

PANORAMA DE CONSUMO ENERGÉTICO PARA ESTUDOS DE EFICIÊNCIA EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO EM REGIÕES DE CLIMA TROPICAL

Felipe da Silva Duarte Lopes (1); Daniel Cóstola (2); Lucila Chebel Labaki (3)

(1) Arquiteto e Urbanista, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia Cidade, felipelopes.arq@gmail.com

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Construção, daniel.costola@gmail.com

(3) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Construção, lucila@fec.unicamp.br
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Construção, Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada, Caixa Postal 6143, Campinas – SP, 13083-889, Tel.: (19) 3521-2064

RESUMO

A alta demanda energética em edificações comerciais e de escritório tem estimulado o desenvolvimento de programas de certificação e selos de etiquetagem energética. Para estabelecer referências de consumo de energia para estudos de eficiência, benchmarks são métodos utilizados para avaliação do desempenho de edifício. Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um panorama de consumo energético em edifícios de escritório, e também avaliar a eficiência de um edifício com alto desempenho energético e de um ambiente comercial no Brasil em região de mesmo clima, através do método prescritivo do RTQ-C. A metodologia utiliza um Mapeamento Sistemático de Literatura (SMS) como forma de busca de trabalhos com tema relevante para a pesquisa. Para a avaliação da eficiência dos edifícios, foi utilizada a ferramenta WebPrescritivo do Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE) da UFSC. Os resultados mostraram uma Intensidade de Uso de Energia (IUE) média anual entre 62 kWh/m² e 386 kWh/m². Em clima tropical, o consumo médio foi de 161 kWh/m². A avaliação dos edifícios mostrou que o método prescritivo não é preciso na determinação de eficiência energética, pois casos com desempenho energético e características construtivas bem distintas apresentaram níveis próximos na etiqueta final.

Palavras-chave: Consumo energético. Edifícios de escritório. Mapeamento Sistemático de Literatura. RTQ-C.

ABSTRACT

The high-energy demand in commercial and office buildings has stimulated the development of certification and energy labeling programs. In this context, benchmarks are methods used for assessing building performance, establishing energy consumption references for efficiency studies. This paper aims to draw up an overview of energy consumption in office buildings, and to evaluate the efficiency of a high-energy performance building and a commercial building in Brazil, in the same climate region, through the prescriptive method of RTQ-C. The methodology uses a Systematic Mapping Study (SMS) as a way to search papers with relevant research topics. The “WebPrescritivo” tool, developed by the Energy Efficiency Buildings Laboratory (LabEEE) is used to evaluate the efficiency of the buildings. The results showed an annual average Energy Intensity Use between 62 kWh/m² and 386 kWh/m². In tropical climate, the average consumption was 161 kWh/m². The evaluation of the buildings showed that the prescriptive method is not accurate in determining energy efficiency, for cases with distinct energy performance and construction characteristics achieved similar levels in the final label.

Keywords: Energy consumption. Office buildings. Systematic Mapping Study. RTQ-C

NOMENCLATURA

CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBECS	Commercial Buildings Energy Consumption Survey (Pesquisa de Consumo Energético em Edifícios Comerciais)
DP	Desvio padrão
HK-BEAM	Hong Kong Building Environmental Assessment Method
IUE	Intensidade de Uso de Energia, em kWh/m ² anual
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NZEB	Net Zero Energy Building (edifício com balanço nulo de energia)
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios Comerciais, de serviços e públicos
SMS	Systematic Mapping Study (Mapeamento Sistemático de Literatura)

Classificação climática (Tabela 2)

Af: Equatorial	As: Tropical de savana	Cfa: Subtropical	Csb: Mediterrâneo de verão ameno
Am: Monções	BWh: Desértico	Cfb: Oceânico	Cwa: Subtropical úmido
Aw: Tropical semiúmido	BSk: Semiárido	Csa: Mediterrâneo de verão quente	Dfb: Continental

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia em edificações vem crescendo nos últimos anos. A crescente demanda, e a possível escassez de recursos naturais tem impulsionado a melhoria de estratégias de eficiência energética, como o desenvolvimento de programas de certificação ambiental e selos¹ de eficiência (PÉREZ-LOMBARD; ORTIZ; POUT, 2008). No Brasil, os principais programas adotados estabelecem critérios de desempenho geralmente difíceis de serem atendidos. Os requisitos das certificações conduzem o projetista para a diminuição da qualidade espacial e ambiental dos espaços, ainda com alto consumo energético (KONG et al., 2012; BARROS, 2012). Neste aspecto, métodos de referência de consumo são importantes aliados no desenvolvimento sustentável e uso racional de energia em edificações.

