



**IBPSA
2019**

International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



LATAM
Mendoza, Argentina

Peso do sistema de ar condicionado no consumo de energia elétrica em edificação de escritórios: estudo de caso em Belo Horizonte - Brasil.

Weight of the air conditioning system in electric energy consumption in office buildings: a case study in Belo Horizonte – Brazil

Ana Carolina de Oliveira Veloso

Professora do Centro Universitário UNA

R. da Bahia, 1764 - Lourdes, Belo Horizonte – MG - Brasil, 30160-011

ana.c.veloso@prof.una.br

Roberta Vieira Gonçalves de Souza

Universidade Federal de Minas Gerais

R. Paraíba, 697, sala 124 – Funcionários, Belo Horizonte – MG – Brasil – CEP: 30130-141

roberta@arq.ufmg.br

Código del manuscrito: 03_001

Fecha de aceptación: 01/10/2019

Resumo

Os diversos parâmetros que influenciam no consumo de energia do edifício precisam ser investigados já na fase de projeto visando ampliar a possibilidade de alterações para que a edificação se torne mais eficiente. Assim, o objetivo desse artigo é quantificar o peso do sistema de ar condicionado na classificação de *benchmarking* de consumo de energia elétrica de edificações em uso, utilizando como estudo de caso uma edificação de escritório na cidade de Belo Horizonte – Brasil. Para isso o estudo foi dividido em três etapas: simulação e calibração do modelo da edificação escolhida; Cenário 1- simulação considerando que 100% das salas colocariam aparelhos de ar condicionado e seu uso seria de modo híbrido; Cenário 2- simulação com 100% das salas condicionadas com aparelhos Split, mas sem considerar o modo híbrido. Além disso, em todos os casos foi avaliada a classificação da edificação em relação ao *benchmarking* de consumo de energia das torres de edifícios de escritório de Belo Horizonte. Verificou-se que há um aumento médio de 24% no Cenário 1 e de 52% no Cenário 2 do consumo de energia elétrica em relação ao consumo real de energia elétrica. Com relação à classificação de *benchmarking*, a edificação existente tem classificação B, no Cenário 1, se mantém a classificação B e no Cenário 2, a classificação passa a ser C. Assim, a utilização de *benchmarking* de consumo de energia, ajudará na tomada de decisão sobre as estratégias que poderão influenciar no consumo de energia e na classificação da edificação.

Palavras chaves: *Benchmarking*, consumo de energia elétrica, ar condicionado, ventilação híbrida.

Abstract

The various parameters that influence the energy consumption of a building need to be investigated already in the design phase, with the possibility of changes to make the building more efficient. Thus, the purpose of this article is to quantify the weight of the air conditioning system in the benchmarking classification of electric energy consumption of buildings already in use, employing as a case study an office building in the city of Belo Horizonte - Brazil. For this, the study was divided into three stages: simulation and calibration of the chosen building model; Scenario 1- simulation considering that 100% of the rooms would install air conditioners and their use would be in a hybrid way; Scenario 2- simulation with 100% of rooms conditioned with Split appliances, but without considering hybrid mode. In addition, in all cases, the classification of the building was evaluated in relation to the energy



**IBPSA
2019**

International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



LATAM
Mendoza, Argentina

consumption benchmarking of the towers of office buildings in Belo Horizonte. It was verified that there is an average increase of 24% in Scenario 1 and 52% in Scenario 2 of the consumption of electric energy in relation to the actual consumption of electric energy. With respect to the benchmarking classification, the existing building has a B rating, in Scenario 1, it maintains the B classification and in Scenario 2, the classification becomes C. Therefore, the use of energy consumption benchmarking will help in decision making on strategies that may influence energy consumption and classification of the building.

Keywords: *Benchmarking*, energy consumption, air conditioning, hybrid ventilation.

Introdução

O consumo de energia em edifícios é responsável por uma grande parte do uso final de energia em todo mundo (40%) (International Energy Agency, 2013). No Brasil, a matriz energética das edificações está bastante ligada ao uso de energia elétrica e os edifícios dos setores residencial, comercial e público, representam 42,8% do deste consumo (MME, 2018). De acordo com o Plano Nacional de Energia 2030 (MME, 2007), o consumo energético dos edifícios está projetado para crescer 3,7% ao ano até 2030. Como as edificações, de um modo geral, terem colaborado com o aumento no consumo de energia nas últimas décadas, elas também devem ser vistas como um forte potencial para a maior racionalização deste consumo. Considera-se, portanto, que o entendimento dos fatores influentes no consumo de energia elétrica das edificações terá um papel fundamental no estabelecimento de metas para as novas edificações a serem construídas. Em especial Lamberts, Pereira e Dutra, (2014) ressaltam que cada decisão tomada durante o processo de projeto pode influenciar no desempenho térmico e luminoso do edifício.

