



## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL CONDICIONADO ARTIFICIALMENTE COM BASE EM ENERGIA PRIMÁRIA**

**Raphaela Walger da Fonseca (1); Renata De Vecchi (2); Ricardo Forgiarini Rupp (3); Adriano Fürst (4), Franco Canani (5), Letícia G. Eli (6), Roberto Lamberts (7)**

(1) Dra., Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, raphawf@gmail.com

(2) Dra., Pós-doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, redevvecchi@gmail.com

(3) Me., Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ricardorupp@gmail.com

(4) Graduando em Engenharia Civil, adrianofurst@hotmail.com

(5) Graduando em Engenharia Civil, franco.canani@gmail.com

(6) Graduanda em Engenharia Civil, leticia.eli@hotmail.com

(7) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br

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

### **RESUMO**

O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho energético de um edifício condicionado artificialmente por meio de um método baseado em energia primária. Os aspectos conceituais deste método são apresentados, bem como os cálculos para a estimativa do consumo de energia primária da edificação, analisando a envoltória (carga térmica) e sistemas. Para aplicação do método considerou-se a edificação na condição avaliada e em uma condição de referência. O estudo de caso foi realizado em um edifício de escritórios com 10 pavimentos e 5.000m<sup>2</sup> de área construída, localizado em São Paulo/SP. A edificação na condição avaliada diferenciou-se da condição de referência por utilizar sistemas de iluminação, ar-condicionado e aquecimento de água mais eficientes, materiais mais adequados ao clima e tipologia construtiva e geração local de energia. A edificação também foi avaliada pelo método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edificações Comerciais, de serviços e públicas (RTQ-C). A edificação na condição de referência obteve consumo de energia primária de 174,82 kWh/m<sup>2</sup>.ano e de 77,56 kWh/m<sup>2</sup>.ano na condição avaliada (uma economia de 55,6%), resultando no nível D e A segundo o RTQ-C, respectivamente. O estudo de caso somente considerou o uso de energia elétrica. Porém, o método proposto pode ser utilizado para diversas fontes energéticas, já que se baseia em energia primária.

Palavras-chave: eficiência energética, energia primária, RTQ-C, edificações de escritórios.

### **ABSTRACT**

The aim of this work is to evaluate the energy performance of an artificially air conditioned building through a method based in primary energy. The concepts of this method are shown, as well as the calculations for the building's primary energy consumption estimation, analysing the envelope (thermal load) and systems. For the method application it is necessary to consider the building in the assessed and in a reference condition. The case study was carried out in a 10-storey office building with 5,000m<sup>2</sup> of built area located in São Paulo/SP. The building in the assessed condition differed from the reference condition by using more efficient lighting, air-conditioning and water heating systems, materials more suitable to the climate and constructive typology, and onsite energy generation. The building was also evaluated by the prescriptive method of the Technical Regulation on the Quality Level of Energy Efficiency of Commercial, Services and Public Buildings (RTQ-C). The building in the reference condition resulted in primary energy consumption of 174.82 kWh/m<sup>2</sup>.year and 77.56 kWh/m<sup>2</sup>.year in the assessed condition (savings of 55.6%), resulting in level D and A according to RTQ-C, respectively. The case study only considers electricity use. However, the proposed method can be used for several energy sources, as it has a primary energy basis.

Keywords: energy efficiency, primary energy, RTQ-C, office buildings.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética mundial e a escassez de recursos vêm compondo a agenda de fóruns internacionais, a fim de estabelecer diretrizes e metas para a redução do consumo energético e de emissões, em busca de um cenário mais sustentável que o atual. O setor de edificações é o maior consumidor de energia e atribui-se grande parte de seus gastos à baixa qualidade das edificações, a exemplo de falhas na concepção dos projetos, construção e fase de operação (WANG; YAN; XIAO, 2012).

No Brasil, o consumo energético de edificações corresponde a 50,8% da demanda elétrica (EPE, 2016). Percentual semelhante pode ser observado no consumo das edificações nos Estados Unidos e na Europa (FONSECA, 2015). Segundo dados apresentados no relatório sobre economia de energia de edificações do IPEEC (2015), a implantação de tecnologias avançadas disponíveis e de políticas de eficiência energética poderiam reduzir o consumo anual de energia de edifícios em cerca de 53 exajoules (EJ) até 2050. Este valor equivale ao consumo combinado de energia na China, França, Alemanha, Rússia, Estados Unidos e o Reino Unido no primeiro semestre de 2012 (IPEEC, 2015). De acordo com o mesmo relatório, os países representados no Fórum das Grandes Economias sobre a Energia e o Clima poderiam reduzir coletivamente o consumo anual de energia de edificações em 37 EJ até 2050, uma redução de 30% em relação ao normal e consistente com a realização do cenário energético de 2°C da Agência Internacional de Energia. As demais economias do G20, no qual se enquadra o Brasil, poderiam acrescentar economias de 2 EJ por ano até 2050.

