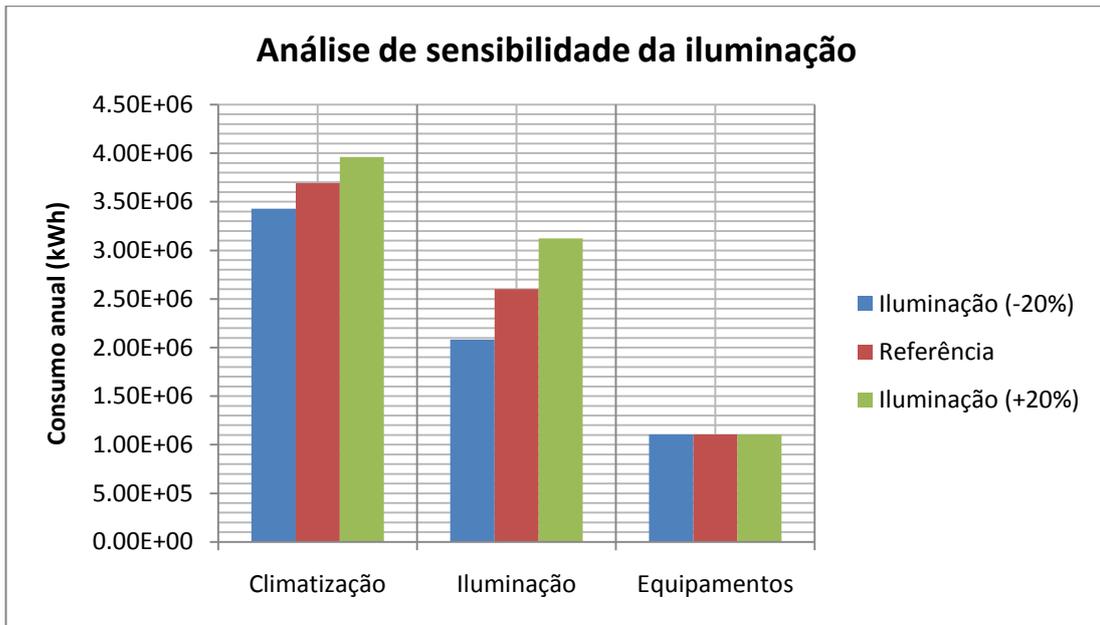


Figura 7: Análise de sensibilidade da iluminação na cidade de São Paulo.

Observou-se que, além da alteração esperada no consumo da iluminação, houve mudanças no consumo do sistema climatização em torno de 7% em relação à referência.

8.2. Análise de sensibilidade da densidade de ocupação

A figura (8) mostra a comparação dos consumos por uso final para cada variação.