A construção, operação e uso dos edifícios significam uma parcela importante no consumo de energia disponível no país e representa um grande potencial para a conservação de energia. Com isso, é de fundamental importância assegurar que a qualidade de vida oferecida pela edificação e suas instalações sejam compatíveis com os padrões mínimos de habitabilidade e de consumo e que estes sejam considerados caminhos e meios para implementar programas de conservação da energia (MASCARÓ, 1992).

Tem-se ainda que os edifícios passivos, com menor consumo de energia, com estratégias de controle climático, oferecem uma maior oportunidade para se adaptar às mudanças climáticas (KWOK, RAJKOVICH, 2010). A implantação de estratégias de eficiência energética nos edifícios não só reduz o pico de demanda de energia, como também reduz o uso de energia em geral, bem como os impactos que os edifícios causam no meio ambiente. Como consequência da implantação destas estratégias há uma redução da necessidade de novos investimentos em sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia (STERN, 2013).

De acordo com a International Energy Agency, IEA (2013) a falta de conhecimento sobre os fatores que determinam o uso de energia nas edificações é uma das barreiras mais expressivas para a eficiência energética e para o controle da demanda de energia. Em geral, o desconhecimento dos fatores que mais influenciam nas variações de demanda e consumo por parte de projetistas e *stakeholders* levam a diferenças significativas entre o uso de energia projetado e o atual consumo de energia das edificações.

Os diversos parâmetros que influenciam no consumo de energia do edifício precisam ser investigados já na fase de projeto visando a possibilidade de alterações para que a edificação se torne mais eficiente. Veloso *et al* (2017), verificou que na cidade de Belo Horizonte – Brasil, o sistema de ar condicionado era o fator que mais influenciava no consumo de energia das edificações de escritório. Assim, o objetivo desse artigo é quantificar o peso do sistema de ar condicionado na classificação de *benchmarking* de consumo de energia elétrica de edificações em uso, utilizando como estudo de caso uma edificação de escritório na cidade de Belo Horizonte – Brasil.

Estado da arte do problema

O consumo de energia nos edifícios está relacionado aos ganhos ou perdas de calor pelo envoltório da edificação que, associados à carga interna gerada pela ocupação, pelo uso de equipamentos e pela iluminação artificial, resultam no consumo dos sistemas de condicionamento de ar, além dos próprios sistemas de iluminação e equipamentos (CARLO, 2008). Com relação ao modo de condicionamento de ar, ressalta-se que um dos objetivos gerais da política de eficiência energética em edifícios é economizar energia sem comprometer os níveis de conforto, saúde e produtividade. Em outras palavras, a meta é, consumindo menos energia, proporcionar serviços iguais ou melhores no edifício (PÉREZ-LOMBARD *et al.*, 2009). Para Lamberts *et al.* (2014), um edifício é considerado energeticamente mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto ao seu usuário, com menor consumo de energia. Neste sentido edificações com condicionamento natural devem comprovar atender as



**IBPSA
2019**

International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



LATAM
Mendoza, Argentina

condições de conforto térmico ao não usar sistemas de condicionamento artificial. Não basta apenas que estas tenham menor consumo de energia.

Em edifícios totalmente envidraçados e climatizados artificialmente, sofrem os efeitos de mudança no clima, o que pode interferir no seu desempenho térmico. Segundo Dornelles (2008), o meio mais eficaz do projetista poder controlar a quantidade de calor que chega até o interior de uma edificação é considerar cuidadosamente o modo como o envelope construtivo tanto absorve quanto reflete a radiação solar. Além disso, o uso de proteções solares externas é uma importante estratégia para as edificações no Brasil, pois bloqueiam a radiação solar direta antes que elas possam penetrar nos vidros e isso pode levar a uma redução no consumo de energia do ar condicionado e no consumo total (CARVALHO *et al.*, 2010; SANTOS; SOUZA, 2012). Entretanto, observa-se que essa é uma estratégia pouco explorada nos edifícios de escritório no Brasil (FOSSATI; LAMBERTS, 2010).