De acordo com Pérez-Lombard et al. (2009), a partir da década de 1990, o termo benchmark é utilizado para denominar a comparação do uso de energia em edifícios de características semelhantes. Refere-se ao estabelecimento de valores de referência para o consumo de uma edificação, um método útil para projetistas, gerentes e proprietários de empreendimentos avaliarem o desempenho dos edifícios, e o que pode ser feito para melhorar sua eficiência (BURMAN et al., 2014).

O processo mais utilizado consiste no levantamento de edifícios de uma mesma tipologia, através de indicadores de desempenho energético, como a intensidade de uso de energia (IUE), em kWh/m².a por exemplo. Chung (2011) apresenta os métodos mais usuais para determinação do benchmarking: normatização, regressão linear simples, análise de dados de envoltória, análise estocástica, simulação, e redes neurais. Cada método tem uma aplicação prática, adequando-se ao uso público, ou específico de um empreendimento.

Uma das principais iniciativas de benchmarking é realizada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. A Pesquisa de Consumo Energético em Edifícios Comerciais (CBECS) coleta dados sobre edificações desde 1979, e em 2013 realizou o décimo levantamento no país. São disponibilizadas informações de consumo nas edificações por tipologia, uso, área, fonte de energia, e local, por exemplo (EIA, 2014). Torcellini et al. (2008) apresentam um estudo detalhado sobre benchmarking para quinze tipologias diferentes de edificações comerciais em climas distintos dos Estados Unidos.

Atualmente no país, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS) desenvolve um programa de benchmarks para aplicação em etiquetagem. Um estudo piloto coletou dados de consumo em escritórios, edifícios públicos e agências bancárias. Para esta última tipologia, Borgstein e Lamberts (2014) apresentaram um estudo para definição de benchmarking em todo o país, baseado em coleta de dados existentes e simulação de um modelo hipotético. Por fim, é definida uma fórmula para o benchmark, corrigido pelo clima onde se insere a construção, através de graus-hora de resfriamento com temperatura de bulbo seco.

Ainda segundo os autores, não existe no país estudos suficientes sobre desempenho energético de edifícios, e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) possui apenas requisitos voluntários de eficiência energética em novos empreendimentos. Por outro lado, alguns avanços já podem ser observados. Em 2014, através da Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014, o Governo Federal tornou obrigatória a etiquetagem energética de edifícios públicos federais novos ou que recebam *retrofit*. A normativa, portanto, traz consigo a necessidade de aprofundamento nos estudos de eficiência energética das edificações.

¹ Em 2009, o INMETRO, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) lançou o RTQ-C, com parâmetros e métodos para classificação de tais edifícios quanto à eficiência energética (BRASIL, 2010).

Em relação às edificações não-residenciais, responsáveis por 24% da demanda total de eletricidade no país (BRASIL, 2013), o acesso às informações é dificultado por falta de vontade na divulgação dos dados ou questões de confidencialidade dos empreendedores. Desta forma, referências externas de desempenho e consumo de energia servem de base para estudos de eficiência energética, especialmente em locais de trabalho, onde as pessoas passam a maior parte do tempo. Assim, o planejamento de edifícios destinados para este fim deve promover desenvolvimento sustentável, eficiência energética e conforto térmico (LI; YANG; LAM, 2013).

2. OBJETIVO

A partir da necessidade de estudos de desempenho energético em edificações não-residenciais, o objetivo deste trabalho é elaborar um panorama sobre consumo energético em edifícios comerciais de escritório, como referência para projetos de mesma tipologia em regiões de clima tropical. Para efeitos de comparação com a realidade brasileira, busca-se também avaliar a eficiência de um edifício com alto desempenho energético em outro país com clima semelhante à um edifício no Brasil, segundo o método prescritivo do RTQ-C.

3. MÉTODO

3.1 Mapeamento Sistemático de Literatura (SMS)

Para a seleção dos estudos de referência para avaliação de desempenho energético em edifícios de escritório, foi adotado um Mapeamento Sistemático de Literatura, ou Systematic Mapping Study (SMS), uma ampla revisão primária em um tópico específico que procura identificar as evidências disponíveis naquele assunto (RUIZ-RUBE et al., 2013). O desenvolvimento do trabalho foi baseado no processo detalhado por Ruiz e Granja (2013), de acordo com os seguintes passos:

- Identificação do tema da pesquisa e das palavras-chave. As principais bases de dados estão em inglês, então foram definidas buscas com termos nesta língua. Os termos buscados foram “energy consumption” (consumo de energia), “office OR comercial building” (edifício comercial OU de escritório), e “benchmark*” (o asterisco indica um operador das bases que “trunca” a palavra, e apresenta todos os resultados com aquele prefixo);
- Escolha das bases de dados segundo critérios de qualidade da CAPES, em periódicos com classificação de A1 a B3 do sistema Qualis, ou que possuam fator de impacto acima de 0,4. As bases utilizadas foram Scopus e Science Direct. Existem outras fontes de busca, como Web of Science, Scielo e Google Scholar, porém as duas primeiras representam os principais periódicos da área de Engenharias e Energia, então optou-se pela não extensão da busca em outros sites. Foram realizadas buscas de trabalhos em conferências, congressos e periódicos, realizados na última década (de 2005 a 2015), e em alguns casos, trabalhos mais antigos que se repetem nas referências dos demais;
- Armazenamento dos resultados através do “Mendeley”, programa computacional de gestão de referências bibliográficas;
- Organização e análise dos resultados em planilhas com informações relevantes para a busca. Foram identificados e excluídos os artigos duplicados nas bases. Após análise inicial, foi avaliada a aderência dos trabalhos ao tema. Finalizado o processo, os trabalhos mais relevantes foram analisados criteriosamente para a definição dos valores de consumo de energia em edifícios de escritório para a elaboração do panorama.

3.2 Avaliação segundo o PBE Edifica

Inicialmente, a região climática onde os edifícios avaliados se inserem não foi restringida no SMS, de modo a apresentar uma variedade maior de casos. Mas como forma de comparação mais fiel ao clima tropical (cerca de 60% da América do Sul), um recorte foi realizado somente nos trabalhos de clima semelhantes no Brasil. Neste caso, foi selecionado o clima tropical semiúmido (Aw), segundo a classificação de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). A cidade de Teresina-PI foi escolhida para um estudo de caso.

Foi aplicado o método prescritivo do RTQ-C, que se baseia na análise de simulações de um número limitado de casos através de regressão linear e avalia três requisitos principais: eficiência e potência instalada do sistema de iluminação; eficiência do sistema do condicionamento de ar e desempenho térmico da envoltória da edificação (MELO et al., 2013). Cada sistema é avaliado separadamente, aos quais são atribuídos equivalentes numéricos inseridos na equação geral, para pontuação correspondente ao nível de eficiência. O nível de eficiência é então obtido de acordo com a pontuação final PT obtida através da equação demonstrada. A etiqueta ENCE varia de “A” (mais eficiente) a “E” (menos eficiente).

O método foi utilizado em uma edificação localizada em Noida (Índia), avaliada por Rakheja (2013), daqui em diante denominada IND; e em um ambiente de escritório em Teresina, daqui em diante denominado THE. A ferramenta de avaliação de eficiência energética utilizada foi o Web Prescritivo, desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LabEEE) da UFSC (LABEEE, 2015).

O edifício IND é um empreendimento planejado para ser um edifício com balanço nulo de energia (NZEB). As paredes são compostas por blocos de concreto celular auto clavado e isolamento em espuma de poliuretano. A cobertura de concreto também possui isolamento em poliuretano, além de lã mineral para impermeabilização. Vidros eficientes nas esquadrias ajudam a diminuir a entrada de radiação solar. Quanto ao consumo de energia, 90% da demanda é suprida por geração local com painéis fotovoltaicos.

Já o edifício THE é uma sala de escritório de um prédio comercial típico da cidade de Teresina, onde funciona uma empresa de arquitetura. É uma construção simples, com fechamentos em alvenaria de tijolos cerâmicos, camada de reboco interna e externa, e pintura clara na fachada. As esquadrias são de vidro comum monolítico. A transmitância térmica das superfícies é dez vezes superior ao edifício IND. As características das duas edificações são apresentadas na Tabela 1.

Os dois edifícios estão localizados em regiões de mesmo clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger. Para este estudo, os dois serão avaliados quanto à obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), do PBE Edifica, inseridos na Zona Bioclimática 7 (ABNT, 2005).

Tabela 1: Características das edificações

	IND	THE		IND	THE
Área total	891 m ²	42 m ²	U cobertura	0,17	1,8
Volume total	2673 m ³	105 m ³	U paredes	0,26	2,46
Área da cobertura	450 m ²	42 m ²	α cobertura	65%	60%
Área da envoltória	540 m ²	46 m ²	α paredes	60%	50%
Porcentagem de aberturas	33,8%	20%	CT paredes	106	152
Fator solar dos vidros	0,31	0,4	Potência de iluminação	6.500 W	400 W
AVS	45°	-	Capacidade (ar-cond.)	286.600 BTUh	36.000 BTUh
AHS	-	-	Eficiência (ar-cond.)	3,4 W/W	2,89 W/W

U: transmitância térmica, em W/(m².K)
 α : absorvância da superfície
 CT: capacidade térmica, em kJ/(m².K)

O consumo energético dos dois edifícios também foi comparado. Com esta avaliação, será possível estabelecer um parâmetro inicial de comparação do Panorama de consumo energético com o método brasileiro de etiquetagem energética, e assim verificar se a avaliação de eficiência de edificações no país leva em conta parâmetros de alto desempenho energético.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O panorama de desempenho energético em edifícios de escritório foi realizado em duas partes. No item 4.1 são mostrados os resultados do Mapeamento Sistemático de Literatura (SMS), com os dados de consumo de energia. No item 4.2 é apresentado o estudo comparativo dos edifícios IND e THE, baseado no método prescritivo do RTQ-C.