O relatório quadrienal de revisão de tecnologias de energia e oportunidades de pesquisa no setor do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2015) reforça o potencial de economia de energia no setor de edificações, equivalente a 20% no caso de aplicação de tecnologias eficientes já difundidas e tidas como rentáveis, e de mais de 35% se os objetivos da pesquisa forem atingidos até 2030. Já no Brasil, o Plano Nacional de Energia - PNE 2030 - estipulou como meta a redução de 10% da demanda projetada até 2030 (BRASIL, 2007; DE OLIVEIRA, et al.; 2013).

A adoção de normas que regulamentam a aplicação de medidas de conservação em edificações novas ou existentes é uma das ações que mais proporciona economia de energia por parte do setor de edificações (SCALCO et al, 2012). O portal de certificações de edifícios da IPEEC (2015), que tem por objetivo apoiar o intercâmbio de conhecimento internacional na implementação de códigos de energia de edificações, ressalta que a prática efetiva destes códigos assegura que os edifícios apresentem desempenho superior, levando à criação de melhores tecnologias e práticas de construção necessárias para efetivar o potencial de economia de energia. O mesmo grupo destaca que algumas colaborações internacionais poderiam apoiar o aprimoramento da implantação destes códigos, tais como: identificar práticas eficazes nas verificações *in loco* dos edifícios e implementar sistemas de conformidade de código simplificados, especialmente quando há pouca capacidade local, necessidade redução de custo e de tempo de avaliação.

De acordo com Iwaro and Mwashwa (2010), os países da América Latina ainda estão em fase inicial do desenvolvimento de instrumentos regulatórios para a eficiência energética de edificações. No Brasil, em resposta ao racionamento de energia ocorrido em 2001, sancionou-se a primeira Lei de Eficiência Energética em Edificações, a Lei n. 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001a). Essa lei foi regulamentada pelo Decreto n. 4.059, que estabeleceu a necessidade da criação de “[...] níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como as edificações construídas” (BRASIL, 2001b).

O Inmetro em parceria com o programa da Eletrobras, PROCEL-Edifica, apresenta como instrumento de avaliação energética para edificações comerciais o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - RTQ-C (BRASIL, 2010, 2012, 2013, 2014) e para edificações residenciais o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R (BRASIL, 2012). Ambos os regulamentos especificam requisitos para a avaliação do nível de eficiência energética, cuja categorização varia de A (mais eficiente) a E (menos eficiente).

O regulamento para edificações comerciais, de serviços e públicas, RTQ-C (BRASIL, 2010, 2012, 2013, 2014) avalia a envoltória da edificação, o sistema de iluminação artificial e de condicionamento de ar. Adicionalmente, apresenta alguns pré-requisitos para regular o uso de aquecimento de água e bonificações para reconhecer o uso de estratégias de eficiência energética e uso racional da água. O regulamento adota a ponderação da classificação dos diversos sistemas convertida em equivalentes numéricos atribuindo pesos para os diferentes sistemas para obter a classificação final da edificação. Como indicador de consumo para avaliação da envoltória utiliza um índice adimensional. Esta abordagem, apesar de possibilitar a comparação entre o desempenho de diferentes edificações, por meio da classificação de A a E, não permite que o

consumidor tenha uma ideia de grandeza relacionada ao consumo real da edificação. Esta limitação não permite quantificar a economia gerada por medidas de eficiência energética empregadas na mesma.

Assim, o principal motivador deste trabalho foi apresentar um método que utilize um indicador de desempenho que melhor auxilie o consumidor na tomada de decisão na escolha de um imóvel, bem como o projetista na tomada de decisões durante as etapas de projeto. A proposta para a avaliação de desempenho energético das edificações baseia-se no consumo de energia primária, e compara a edificação a partir de suas características reais com a mesma edificação adotando-se características de uma condição de referência com baixa eficiência energética. A adoção de energia primária para a avaliação do desempenho de edificações está em consonância com a ISO 16346 (2013), e permite a avaliação combinada do consumo de diferentes fontes de energia. Ao adotar o consumo como indicador de desempenho, e ao comparar a edificação avaliada com uma condição de referência, é possível fixar uma classificação de referência ao longo do tempo e à medida que as tecnologias evoluem, tornando as escalas de classificação mais exigentes. Esta medida permite que diferentes versões do mesmo regulamento, ou até mesmo de outros regulamentos, sejam desta forma comparadas entre si (ASHRAE, 2016; Rosenberg e Eley, 2013).

## 2. OBJETIVO

O objetivo desse artigo é avaliar o desempenho energético de uma edificação comercial condicionada artificialmente por meio de um método baseado em energia primária e comparar os seus resultados com os resultados provenientes da avaliação utilizando o método do regulamento nacional vigente.