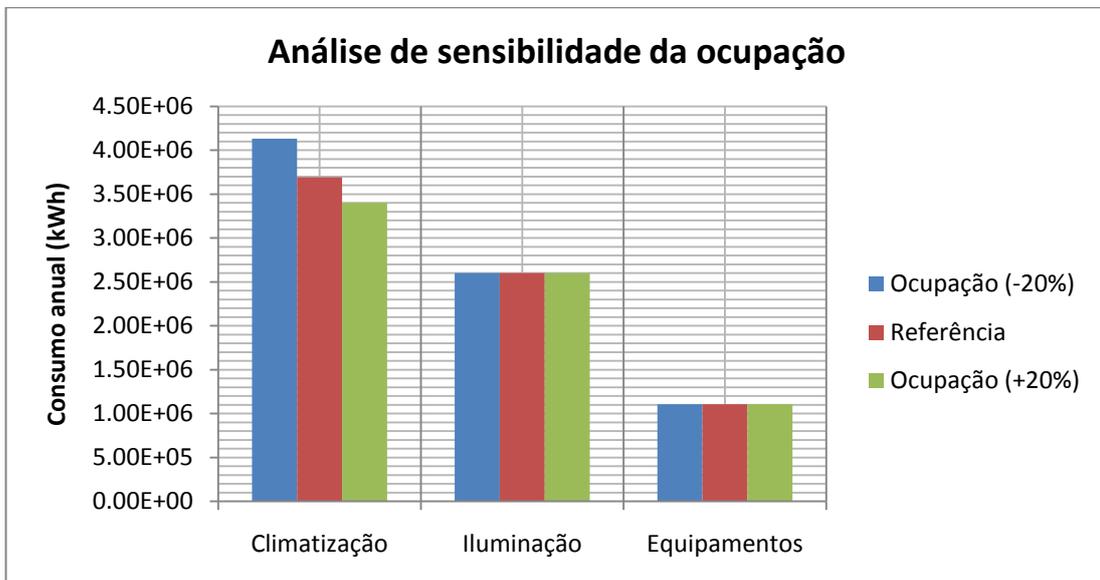


Figura 8: Análise de sensibilidade da ocupação na cidade de São Paulo.

Observou-se que o impacto da variação da densidade de ocupação foi sobre os sistemas de climatização. Ocorreu um aumento de 11,6% no consumo da climatização, quando a densidade de ocupação (m^2 /pessoa) foi reduzida.

8.3. Análise de sensibilidade do COP de refrigeração e de aquecimento

A figura (9) mostra a comparação dos consumos por uso final para cada variação.

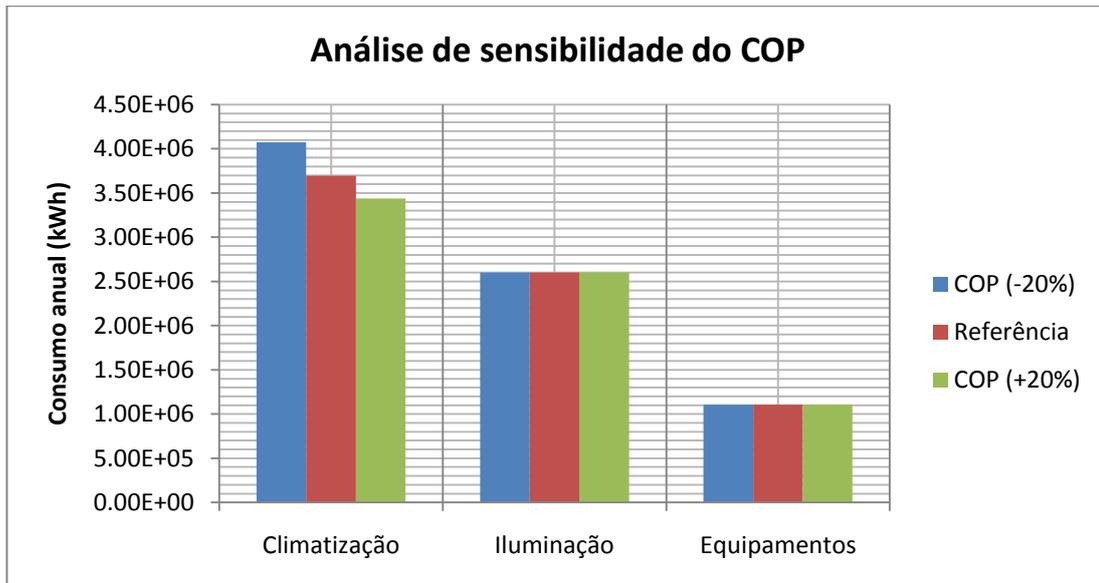


Figura 9: Análise de sensibilidade do COP na cidade de São Paulo.

Observou-se, como já esperado, alteração apenas no consumo do sistema de climatização em torno de 7%. Apesar dessas variações do COP apresentarem valores não existentes no mercado como o COP 7,3, o estudo teve a intenção de mostrar o impacto que a eficiência dos equipamentos tem sobre o consumo.

9. Indicadores do desempenho energético

Com os resultados obtidos nas simulações, foi possível determinar alguns indicadores do consumo da edificação.

9.1. Consumo total pela área

Esse indicador é formado pela razão entre a energia total consumida em um ano (kWh) e a área total do empreendimento (m²).