4.1 Panorama de consumo energético em escritórios

4.1.1 Dados bibliométricos do SMS

A evolução das análises realizadas mostra a identificação inicial de 809 textos, entre artigos de jornais e de conferências. A Figura 1 mostra a evolução do processo de análise dos textos. Inicialmente foi feita a exclusão de textos duplicados nas bases. Em seguida foram aplicados filtros de texto que não se aplicam ao tema de interesse, como por exemplo artigos que tratam de edifícios residenciais, industriais ou hospitalares, ou ainda trabalhos cujo enfoque se dá para áreas urbanas.

Após a análise de aderência dos textos, restaram 211 artigos, cujos resumos foram lidos para enfim serem selecionados 22 artigos com relevância ao tema, que tratam de benchmarking de consumo energético para edificações comerciais de escritório.



Figura 1: Quantidade dos resultados do SMS

4.1.2 Resultados do consumo energético

Dos 22 estudos avaliados, dez são trabalhos de coleta de dados de edificações reais, cinco utilizam método de simulação computacional, quatro são baseados em normatização no país em que se inserem e três são estudos de casos de edifícios com alto desempenho, publicados na revista *High Performing Buildings*. Percebe-se que a coleta de dados é o método mais comum adotado pelos autores. Em relação ao uso, 20 trabalhos focam em escritórios, apenas um é mais abrangente em outros edifícios comerciais, e um trata de agências bancárias, mas foi citado por se tratar do primeiro estudo para definição de benchmarking no Brasil. A Tabela 2 mostra os métodos utilizados nos trabalhos e as características climáticas da região de estudo.

Tabela 2: Métodos utilizados nos estudos

Id	Ano	Método	Referência	Local	Clima	Uso
1	2013	Simulação	Boyano, Hernandez e Wolf (2013)	Tallinn (Estônia)	Dfb	Escritório
				Londres (Inglaterra)	Cfb	
				Madrid (Espanha)	Csa	
2	2009	Simulação	Nikolaou et al. (2009)	Heraclião (Grécia)	Csa	Escritório
				Atenas (Grécia)	Csa	
				Tessalônica (Grécia)	Cfa	
3	2008	Simulação	Lee e Burnett (2008)	Hong Kong (China)	Cwa	Escritório
4	2007	Simulação	Mui, Wong e Law (2007)	Hong Kong (China)	Cwa	Escritório
5	2005	Simulação	Westphal e Lamberts (2007)	Brasil	Todo o país	Escritório
6	2009	Normatização	Sabapathy et al. (2010)	Bangalore (Índia)	Aw	Escritório
7	2008	Normatização	Torcellini et al. (2008)	Miami, FL (EUA)	Am	Escritório
				Houston, TX (EUA)	Cfa	
				Phoenix, AZ (EUA)	BWh	
8	2008	Normatização	Lee e Rajagopalan (2008)	Singapura	Af	Escritório
9	1996	Normatização	Sharp (1996)	Estados Unidos	Todo o país	Escritório
10	2013	Estudo de caso	Rakheja (2013)	Noida (Índia)	Aw	Escritório
11	2012	Estudo de caso	Denise Sr. (2012)	San Jose, CA (EUA)	Csb	Escritório
12	2012	Estudo de caso	Hootman et al. (2012)	Golden, CO (EUA)	BSk	Escritório
13	2014	Coleta de dados	Borgstein e Lamberts (2014)	Brasil	Todo o país	Banco
14	2013	Coleta de dados	Scofield (2013)	New York, NY (EUA)	Cfa	Escritório
15	2010	Coleta de dados	Dascalaki et al. (2010)	Grécia (Zona A)	Csa	Comercial
				Grécia (Zona B)	Csa	
				Grécia (Zona C)	Cfa	
16	2010	Coleta de dados	Kong et al. (2012)	Hainan (China)	Cwa	Escritório
17	2009	Coleta de dados	Chung e Hui (2009)	Hong Kong (China)	Cwa	Escritório
18	2007	Coleta de dados	Martin (2013)	Cidade do Cabo (África do Sul)	Csb	Escritório
19	2006	Coleta de dados	Saidur (2009)	Malásia	Af	Escritório
20	2006	Coleta de dados	Lee (2010)	Taiwan (China)	Cfa	Escritório
21	1994	Coleta de dados	Lagoudi et al. (1996)	Atenas (Grécia)	Csa	Escritório
22	1994	Coleta de dados	Santamouris et al. (1994)	Grécia	Todo o país	Escritório