## 3. MÉTODO

Os procedimentos metodológicos deste trabalho são apresentados em duas etapas: na primeira será abordado o conceito do método para a estimativa do desempenho energético da edificação baseado em energia primária, e, na segunda, é apresentado um estudo de caso. O estudo de caso contempla as características da edificação analisada, bem como o protocolo seguido a partir do método proposto e a comparação desta avaliação com o sistema utilizado pela etiqueta PBE Edifica, disponível no RTQ-C (BRASIL, 2010).

### 3.1. Método para avaliação de desempenho energético de edificações comerciais baseado em energia primária

O desempenho energético da edificação avaliado com base em energia primária consiste na soma dos consumos das diferentes fontes de energia atribuídos a uma edificação em comparação a uma versão desta mesma edificação considerando-se características de uma condição de referência. O desempenho da edificação é definido de acordo com o percentual de economia da edificação na sua condição real em relação à condição de referência.

As características da condição de referência foram adotadas com base em edifícios de referência (CB3E, 2016). Edifícios de referência são edifícios caracterizados pela representatividade em função do seu uso e localização geográfica, incluindo as condições climáticas interiores e exteriores e visam representar o estoque típico e médio dos edifícios (COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2012; CORGNATI et al., 2013).

O consumo em energia primária (CEP) - Equação 1 é definido a partir do consumo estimado de energia elétrica (CTE<sub>E</sub>) - Equação 2 e térmica (CTE<sub>T</sub>) - Equação 3 multiplicados por seus respectivos fatores de conversão. Os fatores de conversão da energia elétrica e térmica em energia primária estão descritos na Tabela 1.

$$CEP = \sum(CTE_E * fcE) + \sum(CTE_T * fcT)$$

Equação 1

Tabela 1 – Fatores de conversão de energia elétrica e gás em energia primária

Fonte de energia	Fator de conversão (fc)
Eletricidade	1,5
Gás Natural	1,1
GLP	1,1

$$CTE_E = CIL + CCA_E + CAQ_E + CEQ - GE_E$$

**Equação 2**

Onde:

$CTE_E$  é o consumo total de energia elétrica (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
 $CIL$  é o consumo do sistema de iluminação (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
 $CCA_E$  é o consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
 $CAQ_E$  é o consumo do sistema de aquecimento de água - energia elétrica (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
 $CEQ$  é o consumo de equipamentos/tomadas (kWh/m<sup>2</sup>.ano);  
 $GE_E$  é a geração de energia elétrica (kWh/m<sup>2</sup>.ano).

$$CTE_T = CCA_T + CAQ_T$$

**Equação 3**

Onde:

$CTE_T$  - Consumo Total de Energia Térmica (kWh/m<sup>2</sup>.ano)  
 $CCA_T$  - Consumo de energia térmica do sistema de condicionamento de ar (kWh/m<sup>2</sup>.ano)  
 $CAQ_T$  - Consumo de energia térmica do sistema de aquecimento de água (kWh/m<sup>2</sup>.ano)

O consumo do sistema de iluminação ( $CIL$ ) é resultado do produto entre os fatores: (i) potência total instalada ( $P_t$ ); e (ii) tempo de uso da edificação ( $T_{uso}$ ), conforme a Equação 4.

$$CIL = P_t * T_{uso}$$

**Equação 4**

O consumo do sistema de condicionamento de ar, seja referente a equipamentos elétricos ( $CCA_E$ ) ou com base em energia térmica ( $CCA_T$ ), é resultado do quociente entre: (i) carga térmica anual da edificação para refrigeração ( $CT_R$ ) ou aquecimento ( $CT_A$ ) em kWh/ano; e (ii) eficiência do sistema de ar-condicionado ( $COP_{médio}$ ), conforme a Equação 5. No caso do cálculo de  $CCA_E$  são contabilizados apenas os valores de  $COP_{médio}$  dos equipamentos elétricos e no caso do cálculo de  $CCA_T$  são contabilizados apenas equipamentos que usam energia térmica.

$$CCA_{E \text{ ou } T} = CT_{(R \text{ ou } A)} / COP_{médio \text{ E ou } T}$$

**Equação 5**

O consumo diário de energia sistema de aquecimento de água é calculado por meio da Equação 6. Da mesma forma que para o cálculo do consumo do sistema de sistema de condicionamento de ar, para o cálculo do consumo do sistema de aquecimento de água, deve-se calcular separadamente o consumo referente à energia elétrica ( $E_{Ae,tot}$ ) e à energia térmica ( $E_{At,tot}$ ), conforme os equipamentos e fonte de energia utilizados.