A tab. (2) e a fig. (10) mostram os valores dos indicadores para cada cidade simulada e os respectivos desvios em relação à média.

Tabela 2: índice do consumo total pela área para cada cidade.

	kWh/m ² .ano	Desvio em relação à média
São Paulo	268,8	-7%
Belém	327,9	+12%
Brasília	276,5	-4%
Porto Alegre	269,9	-7%
Rio de Janeiro	296,4	+3%

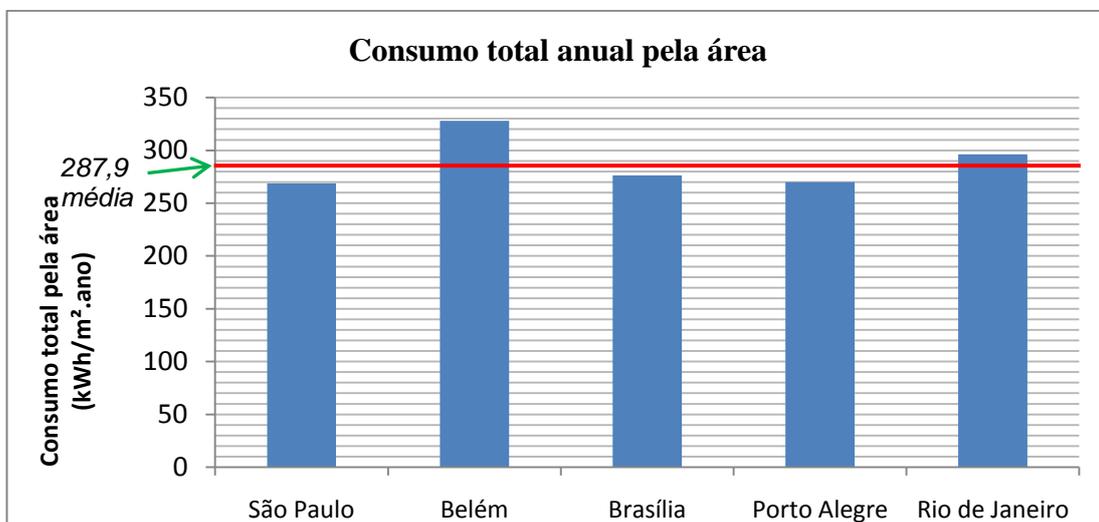


Figura 10: Índice do consumo total pela área para as cidades simuladas.

O maior desvio ocorre para a cidade de Belém, e isso se deve ao elevado consumo do sistema de climatização nessa localidade. Uma maneira de tentar corrigir essa diferença devido ao clima é incluir no indicador a média da temperatura de bulbo seco (TBS). Assim, têm-se os novos valores na tab. (3) e na fig. (11).

Tabela 3: Índice do consumo total pela área pelo TBS para cada cidade.

	kWh/m².ano	TBS médio (°C)	kWh/m².°C.ano	Desvio da média
São Paulo	268,8	19,9	13,5	+3%
Belém	327,9	26,5	12,4	-5%
Brasília	276,5	21,5	12,9	-2%
Porto Alegre	269,9	19,2	14,1	+8%
Rio de Janeiro	296,4	23,6	12,6	-4%