A Tabela 3 mostra os valores médios, mínimos e máximos de consumo de energia, e em alguns casos, o desvio padrão (DP) do estudo, devido a inconsistências nas avaliações. Em números absolutos, os resultados mostram que a IUE varia de 8 kWh/m² a 534 kWh/m² anual. Já o consumo médio varia entre 62 kWh/m² e 386

kWh/m². Em relação aos edifícios situados em regiões de clima tropical (ID 6, 7, 8, 10, 19), a média de consumo é de 161 kWh/m² anual. Quanto ao desempenho dos edifícios, além dos três estudos de caso da *High Performing Buildings* (ID 10, 11, 12), outros três trabalhos avaliaram edificações com alta eficiência energética (ID 3, 6, 14). Lee e Burnett (2008) descrevem o consumo de 60 edifícios certificados pelo Método de Avaliação Ambiental de Hong Kong (HK-BEAM), enquanto Sabapathy et al. (2010) e Scofield (2013) avaliam o desempenho de edifícios certificados pelo LEED.

Tabela 3: Valores de consumo energético

Id	Ano	Local	Amostra	Consumo anual (kWh/m ²)				Referência
				Min.	Max.	Médio	DP	
1	2013	Tallinn (Estônia)	42	80	111	105	6	Boyano, Hernandez e Wolf (2013)
		Londres (Inglaterra)	42	45	80	70	11	
		Madrid (Espanha)	42	47	84	74	14	
2	2009	Heraclião (Grécia)	10000	68	407	175		Nikolaou et al. (2009)
		Atenas (Grécia)	10000	72	430	188		
		Tessalônica (Grécia)	10000	76	476	201		
3	2008	Hong Kong (China)	60	50	160	139	22	Lee e Burnett (2008)
4	2007	Hong Kong (China)	38			224	1	Mui, Wong e Law (2007)
5	2005	Brasil	23040	20	140	120		Westphal e Lamberts (2007)
6	2009	Bangalore (Índia)	26	93	391	311	13	Sabapathy et al. (2010)
7	2008	Miami, FL (EUA)	-			115		Torcellini et al. (2008)
		Houston, TX (EUA)	-			105		
		Phoenix, AZ (EUA)	-			111		
8	2008	Singapura	104	75	450	178		Lee e Rajagopalan (2008)
9	1996	Estados Unidos	1358	75	238	148		Sharp (1996)
10	2013	Noida (Índia)	1			72		Rakheja (2013)
11	2012	San Jose, CA (EUA)	1			386		Denise Sr. (2012)
12	2012	Golden, CO (EUA)	1			77		Hootman et al. (2012)
13	2014	Brasil	8049	75	500	202	107	Borgstein e Lamberts (2014)
14	2013	New York, NY (EUA)	21	189	534	308	18	Scofield (2013)
15	2010	Grécia (Zona A)	19	26	233	141		Dascalaki et al. (2010)
		Grécia (Zona B)	45	26	233	96		
		Grécia (Zona C)	10	26	233	138		
16	2010	Hainan (China)	51	8	501	92	93	Kong et al. (2012)
17	2009	Hong Kong (China)	30	103	504	199	111	Chung e Hui (2009)
18	2007	Cidade do Cabo (África do Sul)	41	140	213	188	70	Martin (2013)
19	2006	Malásia	68			130		Saidur (2009)
20	2006	Taiwan (China)	56	32	63	62	60	Lee (2010)
21	1994	Atenas (Grécia)	6	37	178	85		Lagoudi et al. (1996)
22	1994	Grécia	186	50	250	187		Santamouris et al. (1994)

As Figuras 2 a 5 mostram a composição da IUE por método utilizado no estudo. Em geral, o consumo médio assume valores mais próximos do consumo máximo. Seis estudos (ID 2, 8, 13, 14, 16, 17) apresentaram valores máximos muito acima dos valores médios, explicado pela grande amostra de edifícios analisados.

Os casos que apresentaram menor valor de consumo foram os ID 10 e 12, que representam edifícios com alto desempenho energético, e geração de energia na edificação, sem grande consumo da rede. O edifício do ID 11 também possui alto desempenho, mas por se tratar da sede de uma empresa que abriga grandes centrais de servidores e equipamentos de processamento de dados, o seu consumo é bastante elevado.

Os casos realizados por método de simulação (Figura 2) apresentaram baixos valores médios de IUE (entre 50 kWh/m² e 250 kWh/m²). Já os casos de coleta de dados (Figura 5), tiveram os maiores consumos

médios, a maior parte acima de 150 kWh/m². Percebe-se que existe uma diferença significativa entre modelos hipotéticos simulados e o desempenho real de edificações.