$$E_{Ae \text{ ou } At,tot} = \frac{E_A - E_{A,rec,sol} + E_{A,per,tub} + E_{A,per,rec} + E_{A,res}}{nt_{aq}}$$

**Equação 6**

Onde:

$E_{Ae,tot}$  é o consumo de energia elétrica para aquecimento de água (kWh/dia);  
 $E_{At,tot}$  é o consumo de energia térmica para aquecimento de água (kWh/dia);  
 $E_A$  é a energia consumida no atendimento da demanda de água quente (kWh/dia);  
 $E_{A,per,tub}$  é a energia consumida para suprir perdas térmicas de distribuição, se existentes na edificação real, sem contar o sistema de recirculação (kWh/dia);  
 $E_{A,per,rec}$  é a energia consumida para suprir perdas térmicas de sistemas de recirculação, se existentes na edificação real (kWh/dia);  
 $E_{A,res}$  é a energia consumida para suprir perdas térmicas devido ao armazenamento de água quente em reservatórios, se existentes na edificação real (kWh/dia); e  
 $ne_{aq}$  é o nível de eficiência do equipamento aquecedor de água (elétrico) (%).

### 3.2. Avaliação de um estudo de caso pelo método baseado em energia primária

Para a aplicação do método descrito nessa pesquisa, definiu-se uma edificação de escritórios como estudo de caso. A partir deste edifício, foram obtidas todas as características necessárias para a avaliação realizada tanto pelo método baseado em energia primária, como pelo método em que se baseia o RTQ-C (BRASIL, 2010).

A edificação de escritórios se localiza na cidade de São Paulo - SP, zona bioclimática 3; possui formato retangular (20m x 25m) com 10 pavimentos idênticos (pavimento-tipo) de 500,00m<sup>2</sup> cada, totalizando 5.000,00m<sup>2</sup>. As fachadas estão voltadas para as quatro orientações principais (norte, sul, leste e oeste), e não existe nenhum tipo de abertura zenital na cobertura. Os parâmetros determinantes da carga

térmica interna da edificação na condição avaliada, e sua respectiva condição de referência (mesma edificação com parâmetros de baixa eficiência energética) estão definidos na Tabela 2.

A partir dos parâmetros determinantes da edificação avaliada e da condição de referência apresentados na Tabela 2, definiu-se a carga térmica de resfriamento e aquecimento (kWh/m<sup>2</sup>.ano) de ambos os modelos, utilizando-se uma interface web<sup>1</sup> que executa um metamodelo baseado em redes neurais artificiais, para todas as zonas térmicas de análise da edificação. Os valores encontrados estão descritos na Tabela 3, ressaltando-se que, por não apresentar demanda para aquecimento artificial verificada na zona bioclimática 3, a carga térmica de aquecimento resultante tanto para a edificação avaliada, quanto para a condição de referência é igual a zero.

O sistema de iluminação é composto por lâmpadas fluorescentes do tipo T5, com potência total instalada de 48.500W. Considerando-se que a densidade de potência instalada da edificação avaliada é de 9,60 W/m<sup>2</sup> e condição de referência de 14,1 W/m<sup>2</sup>, definiram-se os valores de potência instalada de iluminação conforme a Tabela 4.

O sistema de condicionamento de ar opera em 100% da edificação a partir de equipamentos do tipo *split* etiquetados pelo INMETRO, com coeficiente de performance (COP) equivalente a 3,24. Todas as tubulações da edificação possuem isolamento térmico com diâmetro equivalente a 1,3cm.

Para o sistema de aquecimento de água, considerou-se que a edificação comercial possui dois vestiários (um masculino e outro feminino) que atendem 416 pessoas por dia, fornecendo 45 litros/pessoa durante os 260 dias do ano em que a mesma opera. O sistema de aquecimento de água é feito por meio de uma bomba de calor, e o circuito de distribuição de água é isolado termicamente (espessura do isolante térmico de 2,5 cm). A edificação não possui aquecimento solar, armazenamento de água quente ou sistema de recirculação de água. Definiu-se que a temperatura de uso da água quente é de 40°C, de água fria fornecida pela rede de São Paulo/SP de 20°C, e o fator de perda relativo ao comprimento da tubulação (*n*) é de 0,90. Os dados necessários para o cálculo do consumo diário de energia elétrica do sistema de aquecimento de água podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 2 – Parâmetros determinantes da carga térmica da edificação avaliada e a condição de referência (baixa eficiência energética) definidos para a tipologia de escritórios