Outra medida de economia de energia é a utilização de sistemas de ventilação híbrida. Os sistemas híbridos utilizam a combinação de ventilação natural (operáveis manualmente ou por automação) e os sistemas mecânicos. Ao utilizar refrigeração mecânica somente quando e onde é necessária, um edifício de modo misto, bem projetado, oferece o potencial para melhorar a qualidade ambiental interna, minimizando os custos de energia e operacionais significativas de ar-condicionado (BRAGER; BAKER, 2008). Veloso *et al.* (2017) dividiu as tipologias de escritório em 3 grupos de acordo com o tipo de condicionamento de ar das edificações. Nele verificou-se que o consumo médio dos edifícios com condicionamento híbrido é em média 52% menor do que os edifícios com condicionamento de ar central e 15% a mais do que os ventilados naturalmente.

Estudos mostram que a melhora na eficiência energética é uma forma rentável para enfrentar os desafios energéticos (ZHAO *et al.* 2012; PEREZ- LOMBARD *et al.*, 2008). A eficiência energética também tem benefícios como maior conforto, melhores condições de saúde, redução de custos, aumento da segurança energética, a criação de empregos e diversas oportunidades de negócios (GEA, 2012). Com o objetivo de atingir a eficiência energética, uma maneira de se prever o consumo de energia dentro das edificações, é através do uso de softwares de simulação termoenergética. Para Meier *et al.* (2002) a abordagem de simulação tem valor na medida em que revela o comportamento ideal de um edifício ou seu comportamento com relação às condições meteorológicas e operacionais padronizados, com isso, a abordagem de simulação leva em consideração a riqueza de informações sobre o comportamento da edificação, o sistema de gestão de energia da edificação e os padrões de ocupação.

Em países cujas regulamentações de eficiência energética já se mostram consolidadas ou em fase de consolidação, como é o caso do Brasil, um importante parâmetro a ser levantado é o consumo de energia elétrica de acordo com as tipologias das edificações. Este tipo de levantamento é chamado de *benchmarking*, que é um método aplicado para comparar a energia e/ou a eficiência de um edifício com um valor de referência (NIKOLAU *et al.*, 2011; CHUNG, 2011; BORGSTAIN *et al.*, 2016; ROTH; RAJAGOPAL, 2018). A partir de uma base de dados levantados, consegue-se tanto propor novos critérios para a construção, quanto realizar avaliação de critérios existentes e melhorar o gerenciamento de edificações de diferentes desempenhos (CHUNG; HUI; LAM, 2006).

Para que sejam estabelecidos marcos de eficiência para as edificações, estas devem ser agrupadas por atividade comum, para que se possa comparar se uma edificação é mais eficiente do que outra (MEIER; OLOFSSON; LAMBERTS, 2002). Para comparar o desempenho calculado ou medido de um edifício é necessário que haja um valor de referência (BORGSTEIN *et al.*, 2016). Um indicador de desempenho energético é o Energy Performance Index (EPI) ou Energy Use Intensity (EUI) que é definido como o consumo de energia normalizado por área útil, ou seja, kWh/m²/ano (BORGSTEIN *et al.*, 2016; MEIER *et al.*, 2002).

Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada na análise da variável mais influente no consumo de energia elétrica de uma edificação em funcionamento, ou seja, o sistema de condicionamento de ar. Para o estudo de caso, foi escolhida uma edificação de escritórios na cidade de Belo Horizonte, Brasil. A escolha dessa edificação se deu pelo acesso aos dados da edificação e por ela ser uma tipologia representativa, ou seja, que tem edificação que tem seu condicionamento de ar de modo misto. Assim, o presente trabalho envolveu os seguintes passos:

- (i) Escolha da edificação para realizar os testes e, assim, a simulação termo-energética foi realizada com os parâmetros reais de uso e ocupação. O consumo de energia elétrica simulado foi comparado com o consumo de energia elétrica medido nos anos de 2012 a 2014. O objetivo era de calibração do modelo de simulação. Assim, verificou-se qual a classificação da edificação em relação ao consumo de energia elétrica;
- (ii) Utilizando o modelo do item i, foi feita a simulação considerando que todas as salas colocariam aparelhos de ar condicionado split e seu uso seria de modo híbrido. Assim, verificou-se qual a classificação da edificação em relação ao consumo de energia elétrica (Cenário 1);



- (iii) Utilizando o modelo do item i, foi feita a simulação com 100% das salas condicionadas com aparelhos Split, mas sem considerar o modo híbrido. Assim, verificou-se qual a classificação da edificação em relação ao consumo de energia elétrica (Cenário 2).