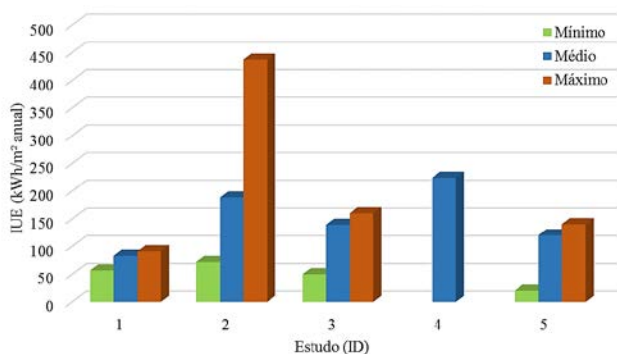


Figura 2: IUE das edificações (método de simulação)

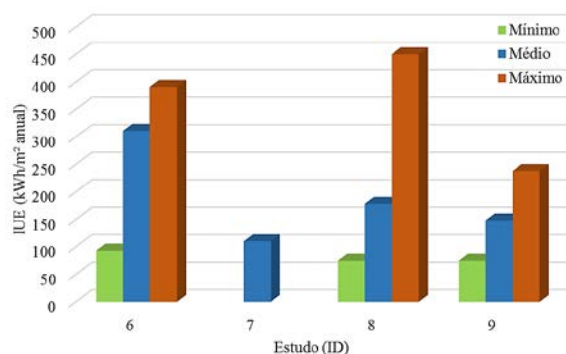


Figura 3: IUE das edificações (normalização)

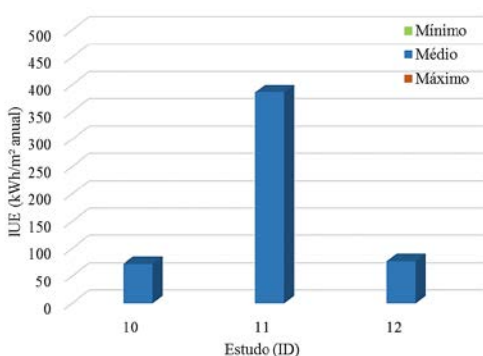


Figura 4: IUE das edificações (estudo de caso)

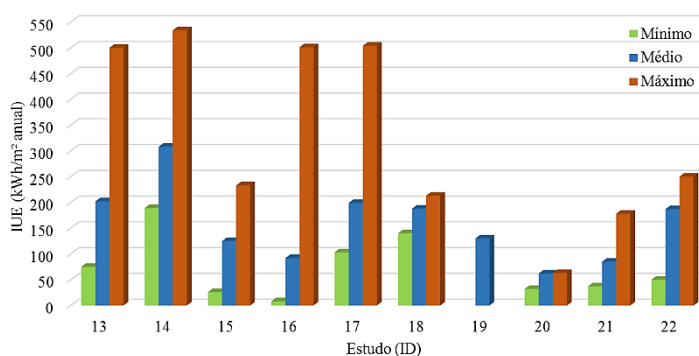


Figura 5: IUE das edificações (coleta de dados)

Em uma análise mais detalhada dos 22 trabalhos, 19 apresentam informações sobre a área das edificações, sendo a maioria (46%) edifícios com mais de 5.000 m² de área total, e outros 38% com área entre 500 m² e 5.000 m², indicando que a maior preocupação de pesquisadores com desempenho é para grandes empreendimentos. O potencial de redução de consumo dos trabalhos também foi analisado. Em geral, os estudos apresentam uma média de potencial de economia de energia de 35%. Mui, Wong e Law (2007) avaliaram o maior potencial de redução, entre 46% e 95%, através de sistemas eficientes de ventilação e condicionamento artificial de ar-condicionado.

4.2 Resultado do RTQ-C

Na segunda parte da pesquisa, o nível de eficiência das edificações IND e THE foi determinado segundo o método prescritivo do RTQ-C, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Pontuação do método prescritivo do RTQ-C

Pontuação do RTQ-C	Classificação Final	Edifício IND	Edifício THE
≥4,5 a 5	A	4,89	
≥3,5 a <4,5	B		4,20
≥2,5 a <3,5	C		
≥1,5 a <2,5	D		
<1,5	E		

O edifício IND obteve nível A, e o edifício THE obteve nível B. Percebe-se, que apesar de diferenças substanciais de desempenho energético, ambas as edificações tiveram níveis próximos de eficiência. Isso mostra uma falha no método prescritivo, que mesmo edifícios sem alto desempenho energético podem receber selos mais altos, com poucas alterações construtivas. O resultado é explicado pelas limitações do método quanto à volumetria, transmitância térmica das paredes, e valores diferentes de eficiência da envoltória, quando

comparados com o método de simulação (CARLO, 2008; MELO et al., 2013). Quanto ao consumo energético, o edifício IND apresenta uma demanda de 72 kWh/m² anual, enquanto no edifício THE a demanda é de 120 kWh/m² (dados da conta de eletricidade do ambiente). Este consumo é 67% superior ao edifício de alto desempenho, e ainda assim a etiqueta do THE mostrou-se próxima à do IND.