Parâmetros	Condição avaliada	Condição de referência
Forma	Retangular	
Orientação solar (°)	N, L, S, O	
PD - Pé-direito ( piso a teto) (m)	3,00m	
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	50	50
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	0	0
Upar - Transmitância da parede externa (W/m <sup>2</sup> K)	2,46	2,46
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	0,30	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede (kJ/m <sup>2</sup> K)	150	150
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m <sup>2</sup> K)	2,06	2,06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	0,30	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m <sup>2</sup> K)	220	220
FS - Fator solar do vidro (adimensional)	0,29	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/m <sup>2</sup> K)	5,70	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	0	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	0	0
AOV - Ângulo de obstrução vertical (°) *	0	0
DPI - Densidade de Potência de Iluminação (W/m <sup>2</sup> )	9,60	14,1
Densidade de ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)	12,00	12,0
DPE - Densidade de Potência de Equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	9,70	9,7
Horas de ocupação (horas)	10	10
Situação do piso	Térreo em contato com o solo	
Situação da cobertura	Último pavimento em contato com exterior	
Isolamento do piso	Sem isolamento	
COP - Coeficiente de performance (W/W)	3,24	2,60
Temperatura Setpoint (°C)	24,0	24,0
Temperatura Setpoint (°C)	20,0	20,0

<sup>1</sup> Interface Web disponibilizada pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) em: [http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index\\_with angular.html#](http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with angular.html#). Último acesso em 16/03/2017.

Tabela 3 – Carga térmica anual interna da edificação avaliada e condição de referência

Carga Térmica	Edificação avaliada		Condição de referência		% Economia
	kWh/ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	kWh/ano	kWh/m <sup>2</sup> .ano	
Refrigeração	233.040,02	46,61	431.812,50	86,36	54%
Aquecimento	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Carga térmica total (Ref. + Aq.)</b>	<b>233.040,02</b>	<b>46,61</b>	<b>431.812,50</b>	<b>86,36</b>	

Tabela 4 – Potência total instalada de iluminação da edificação avaliada e condição de referência

	Edificação avaliada	Condição de referência
Potência instalada de iluminação do edifício (W)	48.500	70.500

Tabela 5 – Dados para a avaliação do consumo do sistema de aquecimento de água da condição avaliada e de referência

	Edificação avaliada	Condição de referência
Energia consumida no atendimento da demanda de água quente ( $E_A$ )	435,05 kWh/dia	435,05 kWh/dia
Perda térmica na tubulação do sistema de distribuição de água quente ( $E_{A,per.tub}$ )	48,34 kWh/dia	48,34 kWh/dia
Nível de eficiência do equipamento aquecedor de água (elétrico) [%] ( $ne_{aq}$ )	3,00	0,98

A edificação possui um sistema de geração de energia formado por 306 placas fotovoltaicas dispostas em toda a área de cobertura (500,00m<sup>2</sup>). As dimensões dos painéis são de 165x99cm, a orientação solar de 0° e a área unitária de 1,63m<sup>2</sup>. O valor de irradiação adotado é de 4,7 kWh/m<sup>2</sup>/dia, e, portanto, a geração estimada pelo sistema é de 102,19 mWh/ano, ou, 20,44 kWh/ano.m<sup>2</sup>.

Para este estudo de caso, somente foram considerados sistemas consumidores de energia elétrica, logo o consumo de energia térmica não foi contabilizado. A partir do método baseado em energia primária, a eficiência energética da edificação descrita foi avaliada por meio do seu desempenho quanto ao consumo estimado de energia elétrica (CTE<sub>E</sub>, Equação 2), resultantes dos principais sistemas individuais somados: envoltória (que impacta essencialmente no consumo de energia elétrica do sistema de condicionamento de ar), sistema de iluminação, sistema de condicionamento de ar, sistema de aquecimento de água e equipamentos. Além destes sistemas, avaliou-se ainda o potencial de geração local de energia renovável, que, ao final do processo, foi descontado do consumo total de energia elétrica na condição de avaliação da edificação, conforme a Equação 2.

### 3.2.2. Avaliação do estudo de caso pelo método do RTQ-C

A avaliação da edificação de escritórios na condição avaliada e de referência também foi realizada utilizando-se da ferramenta online WebPrescritivo (LabEEE, 2017). Isto foi realizado com o intuito de comparar os resultados entre o método baseado na energia primária e o método prescritivo do RTQ-C vigente (BRASIL, 2010, 2012, 2013, 2014). O WebPrescritivo é um serviço web para a avaliação de eficiência energética que simula a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) pelo método prescritivo para edifícios comerciais, de serviços e públicos. A ferramenta permite a obtenção das etiquetas parciais de envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar, bem como a etiqueta final, considerando bonificações (uso racional de água, uso de fontes renováveis de energia para aquecimento de água e geração de energia, cogeração e inovações técnicas ou de sistemas e, uso de elevadores eficientes). O WebPrescritivo também permite a avaliação dos pré-requisitos gerais e específicos do RTQ-C.