O edifício de escritórios escolhido tem 11 andares e 66 salas, localizado em Belo Horizonte – Brasil (19° 49' 01" S latitude e 43° 57' 21" O longitude). Área bruta total do edifício é de 2.640,00 m² e área total aberturas e área de superfície da parede exterior são 612,00m² e 2160,00 m², respectivamente. Portanto, no presente estudo, a área de aberturas é de 30% da área de superfície externa do edifício. Foi considerado uma média de 2 pessoas por sala, com um horário de trabalho nos dias úteis de 8:00-19:00 h. O pé direito de cada andar do edifício de escritórios é de 2,80 m. O edifício apresenta 18% das suas salas condicionadas por sistemas de condicionamento de ar individuais - split. Na Figura 1 mostra a planta do andar tipo e na Tabela 1 descreve as características dos materiais de construção do edifício.

Tabela 1. Características da edificação

Parâmetros	Valores
<i>Características do edifício</i>	
Orientação	N-S
Transmitância térmica da cobertura	2,06 W/(m ² K)
Transmitância térmica das paredes externas	2,14 W/(m ² K)
Transmitância térmica/Fator Solar dos vidros	5,80 W/(m ² K) / 0,87
Percentual de abertura na fachada	0,30
Proteção Solar	0
Carga de Equipamentos	3,85 W/m ²
Carga de Iluminação	3,38 W/m ²
Densidade de Ocupação	20 m ² /pessoa
Horário de funcionamento	8:00-19:00 (segunda a sexta)
<i>Sistema de Ar Condicionado</i>	
Tipo	split
Set point de temperatura no verão	24°C
COP médio das máquinas	3.08

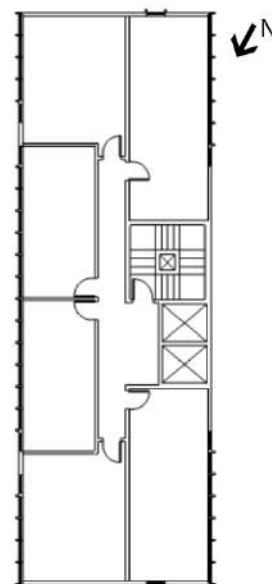


Figura 1. Planta do andar tipo do edifício analisado.

A cidade de Belo Horizonte, segundo a classificação climática de Köppen, tem um clima temperado, com inverno suave e com temperatura média do mês mais frio abaixo de 18,0°C e no mês mais quente acima de 22,0°C. As amplitudes térmicas variam de 10,0°C no verão e de 11,5°C no inverno. A umidade relativa média anual é de 72,2%.

O arquivo climático utilizado nas simulações foi o TMY-2 (*Typical Meteorological Year*) para a cidade de Belo Horizonte (DOE, 2016). No modelo de simulação foram utilizadas as características físicas de projeto e de levantamentos feitos *in loco*. Os resultados de consumo mensal dado pelas duas simulações foram comparados com dados mensais médios de consumo de energia elétrica do edifício de janeiro de 2012 a dezembro de 2014.

Para avaliar os erros entre o consumo de energia da edificação simulada e as contas de energia elétrica, foi utilizada a metodologia estabelecida na ASHRAE *Guideline 14: Measurement of energy and demand savings*, que utilizam os cálculos de NMBE (*Normalized Mean Bias Error*) e CV (RMSE) (*Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error*). Os valores de MBE e RMSE são determinados pela divisão do MBE e do RMSE pela sua respectiva média mensal de eletricidade medida (Equação 1 e 2), com isso são encontrados o NMBD e CV (RMSE) (ASHRAE, 2002). Os limites estabelecidos mensalmente pela ASHRAE *Guideline 14* são de: ±5% para NMBE e de ±15% para CV (RMSE).

$$\text{NMBD} = \left[\sum (y_i - x_i) / N \right] / \bar{y} \quad (1)$$

$$\text{CV(RMSD)} = \left\{ \left[\sum (y_i - x_i)^2 / N \right]^{1/2} \right\} / \bar{y} \quad (2)$$

Onde, y_i são os valores estimados, x_i os valores simulados, N o número de medidas utilizadas e \bar{y} o valor da média mensal de eletricidade medida.

