XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DE MEDIDAS APLICÁVEIS À EDIFICAÇÃO PÚBLICA ESCOLAR PARA OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO A NA ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Evelyn Moraes Hosken de Sá (1); Raquel Diniz Oliveira (2)
(1) Engenheira de Produção Civil, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, evelynhosken@gmail.com
(2) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, raqueldiniz@cefetmg.br, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Avenida Amazonas, nº 7675, Prédio 12, Gabinete 221, Gameleira, Belo Horizonte – MG, 30510000, Tel.: (31) 33196810

RESUMO
As edificações institucionais, em sua maioria, são grandes consumidores de energia elétrica, principalmente devido aos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. Visando promover a eficiência energética nas edificações, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) criou, em 2003, o PBE Edifica para certificação dos edifícios brasileiros. Este trabalho objetiva avaliar o potencial de alcance da classificação A para Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), em edificação pública escolar existente. Para tanto, aplicou-se o método prescritivo estabelecido no Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C (INMETRO, 2013) visando diagnosticar a classificação obtida pelo prédio 12 do CEFETMG, localizado em Belo Horizonte-MG, objeto deste estudo de caso e, posteriormente, verificou-se o fundamento em propor modificações para alcance da classificação A. A análise dos três sistemas do edifício: envoltória, iluminação e condicionamento de ar apontou que para a edificação atingir a classificação A pelo RTQ-C, são necessárias melhorias em todos os itens considerados. Os resultados indicaram necessidade diminuição na absortância solar da parede e cobertura, substituição das telhas para atender ao pré-requisito de transmitância térmica da cobertura nos ambientes condicionados, reordenação dos condutores elétricos para permitir o acionamento independente das luminárias próximas às janelas, troca dos aparelhos de ar condicionado e isolamento das tubulações dos condicionadores de ar para que a edificação em estudo alcance a classificação A. O trabalho apresentou contribuição prática ao identificar uma solução para um problema real, e acadêmica ao servir de base para estudos semelhantes.
Palavras-chave: RTQ-C, edificação escolar pública, eficiência energética.

ABSTRACT
Public service buildings are large electricity consumers mainly due to its lighting and air conditioning systems. The Brazilian Labeling Program (PBE) created, in 2003, the PBE Edifica to promote building energy efficiency and its labeling. The aim of this work was to evaluate the building 12 (CEFET-MG) potential of reaching grade A, located in Belo Horizonte (Brazil), for National Energy Conservation Label (ENCE). For this purpose, the prescriptive method established in the RTQ-C (INMETRO, 2013) was applied to rank the classification results of case study and propose building improvements, if applies, due to reach the A Class. The analysis of the three building systems: envelope, lighting and air conditioning pointed out that for the building to reach the A classification by RTQ-C, improvements are required on all items. The results showed lighter building envelope need as well as, electrical systems reorder, air conditioner pipes insulation, replacement of tiles types and air conditioners devices. This study presented a practical and academic contribution once provided a real problem solution and ground similar researches.
Keywords: RTQ-C, public school building, energy efficiency

1. INTRODUÇÃO

Omer (2008) destaca que os edifícios são grandes consumidores de energia, sendo responsáveis por aproximadamente 40% do consumo global de energia no mundo. Essa energia é consumida principalmente pelos sistemas de iluminação artificial, aquecimento e/ou resfriamento do edifício. Carlo (2008) afirma que o consumo de energia de um edifício está relacionado com variáveis que consomem diretamente eletricidade, tais como os sistemas de iluminação e ar condicionados, além das variáveis que interferem nesses sistemas, como a envoltória da edificação e a forma de uso pelos ocupantes. O calor ganho pela envoltória, associado ao calor gerado pelo sistema de iluminação e pela ocupação, muitas vezes é compensado pelo sistema de ar condicionado.

No Brasil, a questão da eficiência energética começou a ser discutida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) em 1984, visando contribuir para a racionalização do consumo de energia no setor automotivo. O projeto evoluiu para o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO, e expandiu a sua atuação aos produtos consumidores de energia elétrica. Com a aprovação da Lei º 10.295, de 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética, o PBE passou a fazer exigências de desempenho para os produtos por meio de índices mínimos de eficiência estabelecidos. A Eletrobrás se tornou parceira do PBE, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) e, em 2003, foi criado um subprograma, o Procel Edifica, visando à aplicação de eficiência energética nas edificações (ELETROBRAS, 2013).