As propriedades térmicas dos materiais construtivos e o COP do sistema de ar-condicionado foram adotadas conforme Tabela 2. A potência total instalada de iluminação é dada pela Tabela 4. Além da área total construída, para aplicação do RTQ-C foi necessário calcular a área de projeção da cobertura, a área de projeção do edifício, o volume total da edificação, a área da envoltória, a área útil e a área útil condicionada artificialmente, conforme definições do próprio RTQ-C.

## 4. RESULTADOS

Os resultados da avaliação do estudo de caso pelo método baseado na energia primária e pelo método prescritivo do RTQ-C são apresentados neste capítulo.

### 4.1. Avaliação pelo método baseado em energia primária

Neste método a avaliação da eficiência energética da edificação é feita a partir da comparação entre o consumo de energia primária da edificação avaliada e a condição de referência, analisando-se o percentual de economia gerado de uma condição para a outra (condição avaliada vs. referência). A determinação do consumo de energia primária da edificação avaliada e sua respectiva condição de referência deve ser feita considerando-se os principais sistemas individuais somados: sistema de iluminação, condicionamento de ar, água quente e equipamentos.

Desta forma, o consumo do sistema de iluminação foi determinado a partir dos dados encontrados na Tabela 2 em conjunto com a Equação 4. Os resultados para este sistema estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo total de iluminação da edificação avaliada e condição de referência

	Condição avaliada	Condição de referência
Horas de Ocupação da edificação	12 horas	
Média de dias úteis por ano em edificações comerciais	260 dias	
Consumo Total Iluminação (kWh/ano)	124.800,00	183.300,00
Consumo Total Iluminação (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	24,96	36,66

O consumo do sistema de condicionamento de ar foi determinado a partir dos dados encontrados na Tabela 2 em conjunto com a Equação 5. Os resultados encontrados para este sistema estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo total do sistema de condicionamento de ar da edificação avaliada e condição de referência

	Condição avaliada	Condição de referência
COP (W/W)	3,24	2,60
COP <sub>médio</sub> (W/W)	3,43	2,76
Carga Térmica de Resfriamento (kWh/ano)	233.040,02	431.812,50
Consumo Total Condicionamento de Ar (kWh/ano)	67.941,70	156.453,80
Consumo Total Condicionamento de Ar (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	13,59	31,29

O consumo do sistema de aquecimento de água foi determinado a partir dos dados encontrados na Tabela 5 em conjunto com a Equação 6. Os resultados encontrados para este sistema estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 – Consumo total do sistema de água quente da edificação avaliada e condição de referência

	Condição avaliada	Condição de referência
Consumo diário de energia elétrica para aquecimento de água (kWh/dia)	161,13	443,93
Consumo anual de energia elétrica para aquecimento de água (kWh/ano)	41.893,80	115.421,80
Consumo anual de energia elétrica para aquecimento de água (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	8,38	23,08

O consumo dos equipamentos foi determinado a partir dos dados encontrados na Tabela 2 em relação à metragem quadrada da edificação (5.000m<sup>2</sup>), aos 260 dias em média de operação de uma edificação comercial e às 10h de ocupação. Os resultados encontrados para este sistema estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Consumo total proveniente dos equipamentos da edificação avaliada e condição de referência

	Condição avaliada	Condição de referência
Densidade de Potência - equipamentos (W/m <sup>2</sup> )	9,7	
Potência Instalada do Edifício - Equipamentos (W)	48.500,00	
Consumo Total Equipamentos (kWh/ano)	126.100,00	
Consumo Total Equipamentos (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	25,22	

A partir dos consumos finais do sistema de iluminação, condicionamento de ar, aquecimento de água e equipamentos, descontado o valor da geração de energia elétrica na condição de avaliação (por se tratar de uma condição de baixa eficiência energética, não se considerou nenhuma fonte de geração de energia elétrica na condição de referência) e aplicados na Equação 2, determinou-se o consumo final de energia elétrica da edificação avaliada (Tabela 10). Em seguida, os valores foram transformados em consumo de energia primária com base na Equação 1, tais resultados podem ser observados na Tabela 10. Comparando-se a edificação com características de baixa eficiência energética à edificação avaliada, chegou-se a um percentual de economia de aproximadamente 56%.

Tabela 10 – Consumo total do sistema de água quente da edificação avaliada e condição de referência

	Condição avaliada	Condição de referência
Consumo total de energia elétrica (kWh/ano)	258.550,00	582.750,00
Consumo total de energia elétrica (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	51,71	116,55
Consumo de energia primária (kWh/ano)	387.825,00	874.125,00
Consumo de energia primária (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	77,56	174,82
<b>Percentual de economia (condição avaliada vs. referência)</b>	<b>55,6%</b>	

#### 4.2. Avaliação pelo método do RTQ-C

Para a aplicação do método prescritivo do RTQ-C considerou-se que a edificação possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final, portanto, cumprindo com o pré-requisito geral de circuitos elétricos, podendo atingir os níveis A e B.