A escala de *benchmarking* utilizada para a análise de consumo foi a especificada por Veloso *et al.* (2018). Essa escala foi baseada na metodologia da ISO 52003-1- *Indicators, requirements, ratings and certificates - Part 1: General aspects and application to the overall energy performance* (ISO 52003-1:2017). Essa ISO define as formas de cálculo do desempenho energético das edificações e os procedimentos para definir os valores de referência. Na Tabela 2 está especificada os limites de consumo de energia elétrica por classificação. Pela metodologia desenvolvida, foram considerados somente o consumo referente à torre, não sendo considerado o consumo das garagens e elevadores. Para essa classificação das edificações, foram somente utilizados o consumo de energia elétrica da torre das edificações, pela área correspondente. Assim, para a análise de *benchmarking* será utilizado somente a parte correspondente à torre.

Tabela 2. Tabela dos limites do consumo de EUI das edificações e percentual por item.

	A	B	C	D	E
EUI [kWh/m ² /ano]	27,48	39,02	54,95	77,48	

Resultados

A estimativa da quantidade de edificações de escritórios presentes na cidade de Belo Horizonte - MG foi desenvolvida a partir de um banco de dados fornecido pela Prefeitura Municipal. Este banco de dados contém informações do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano) de todas as edificações existentes na cidade que foram aprovadas até 2011. Foram identificados que na cidade de Belo Horizonte, existiam, até o ano de 2011, 568 edificações com ocupação de edifícios de uso comercial e/ou de serviços com área superior a 1.000 m². Foram analisadas via plataforma do Google Earth qual o sistema de condicionamento de ar dessas edificações (Figura 2). Assim, verificou-se que a maior parte dos edifícios tem aparelhos de condicionamento de ar do tipo Split ou de Janela, ou seja, que tem seu funcionamento de maneira híbrida, permitindo a abertura de janelas para ventilação natural e se utiliza de condicionamento artificial parte do tempo de uso. Nas edificações de modo misto de condicionamento de ar não foram determinadas a quantidade de unidades condicionadoras existentes e nem o percentual de espaços condicionados por não ter acesso ao interior das edificações.

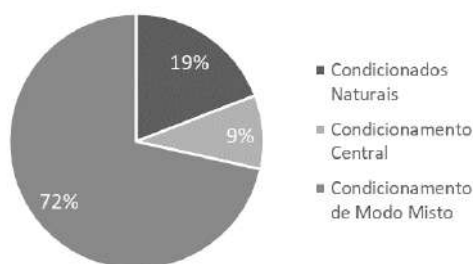


Figura 2. Percentual de edificações por tipo de condicionamento de ar.

Com relação ao consumo de energia elétrica, apurado pela conta de energia recebida pela edificação, verificou-se que consumo de energia elétrica real variou de 2.44 a 3.07 kWh/m²/mês. Já na simulação computacional da edificação, o consumo de energia elétrica variou de 2.47 a 2.95 kWh/m²/mês (Figura 2). Para verificar o erro entre o modelo simulado e o consumo real da edificação, foram calculados o CVRMSE (*Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error*) e NMBE (*Normalized Mean Bias Error*), conforme é descrito pela ASHRAE. Observa-se que o consumo de energia elétrica da edificação variou de -8,0% a 10% (Figura 3). O valor de NMBE foi de 0,7% e de CVRMSE foi de 5,2%, ficando dentro dos limites estabelecidos pela ASHRAE Guideline 14-2002.