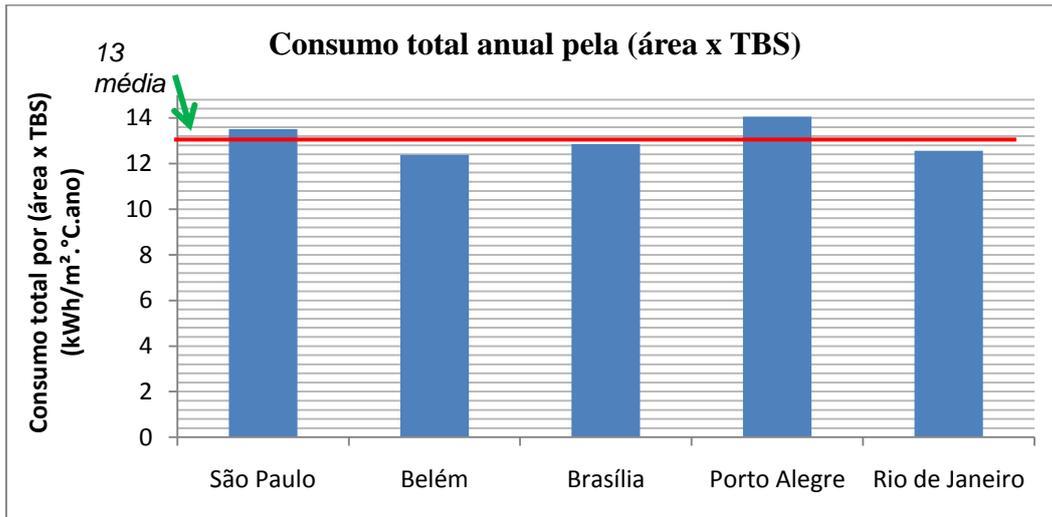


Figura 11: Índice do consumo total pela área por TBS das cidades simuladas.

Observa-se que essa nova composição de indicador mostrou menores desvios em relação à média (8% para Porto Alegre), constatando um índice de melhor regularidade entre as cidades simuladas.

9.2. Consumo total do sistema de climatização pela área

Esse indicador é formado pela razão entre o consumo energético total anual do sistema de climatização (kWh_{AVAC}) e a área da edificação (m²). A tab. (4) e a fig. (12) mostram os valores desses índices para cada cidade.

Tabela 4: Consumo anual do sistema de climatização pela área.

	(kWh_{AVAC}/m².ano)	Desvio em relação à média
São Paulo	133,8	-12%
Porto Alegre	134,3	-12%
Rio de Janeiro	160,6	+6%
Belém	190,9	+25%
Brasília	141,5	-7%

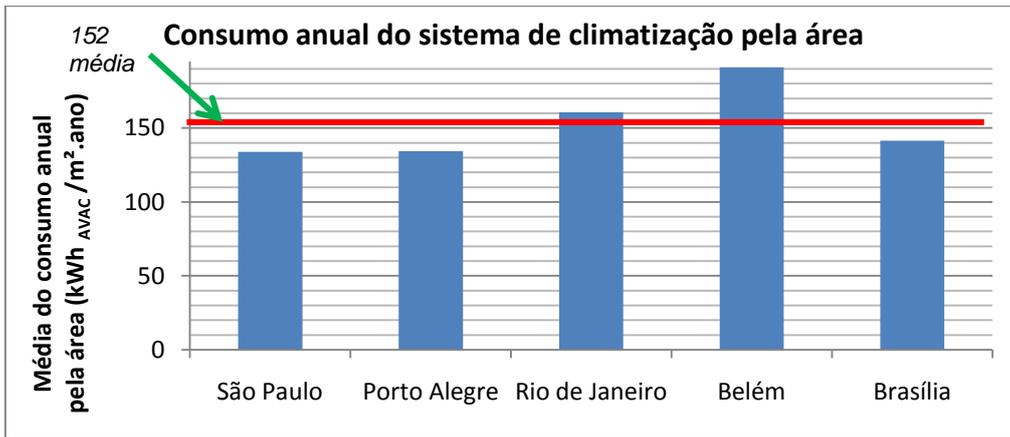


Figura 12: Consumo anual do sistema de climatização pela área.

Observa-se que com a restrição do consumo o maior desvio em relação à média passa para 25% na cidade de Belém. Realizando a mesma operação do item anterior, acrescenta-se no indicador a média da temperatura de bulbo seco (TBS). A tab. (5) e a fig. (13) mostram como ficaram os novos valores e desvios.

Tabela 5: Consumo anual do sistema de climatização pela (área x TBS).