A partir disso, em 2009 foi publicado o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) para avaliação do consumo de energia elétrica de edificações comerciais, de serviços ou públicas. Por meio da aplicação do seu método de cálculo obtém-se a eficiência do edifício sintetizada na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE (INMETRO, 2013). É importante destacar que desde 2014 uma instrução normativa do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) prescreve que as edificações públicas, de âmbito nacional, novas ou pós-*retrofit* devem atingir a classificação A (BRASIL, 2014).

O RTQ-C apresenta os procedimentos para o alcance de cinco níveis de eficiência dos edifícios: A, B, C, D, E, sendo A o mais eficiente e E o menos eficiente. Para isso são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. A avaliação da envoltória é feita utilizando a equação do Índice de Consumo da Envoltória (ICenv) e calculando os limites mínimos e máximos de cada nível. Os pré-requisitos específicos aplicáveis à envoltória são a transmitância térmica da cobertura e paredes externas, absortâncias à radiação solar de superfícies e iluminação zenital. A avaliação do sistema de iluminação pode ser feita utilizando dois métodos: o método da área do edifício (avalia o sistema de iluminação de modo geral) ou método das atividades do edifício (avalia individualmente cada ambiente). Os pré-requisitos específicos do sistema de iluminação são a divisão dos circuitos de iluminação, contribuição de luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação. O sistema de condicionamento de ar é avaliado de modo distinto caso seja regulamentado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO (condicionadores de ar do tipo janela ou *Split*) ou não. Os seus pré-requisitos são o isolamento térmico para tubulações e, caso o edifício possua sistema de aquecimento artificial deve atender a limites mínimos de eficiência energética para cada sistema. (INMETRO, 2013).

Diversos estudos têm sido feitos para analisar o nível de eficiência energética de instituições escolares públicas. Pereira *et al.* (2018) analisaram a envoltória do Bloco 5 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense (IFSul) – Campus Passo Fundo/RS por meio do método prescritivo do RTQ-C. Os autores verificaram que a edificação atendeu ao pré-requisito de absortância para o nível A, porém não atendeu ao pré-requisito de transmitância térmica de paredes (nível B) e cobertura (nível E). A análise da envoltória apresentou classificação B, ainda que os pré-requisitos fossem atendidos. Para alcançar o nível A seria necessário usar materiais isolantes, alterar a forma do edifício e acrescentar brises. Os resultados corroboram as expectativas dos autores de um nível pouco eficiente, pois a edificação foi construída em 2011, anterior a instrução normativa de 2014 e, por isso, as premissas do projeto não foram planejadas para atingir o nível A.

Campos *et al.* (2012) avaliaram a envoltória de uma edificação pública em Cuiabá-MT, pelo método prescritivo do RTQ-C. O único pré-requisito que não alcançou nível A foi a transmitância térmica da cobertura (nível B), sendo indicado a aplicação de algum tipo de isolamento térmico na cobertura. A análise da envoltória sem os pré-requisitos também apresentou classificação B. Ferreira *et al.* (2016) aplicaram o método prescritivo do RTQ-C no prédio do laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do

Pará. A envoltória foi classificada como nível C, pois não atendeu aos pré-requisitos de absortância para parede e cobertura. O sistema de iluminação foi classificado como B, pois não atendeu ao pré-requisito de desligamento automático para áreas maiores de 250 m². O sistema de condicionamento de ar foi classificado como nível C. As melhorias propostas foram trocar as telhas de fibrocimento por telhas de cerâmica, pintar as paredes com cores mais claras, fazer o desligamento automático do sistema de iluminação para as salas que forem maiores que 250 m² e substituir todos os equipamentos de ar condicionado por equipamentos etiquetados com nível A. Neste contexto, verifica-se a importância em se analisar o acervo público edificado que apresenta potencial para melhoria do seu desempenho térmico e eficiência energética frente as exigências do RTQ-C.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o potencial de alcance da classificação A na ENCE para uma edificação pública escolar existente.