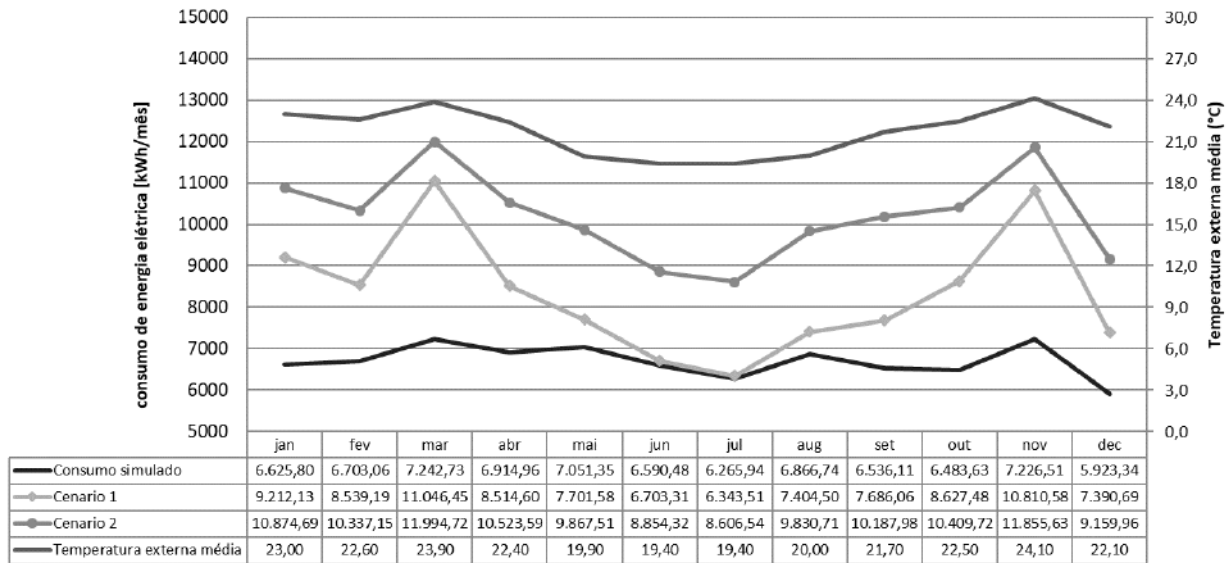


Figura 3. Consumo de energia elétrica real e simulado da edificação em análise para calibração do modelo.

Com o modelo de simulação calibrado em relação ao consumo de energia elétrica real da edificação, foram simuladas duas situações: (cenário 1) 100% das salas com condicionamento de ar e estes funcionando de maneira híbrida, ou seja, as janelas foram abertas e o sistema de condicionamento de ar liga quando a temperatura do ar do ambiente interno é igual ou superior à temperatura do termostato e também quando a temperatura do ar do ambiente interno é superior à temperatura externa; (cenário 2) 100% das salas com condicionamento de ar sem o funcionamento de maneira híbrida. Observa-se que há um aumento médio de 24% no Cenário 1 e de 52% no Cenário 2 do consumo de energia elétrica em relação ao consumo real de energia elétrica (Figura 4). Já em relação ao consumo de energia elétrica do Cenário 2 e do Cenário 1, há um aumento médio de 23%. Nos meses de março e novembro houve um pico no consumo de energia elétrica, tendo um aumento de 53% (março) e 50% (novembro) no cenário 1 e de 66% (março) e 64% (novembro) em relação ao consumo de energia elétrica real da edificação. Nesses meses também foram verificadas as maiores temperaturas externas. Para essas análises foram considerados somente o consumo da torre, retirando o consumo de iluminação da garagem e dos elevadores.

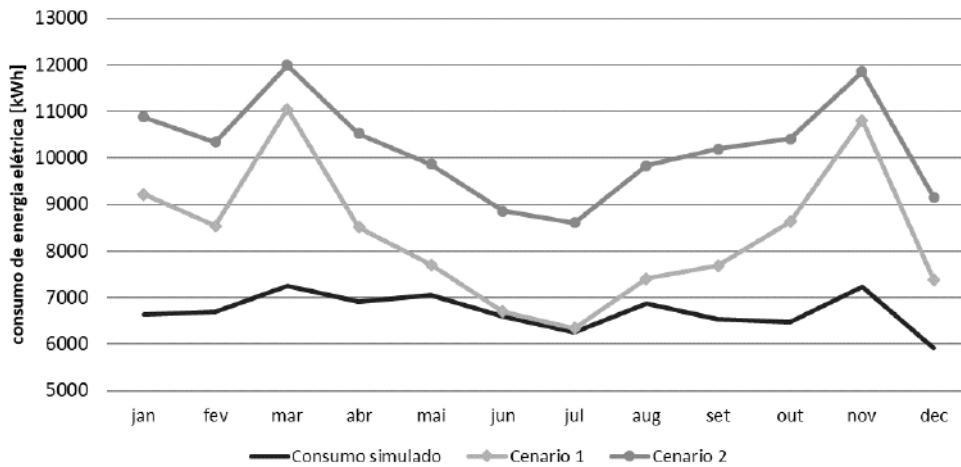


Figura 4. Consumo de energia elétrica da torre do modelo simulado e com a modificação do uso dos condicionadores de ar.