O RTQ-C pode ser realizado também pelo método de simulações, que considera parâmetros da geometria e propriedades termofísicas dos materiais da edificação, padrões de uso e ocupação da mesma. Este método permite uma compreensão mais aproximada da realidade do que o método prescritivo. Este trabalho não utilizou o método da simulação, por se tratar de uma abordagem mais detalhada, que não representa o objetivo inicial da pesquisa.

Com os resultados do método prescritivo, percebeu-se uma falha na etiquetagem de edifícios de escritório, uma vez que edificações simples e sem estratégias de eficiência energética recebem etiquetas próximas a edificações com alto desempenho. Um exemplo dessa falha é que o método prescritivo não leva em conta as cargas internas da edificação, como equipamentos e pessoas.

5. CONCLUSÕES

O Mapeamento Sistemático de Literatura é um instrumento que auxilia na busca por estudos com um tema específico. A análise de trabalhos sobre consumo energético em edifícios de escritório mostrou que dos 809 trabalhos encontrados, 26% mostraram-se aderentes ao tema, e destes, 10% foram relevantes para o objetivo do trabalho.

O panorama do consumo energético resultou em IUE média variando entre 62 kWh/m² e 386 kWh/m². Em clima tropical, este consumo médio foi de 161 kWh/m² anual. Existe um campo de estudo promissor quanto ao potencial de redução de consumo para edifícios de escritório, podendo chegar a 95% de redução.

Os programas de certificação e selos de eficiência são importantes ferramentas na promoção do desenvolvimento sustentável e alta eficiência em edifícios. Por outro lado, o método prescritivo do RTQ-C disponível atualmente não representa uma avaliação precisa do nível de eficiência, pois edificações com diferentes características de desempenho energético podem obter níveis próximos de etiquetagem.

Dessa forma, para que os valores obtidos no panorama de consumo possam ser utilizados como benchmarking para estudos de eficiência energética, os métodos dos programas de etiquetagem devem levar em conta o consumo de energia do modelo em todo seu aspecto.

Conclui-se com esta pesquisa, que foi possível avaliar o panorama de consumo de energia em edifícios de escritório, assim como indicar a necessidade de relacionar o atual programa de etiquetagem energética com estudos de benchmarking, elevando o potencial de redução de consumo para edifícios de escritório.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- BARROS, A. M. **A adoção de sistemas de avaliação ambiental de edifícios (LEED e Processo AQUA) no Brasil**: motivações, benefícios e dificuldades. 2012. 203 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)–Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- BORGSTEIN, E. H.; LAMBERTS, R. Developing energy consumption benchmarks for buildings: Bank branches in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 82, p. 82–91, out. 2014.
- BOYANO, A.; HERNANDEZ, P.; WOLF, O. Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations. **Energy and Buildings**, v. 65, p. 19–28, out. 2013.
- BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Rio de Janeiro: INMETRO, 2010. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2014.
- _____. **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço energético nacional 2013: Ano base 2012**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2014.
- BURMAN, E. et al. A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 2 – Bottom-up approach. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 2, p. 247–261, dez. 2014.
- CARLO, J. **Desenvolvimento de metodologia de avaliação da eficiência energética do envoltório de edificações não-residenciais**. 2008. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- CHUNG, W. Review of building energy-use performance benchmarking methodologies. **Applied Energy**, v. 88, n. 5, p. 1470–1479, maio 2011.
- CHUNG, W.; HUI, Y. V. A study of energy efficiency of private office buildings in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 6, p. 696–701, jun. 2009.