	(kWh _{AVAC} /m ² .°C.ano)	TBS médio (°C)	Desvio da média
São Paulo	6,9	19,9	-3%
Porto Alegre	7,3	19,2	+3%
Rio de Janeiro	6,9	23,6	-3%
Belém	7,4	26,5	+4%
Brasília	7,0	21,5	-1%

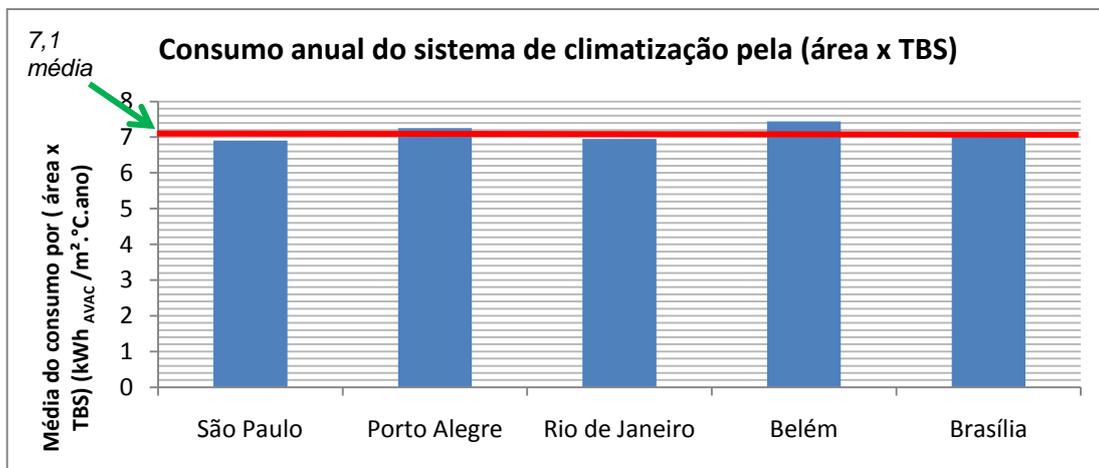


Figura 13: Consumo anual do sistema de climatização pela (área x TBS).

Observa-se que a correção do indicador com a TBS reduziu os desvios em relação à média. Então, esse avaliador (kWh_{AVAC}/m².°C.ano) mostrou ter capacidade de analisar o consumo de shoppings em diferentes regiões climáticas com baixa discrepância entre os valores.

9.3. Consumo total mensal pela área e pela TBS

Sabendo que os indicadores de consumo energético, quando corrigidos pela TBS, apresentam uma melhor regularidade entre os valores para diferentes regiões climáticas, foi avaliado também o índice composto pelo consumo energético mensal da edificação. A fig. (14) detalha como variou o indicador mensal para cada cidade.