Em relação ao *benchmarking* de energia elétrica da edificação (Figura 5), foram retirados do consumo total das 3 situações, o consumo de energia elétrica da garagem e dos elevadores. Assim, a classificação da edificação real é B, com um consumo médio de 30,47 kWh/m²/ano. Quando simulada a edificação com todas as salas climatizadas, mas utilizando essa climatização de modo híbrido – Cenário 1, este consumo de energia elétrica passa para 37,87 kWh/m²/ano, se mantendo na classificação B pelo *benchmarking*. Já no Cenário 2, quando este ar condicionado é utilizado 100% do horário de funcionamento da edificação, o consumo passa a ser de 46,40 kWh/m²/ano e a classificação passa a ser C.

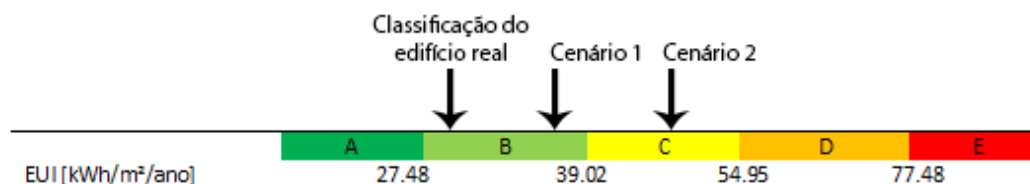


Figura 5. Consumo de energia real, simulado e com a modificação do uso dos condicionadores de ar.

Discussão e Conclusões

O problema geral levantado nesse artigo foi entender o peso que o sistema de condicionamento de ar apresenta no consumo de energia elétrica das edificações. Para isso, utilizou-se de um estudo de caso de uma edificação de escritórios típica da cidade de Belo Horizonte. O entendimento quantitativo do consumo de energia elétrica da edificação quando todas as salas da edificação resolverem implantar sistema de condicionamento de ar e o entendimento de maneiras para minimizar este consumo são informações importantes para os proprietários, gestores e projetistas. Além de mostrar o quanto a edificação chegará a consumir, uma outra maneira de demonstração dos resultados é a classificação da edificação a partir de um *benchmarking* de consumo de energia elétrica em uso. Esse é uma ferramenta didática e utilizada em diversos países e é um indicador de desempenho das edificações.

A escolha dessa tipologia de edificação foi pelo fato dela representar a grande maioria de edificações de escritório existente na cidade de Belo Horizonte. Essa grande maioria de edificações utiliza da ventilação híbrida para o resfriamento das salas, ou seja, o sistema de ar condicionado é utilizado, em grande parte, nos dias quentes. Essa possibilidade de utilização da ventilação híbrida se dá pelo tipo de clima que Belo Horizonte tem, que é ameno na maior parte do ano.

Ao se utilizar um edifício real para a análise, o primeiro passo foi o de calibração do modelo em relação ao consumo de energia elétrica mensal médio. Essa calibração foi importante para o entendimento do comportamento da edificação nas possíveis alterações. Quando todas as salas da edificação são condicionadas, em 100% do horário de funcionamento da edificação, verificou-se que houve um aumento de mais de 50% no consumo da edificação, mas quando se utilizou da estratégia da ventilação híbrida, houve uma economia de energia elétrica de 22% em relação a esse consumo máximo atingido. Esse resultado confirma que a ventilação híbrida é uma estratégia importante para a redução do consumo de energia elétrica nas edificações. Quando se verifica a classificação do consumo de energia elétrica da edificação em relação às demais edificações da cidade, verifica-se que a utilização da estratégia de ventilação híbrida não impacta na classificação da edificação, diferentemente de quando se faz o uso do sistema de ventilação artificial em 100% do horário de funcionamento das salas.