- DASCALAKI, E. G. et al. Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 8, p. 1231–1237, ago. 2010.
- DENISE SR., G. Case study Adobe Headquarters. **High Performing Buildings**, Atlanta, Fall 2012. Disponível em: <<http://www.hpbmagazine.org/case-studies/office-institutional/adobe-headquarters-san-jose-ca>>. Acesso em 27 out. 2014.
- EIA. Energy Information Administration. **Commercial buildings energy consumption survey (CBECS)**. 2014. Disponível em: <<http://www.eia.gov/consumption/commercial/about.cfm>>. Acesso em 12 jul. 2014.
- HOOTMAN, T. et al. Case study Department of Energy’s National Renewable Energy Laboratory Research Support Facility. **High Performing Buildings**, Atlanta, Fall 2012. Disponível em: <<http://www.hpbmagazine.org/case-studies/office-institutional/national-renewable-energy-laboratory-nrel-golden-co>>. Acesso em 27 out. 2014.
- KONG, X. et al. Energy consumption, indoor environmental quality, and benchmark for office buildings in Hainan Province of China. **Journal of Central South University**, v. 19, n. 3, p. 783–790, 3 mar. 2012.
- LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética de Edificações. **WebPrescritivo**. Ferramenta de Avaliação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais pelo Método Prescritivo do RTQ-C. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em 20 jan. 2015.
- LAGOUDI, A. et al. Symptoms experienced, environmental factors and energy consumption in office buildings. **Energy and Buildings**, v. 24, n. 3, p. 237–243, 1996.
- LEE, W.-S. Benchmarking the energy performance for cooling purposes in buildings using a novel index-total performance of energy for cooling purposes. **Energy**, v. 35, n. 1, p. 50–54, jan. 2010.
- LEE, W. L.; BURNETT, J. Benchmarking energy use assessment of HK-BEAM, BREEAM and LEED. **Building and Environment**, v. 43, n. 11, p. 1882–1891, nov. 2008.
- LEE, S. E.; RAJAGOPALAN, P. Building energy efficiency labeling programme in Singapore. **Energy Policy**, v. 36, n. 10, p. 3982–3992, out. 2008.
- LI, D. H. W.; YANG, L.; LAM, J. C. Zero energy buildings and sustainable development implications – A review. **Energy**, v. 54, p. 1–10, jun. 2013.
- MARTIN, C. Generating low-cost national energy benchmarks: A case study in commercial buildings in Cape Town, South Africa. **Energy and Buildings**, v. 64, p. 26–31, set. 2013.
- MELO, A. P. et al. Desenvolvimento de um método para aprimorar a precisão do método prescritivo da etiquetagem PROCEL/INMETRO para edifícios comerciais. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ENCAC, 2013. p. 1-10.
- MUI, K. W.; WONG, L. T.; LAW, L. Y. An energy benchmarking model for ventilation systems of air-conditioned offices in subtropical climates. **Applied Energy**, v. 84, n. 1, p. 89–98, jan. 2007.
- NIKOLAOU, T. et al. Virtual Building Dataset for energy and indoor thermal comfort benchmarking of office buildings in Greece. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 12, p. 1409–1416, dez. 2009.
- PEEL, M.; FINLAYSON, B.; MCMAHON, T. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, p. 1633–1644, 2007.
- PÉREZ-LOMBARD, L. et al. A review of benchmarking, rating and labelling concepts within the framework of building energy certification schemes. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 3, p. 272–278, mar. 2009.
- PÉREZ-LOMBARD, L.; ORTIZ, J.; POUT, C. A review on buildings energy consumption information. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 3, p. 394–398, jan. 2008.
- RAKHEJA, A. Case study Ecocommercial Building, Noida, India. **High Performing Buildings**, Atlanta, Fall 2013. Disponível em: <<http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/11842/13F-EcoCommercial-Building-Noida-Uttar-Pradesh-India.pdf>>. Acesso em 27 out. 2014.
- RUIZ, J. A.; GRANJA, A. D. um mapeamento sistemático da literatura sobre a relação entre valor e colaboração na construção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 8., 2013, Salvador. **Anais...** Salvador: SIBRAGEC, 2013. p. 1-14.
- RUIZ-RUBE, I. et al. Uses and applications of Software & Systems Process Engineering Meta-Model process models. A systematic mapping study. **Journal of Software: Evolution and Process**, v. 25, n. 9, p. 999–1025, 2013.
- SABAPATHY, A. et al. Energy efficiency benchmarks and the performance of LEED rated buildings for Information Technology facilities in Bangalore, India. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 11, p. 2206–2212, nov. 2010.
- SANTAMOURIS, M. et al. Energy characteristics and savings potential in office buildings. **Solar Energy**, v. 52, n. 1, p. 59–66, 1994.
- SAIDUR, R. Energy consumption, energy savings, and emission analysis in Malaysian office buildings. **Energy Policy**, v. 37, n. 10, p. 4104–4113, out. 2009.
- SCOFIELD, J. H. Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 517–524, dez. 2013.
- SHARP, T. Energy Benchmarking In Commercial Office Buildings. **ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings**, v. 4, p. 321–329, 1996.
- TORCELLINI, P. et al. **DOE commercial building benchmark models**: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. **Anais...** Pacific Grove, California: NREL, 2008. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43291.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2014.
- USGBC. UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System**. Washington, DC: USGBC, 2013.
- WESTPHAL, F.; LAMBERTS, R. Regression analysis of electric energy consumption of commercial buildings in Brazil. In: BUILDING SIMULATION, 11., 2007. Beijing. **Proceedings...** Beijing: BS, 2007. p. 1543–1550.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro à pesquisa, de acordo com o Processo nº 2014/12418-2.