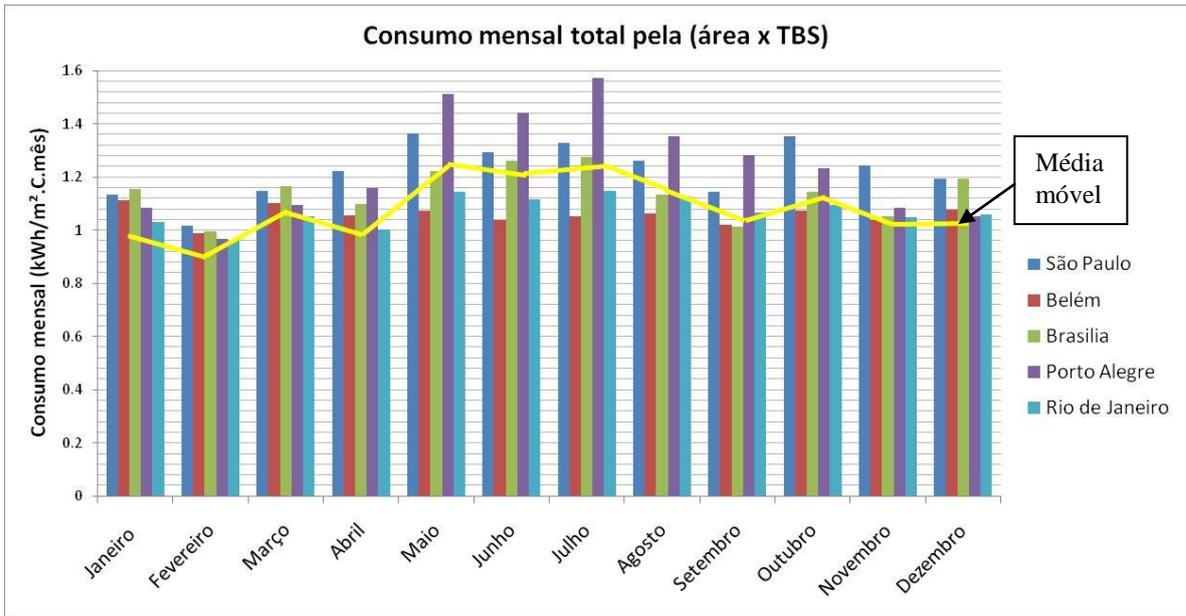


Figura 14: Consumo mensal total pela (área x TBS).

Observa-se pelo gráfico que ocorre maiores desvios em relação à média em alguns meses para a cidade de Porto Alegre (maior desvio em torno de 36%). Isso ocorre devido à grande variação das médias mensais das TBS.

9.4. Consumo mensal do sistema de climatização pela área e pela TBS

Da mesma forma como no indicador do item anterior, foi analisado o consumo mensal do sistema de climatização. A fig. (15) detalha como ficou a variação do indicador mensal para cada cidade.

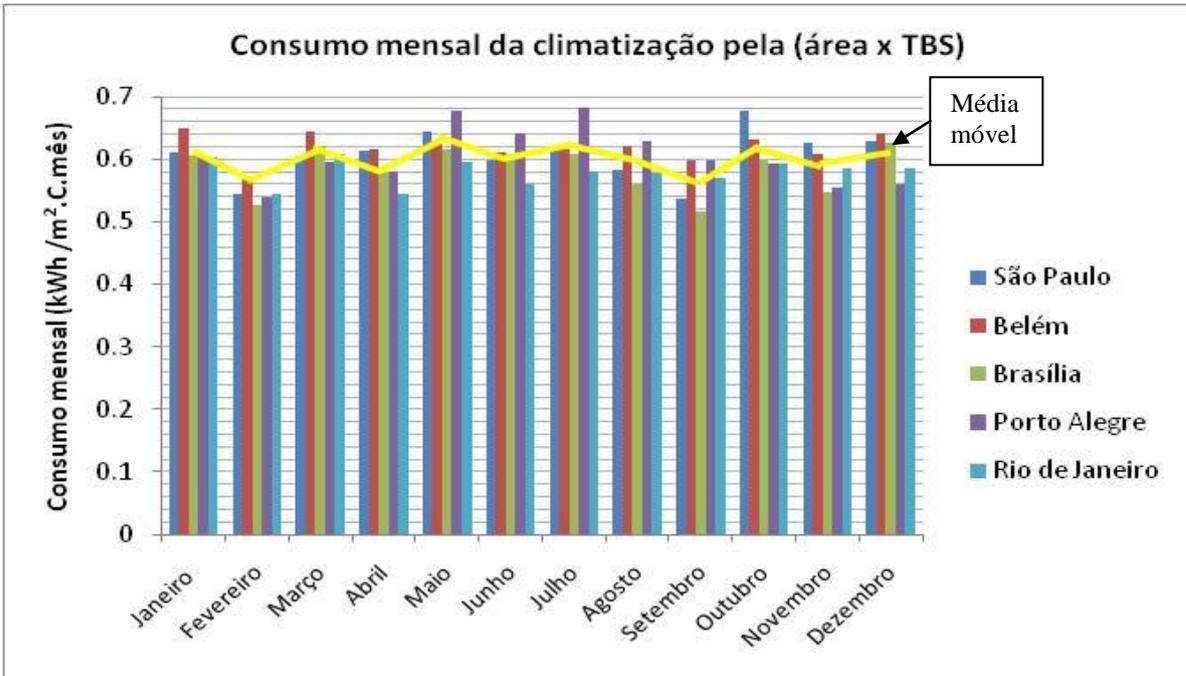


Figura 15: Consumo mensal do sistema de climatização pela (área x TBS).