A parcela de água quente representa 16,2% do consumo de energia da edificação na condição avaliada e 19,8% na condição de referência, assim, sendo maior que 10% e tendo de cumprir com os pré-requisitos de aquecimento de água do RTQ-C. A edificação na condição avaliada cumpre com os pré-requisitos para o nível A (bomba de calor), enquanto na condição de referência, a edificação cumpre somente com os requisitos para nível C (resistência elétrica).

A edificação na condição avaliada possui sistema fotovoltaico, o qual proporciona uma economia de 13% no consumo anual de energia elétrica do edifício. Assim, pode-se somar um ponto na pontuação final do edifício, devido a esta bonificação.

Os resultados obtidos no WebPrescritivo para a edificação na condição avaliada e de referência podem ser visualizados na Tabela 11. Na Tabela 11 foram realizados os cálculos da envoltória considerando os pré-requisitos específicos e não os considerando. Quando a envoltória foi avaliada considerando os pré-requisitos específicos, ambas condições conduziram ao nível E. Isto foi devido a que a transmitância da cobertura da edificação é de 2,06 W/m<sup>2</sup>K, abaixo do pré-requisito para nível C do RTQ-C que é de 2,00 W/m<sup>2</sup>K. Dessa maneira, se o pré-requisito não for considerado, a avaliação da envoltória resultou em classe C e D, para a condição avaliada e de referência, respectivamente. Os demais sistemas resultaram em classe A para a condição avaliada e classe D para a condição de referência. A classificação final resultou no classe A para a edificação na condição avaliada e no classe D para a condição de referência. Caso, na condição avaliada não fosse considerado o ponto de bonificação, a edificação receberia a classificação final no nível B.



Tabela 11 – Resultados da avaliação da edificação pelo método prescritivo do RTQ-C

RTQ-C		Edificação	
		Condição avaliada	Condição de referência
Pré-requisito geral	Circuitos elétricos	Apto classe A e B	Apto classe A e B
	Aquecimento de água	Apto classe A	Apto classe C
Envoltória	Considerando pré-requisitos	E	E
	Não considerando pré-requisitos	C	D
Sistema de iluminação		A	D
Sistema de condicionamento de ar		A	D
Bonificações		1 ponto	0 pontos
Classificação final		A	D

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um método de avaliação do desempenho energético de edificações baseado em energia primária. Para descrição do método foi apresentado um estudo de caso, abordando um edifício comercial de escritórios totalmente condicionado. Paralelamente, o edifício foi avaliado pelo método do PBE Edifica, disponível no RTQ-C (BRASIL, 2010, 2012, 2013, 2014). Por meio desta avaliação foi possível classificar a edificação e visualizar qual seria o seu desempenho em um instrumento regulatório de eficiência energética existente.

Com base nos resultados, pode-se verificar que a diferença entre os consumos obtidos para a condição avaliada e a condição de referência, 55,6%, refletiria no método do RTQ-C numa alteração de três classes de eficiência (D para A). A avaliação do método do RTQ-C permite que edificações tenham a sua classe de eficiência energética alterada conforme o cumprimento ou não de determinados pré-requisitos e da utilização de bonificações. Entretanto, estes elementos não refletem para o consumidor o impacto real destas medidas no consumo energético da edificação.

O não cumprimento do pré-requisito da envoltória de transmitância da cobertura resultou em uma alteração de duas classes, E para C, para a condição avaliada e de uma classe, E para D, para a condição de referência. Ou seja, a condição avaliada e a de referência, podem ter a mesma classe de eficiência, E, caso o não atendimento ao pré-requisito seja considerado; ou uma classe, D e E respectivamente, se for desconsiderado. Pela avaliação do método baseado em energia primária, a avaliação da envoltória se dá com base na avaliação da carga térmica gerada pela mesma, que é dividida pelo coeficiente de performance do equipamento de ar-condicionado para ser transformada em consumo. Esta relação permite, além da avaliação do desempenho da envoltória para edificações condicionadas, relacionar este desempenho com a qualidade do equipamento de ar-condicionado instalado. A diferença do desempenho das envoltórias da condição avaliada e da condição de referência pelo método proposto foi de 54%. Este tipo de informação é mais útil tanto para o projetista, quanto para o consumidor entender o desempenho da edificação.

Da mesma forma, ao alterar a classe de eficiência por bonificações, o impacto real no consumo da edificação não pode ser observado. A condição avaliada, por exemplo, que obteve classificação final A, seria classe B, caso não possuísse as bonificações. As bonificações podem ser obtidas de diversas maneiras o que dificulta até mesmo a comparação do impacto energético de diferentes alternativas para a obtenção das bonificações. Por meio do método baseado em energia primária, a informação quanto à redução do consumo de energia da rede em função da produção de energia renovável local é explícita ao consumidor, 20,44 kWh/ano.m<sup>2</sup>, ou seja, 31%.