O conhecimento das estratégias de projeto, do consumo de energia elétrica atual e da projeção de quanto a edificação poderá consumir no futuro é uma importante ferramenta para os projetistas, gestores e usuários da edificação. A utilização de *benchmarking* de consumo de energia, também ajudará nas tomadas de decisões sobre quais estratégias poderão influenciar no consumo de energia e na classificação da edificação.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelos recursos financeiros investidos nesta pesquisa.

Referências



**IBPSA
2019**

International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



LATAM
Mendoza, Argentina

- ASHRAE Guideline 14-2002 (2002). Measurement of energy and demand savings, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta.
- Borgstein, E. H., Lamberts, R., Hensen, J. L. M. (2016). Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review. *Energy and Buildings*, 128, 734–755.
- Brager, G., Baker, L. (2008) Occupant Satisfaction in Mixed-Mode Buildings. (2009) *Building Research & Information* 37, 369-380.
- Carlo, J. C. (2008) Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações. [Tese de Doutorado] Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.
- Carvalho, M. M. Q., Rovere, E. L. La, Gonçalves, A. C. M. (2010) Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 3199–3205.
- Chung, W., Hui, Y. V., Lam, Y. M. (2006) Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. *Applied Energy*, 83 (1) 1–14.
- Chung, W. (2011). Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. *Apply Energy* 88(5), 1470–1479.
- DOE, Department of Energy. Energy Plus Weather Data. Disponível em: <https://energyplus.net/weather>. Acesso em junho de 2019.
- Dornelles, K. A. (2008) Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA. [Tese de Doutorado] Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP.
- Fossati, M., Lamberts, R. (2010) Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. *Ambiente Construído* 10 (2), p. 59–69.
- GEA - Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future. (2012) Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- International Energy Agency. Total energy use in buildings: Analysis and evaluation methods, 2013.
- ISO. Energy performance of buildings - Indicators, requirements, ratings and certificates - Part 1: General aspects and application to the overall energy performance, ISO 52003-1:2017. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2017.
- Kwok, A.G., Rajkovich, N.B. (2010). Addressing climate change in comfort standards. *Building and Environment* 45, 18-22.
- Lamberts R., Pereira F.O.R., Dutra L. (2014), *Eficiência Energética na Arquitetura*. 3rd ed. Rio de Janeiro.
- Mascaró, J.L., Mascaró, L., (1992), *Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios*. Porto Alegre: Sagra: DC Luzzatto.
- Meier, A., Olofsson, T., Lamberts, R. (2002). What Is an Energy-Efficient Building? IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu - Paraná – Brasil.
- Ministério das Minas e Energia (MME), Balanço Energético Nacional, 2018, disponível em <http://www.epe.gov.br>.
- Ministério de Minas e Energia (MME). Plano Nacional de Energia 2030. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 408 p. ISSN: 978-85-60025-02-2. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.
- Nikolaou, T., Kolokotsa, D., Stavrakakis, G. (2011). Review on methodologies for energy benchmarking, rating and classification of buildings. *Advances in Building Energy Research* 5, 53–70.
- Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C. (2008). review on buildings energy consumption information. *Energy and Building* 40, 394-398. 2008
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., González, R., Maestre, I.R. (2009). A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. *Energy and Buildings* 41 (3), 272–278.
- Roth, J., Rajagopal, R. (2018). Benchmarking building energy efficiency using quantile regression. *Energy* 152 (1), 866-876.
- Santos, I. G., Souza, R. V. G. (2012). Proteções solares no regulamento brasileiro de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. *Ambiente Construído* 12, 227–241.
- Stern, F. Peak (2013). Demand and Time-Differentiated Energy Savings Cross-Cutting Protocols. National Renewable Energy Laboratory (NREL).



**IBPSA
2019**

International Building Performance Simulation Association / Argentina - Brasil - Chile



LATAM
Mendoza, Argentina

- Veloso, A.C.O., Souza, R.V.G. (2018). Benchmarking the energy efficiency of office buildings in Belo Horizonte, Brazil. International Building Physics Conference (IBPC), Syracuse –NY.
- Veloso, A.C.O., Souza, R.V.G., Koury, R.N.N. (2017). Research of design features that influence energy consumption in office buildings in Belo Horizonte, Brazil, Energy Procedia 111, 101–110.
- Zhao, H, Magoulès, F. (2012). A review on the prediction of building energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (6), 3586-3592.