Observa-se que os desvios diminuíram bastante, com máximo desvio em torno de 13% para a cidade de Porto Alegre. Portanto, esse indicador mensal apresentou melhores condições de avaliar o consumo energético por mês de uma edificação em diferentes regiões climáticas brasileiras.

10. Conclusão

As simulações realizadas somente para a cidade de São Paulo tiveram o objetivo de ajustar o modelo e de determinar uma referência para as análises de sensibilidades. Com as dificuldades de se encontrar dados específicos para “Shopping Centers” nas normas ASHRAE e ABNT, foram necessários utilizar dados provenientes de uma empresa de dimensionamento de carga térmica para projetos de ar condicionado.

Assim, verificou que o sistema de climatização é responsável pela maior parcela do consumo anual desse tipo de edificação. Isso mostra que “shopping centers” não diferem muito de outros prédios comerciais quanto à matriz energética.

As análises iniciais de sensibilidade verificaram o impacto no consumo anual provocado pela variação da iluminação, da ocupação e do coeficiente de eficácia dos equipamentos de climatização. Essas três variáveis apresentaram grande influência no gasto energético anual da edificação.

O impacto da iluminação sobre o sistema AVAC alterou em torno de 7% no consumo, em relação à simulação referência. Da mesma maneira, o impacto da ocupação sobre a climatização foi de 11,6%, e da alteração do COP foi de 7%.

Na avaliação dos indicadores de desempenho energético, foi verificado que a correção dos índices ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$) e ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{mês}$) pela temperatura de bulbo seco provoca um refinamento dos valores, reduzindo os desvios em relação às médias. Além disso, quando se analisa apenas o consumo energético do sistema AVAC, melhora-se ainda mais os resultados dos indicadores, diminuindo as diferenças dos valores entre as cidades simuladas. Portanto os indicadores ($\text{kWh}_{\text{AVAC}}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{mês}$) e ($\text{kWh}_{\text{AVAC}}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{ano}$) são os mais indicados para avaliar o desempenho energético de shopping centers.

11. Referências

- ASHRAE, AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS. **Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings**. ASHRAE Standard 90.1 – 2007. American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SHOPPING CENTERS. Disponível em: <http://www.portaldoshopping.com.br/index.asp> > Acesso em: 21 de outubro de 2009.
- BARROS FILHO, A. M. **Consumo desagregado de energia elétrica por uso final em shopping centers na cidade de São Paulo: estudo de casos**. Tese (mestrado) - Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2005. 102 p
- JOSEPH C. LAM, DANNY H. W. LI. **Electricity consumption characteristics in shopping malls in subtropical climates**. Artigo - Department of Building and Construction, Building Energy Research Group, City University of Hong Kong, 2002. 8p
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY/ ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus> > Acesso em: 10 de abril de 2010.

12. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

DETERMINATION OF INDICES OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF SHOPPING CENTERS

Edvalson Moreira Firmino Junior

edfirmino@gmail.com

Abstract. The objective of this paper was to evaluate the energetic performance indicator of Shopping Centers, simulating a model of this type of building in Energy Plus program. Based on results, was possible to determine indicators of energy efficiency that be capable of analyze the comportment of energy expenditure of the construction. The energy matrix obtained from the simulation showed that the largest part of the power consumption corresponds to the HVAC system. Sensibilities analysis of some variables, like occupation and illumination, were made and was proved that they are very important to the energetic consumption. Finally, some indicators ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{month}$ and $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{year}$) were analyzed for five different climate regions of Brazil. And was verified that these indicators can provide an good prevision of the energetic consumption, since they showed small deviations from the average.

Keywords. Shopping Center, index of productivity (efficiency), thermal energy (efficiency), free software.