A comparação entre a condição avaliada com uma condição de referência para todos os sistemas da edificação permite que a edificação seja avaliada em comparação a uma versão de baixo desempenho dela mesma, o que reflete de forma mais aproximada da realidade os benefícios obtidos por meio de adoção de estratégias de eficiência energética.

Por fim, a opção por utilizar o consumo de energia primária como indicador de eficiência permite que tanto a energia elétrica, quando a térmica, oriundas de diversas fontes sejam contabilizadas (ex.: edificações que utilizam energia elétrica, gás e solar). Além disso, o método permite que políticas públicas energéticas

que visem estimular ou não o uso de determinados tipos de energia o façam por meio do ajuste dos fatores de conversão de energia elétrica e energia térmica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAE (2016). **ASHRAE 90.1**: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning engineers. Atlanta, GA, EUA.
- BRASIL. Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispões sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Brasil. Lei n. 10.295. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. 2001b. BRASIL. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia, e dá outras providências. Brasil. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. 2001a
- \_\_\_\_\_. Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei n. 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação de Energia, e dá outras providências. Brasil. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. 2001b.
- \_\_\_\_\_. **Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria no 372, de 17 de setembro de 2010. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.
- \_\_\_\_\_. **Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria Complementar no 17, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).
- \_\_\_\_\_. **Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria Complementar no 299, de 19 de junho de 2013. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).
- \_\_\_\_\_. **Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria Complementar no 126, de 18 de março de 2014. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C).
- \_\_\_\_\_. **Ministério do desenvolvimento, indústria e comércio exterior**. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Portaria no 18, de 16 de janeiro de 2012. Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R).
- \_\_\_\_\_. **Ministério de Minas e Energia** - MME. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. Plano Nacional de Energia 2030 – PNE 2030. 2007.
- CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética. **Relatório parcial de índices mínimos de eficiência - edificações comerciais**. Relatório interno: RI\_CB3E-58/2016. Convênio ECV DTP 001/2012 Eletrobrás/UFSC. Set de 2016. 64 p. 2016.
- CORGNATI, S. P.; FABRIZIO, E.; FILIPPI, M.; MONETTI, V. (2013). Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. **Applied energy**. 2013, 102, 983–993.
- COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2012). **Supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements**. Disponível em: <<http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&f=ST%205441%202012%20INIT>>. Acessado em abril, 2016.c e ago. 2014.
- DE OLIVEIRA, L. S.; SHAYANI, R. A.; DE OLIVEIRA, M. A. G. Proposed business plan for energy efficiency in Brazil. **Energy Policy**. 2013; v. 61, p. 523-531.
- DOE. United States Department of Energy. **Quadrennial technology review an assessment of energy technologies and research opportunities. Chapter 5: Increasing Efficiency of Building Systems and Technologies**. Setembro de 2015. 181 p., Disponível em: <<https://energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/QTR2015-05-Buildings.pdf>>. Acessado em set 2015.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016**. Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia. Brasília: ano base 2015. 2016, p.296.
- FONSECA, R. W. Iluminação natural e consumo energético de edificações não residenciais: as possibilidades e as limitações da aplicação de redes neurais artificiais. (tese de doutorado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. 350 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2013). **ISO 16346**: Energy performance of buildings — Assessment of overall energy performance.
- IPEEC Building Energy Efficiency Task group. **Delivering Energy Savings in Buildings. International Collaboration on Building Energy Code Implementation**. 2015. 44 p. Disponível em: <[http://www.gbpn.org/sites/default/files/1448013016IPEEC\\_BEET3\\_Final\\_Report.pdf](http://www.gbpn.org/sites/default/files/1448013016IPEEC_BEET3_Final_Report.pdf)>. Acessado em set 2015.
- IWARO, J.; MWASHA, A. A review of building energy regulation and policy for energy conservation in developing countries, **Energy Policy** n. 38, v.12, p. 7744–7755. 2010.
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. Universidade Federal de Santa Catarina. **Webprescritivo**. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 21 fev. 2017.
- ROSENBERG, M.; ELEY, C. A stable whole building performance method for Standard 90.1, **ASHRAE Journal**, Maio de 2013, p. 33–45. 2013.
- SCALCO, V. A.; FOSSATI, M.; VERSAGE, R. S; SORGATO, M. J.; LAMBERTS, R.; MORISHITA, C. (2012). Innovations in the Brazilian Regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architecture Science Review**. 2012, 55, 71–81.
- WANG, S.; YAN, C.; XIAO, F. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**, v. 55, p. 873–888, 2012.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eletrobras pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.