3. MÉTODO

O presente trabalho consiste em uma pesquisa aplicada, destinada à investigação da eficiência energética de edifício escolar de uso público. Selecionou-se como estudo de caso o Prédio 12 do CEFET MG, Campus II, localizado em Belo Horizonte - MG. O método deste trabalho perpassou por três etapas principais:

1. Caracterização do edifício (aspectos gerais, sistemas de iluminação e condicionamento de ar).
2. Verificação da classificação da eficiência do edifício pelo método prescritivo estabelecido no RTQ-C (2013).
3. Identificação de pontos a serem aprimorados bem como possíveis estratégias para a obtenção da classe A na ENCE parcial do edifício.

3.1. Caracterização do edifício

A edificação estudada está localizada na Zona Bioclimática 3 (ZB 3), definida de acordo com a NBR 15.220-3 (2005) para a cidade de Belo Horizonte - MG. Possui dois pavimentos e seus ambientes são compostos por salas de aula, laboratórios, auditório, banheiros e abriga as coordenações dos cursos, gabinetes e sala dos professores. Sua planta baixa pode ser vista nas Figuras 1 e 2. É importante pontuar que os projetos arquitetônicos (legal e executivo) foram fornecidos pela Divisão de Projetos do CEFET-MG e as autoras levantaram as diferenças entre o projeto e o edifício construído, realizando as atualizações necessárias.

O Prédio 12 possui a fachada frontal orientada para o Norte, a fachada posterior para o Sul, a fachada lateral esquerda para Oeste e a fachada lateral direita para o Leste. O edifício possui aberturas em todas as fachadas sendo que na fachada frontal (ou norte) todas as janelas possuem dispositivos de proteção solar (brises horizontais fixos). Na fachada lateral esquerda (ou oeste) verifica-se uma varanda coberta nos dois andares. A fachada posterior (ou sul) é semienterrada e possui uma rampa de acesso para o segundo andar. As fachadas do Prédio 12 podem ser observadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

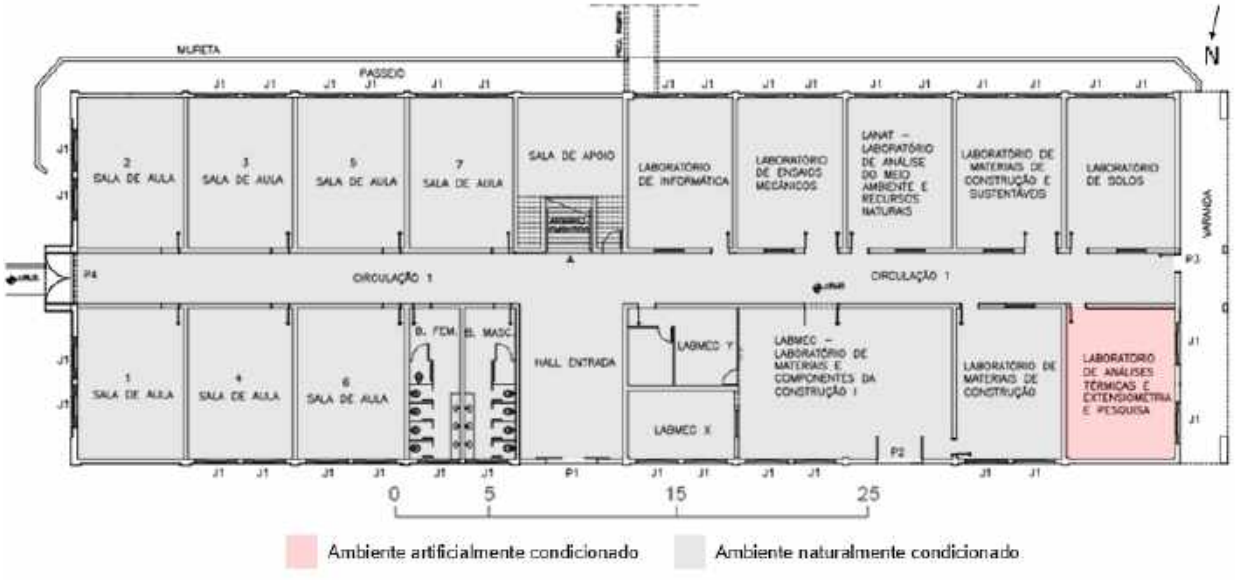

Figura 1 – Planta baixa do Prédio 12 – 1° Pavimento

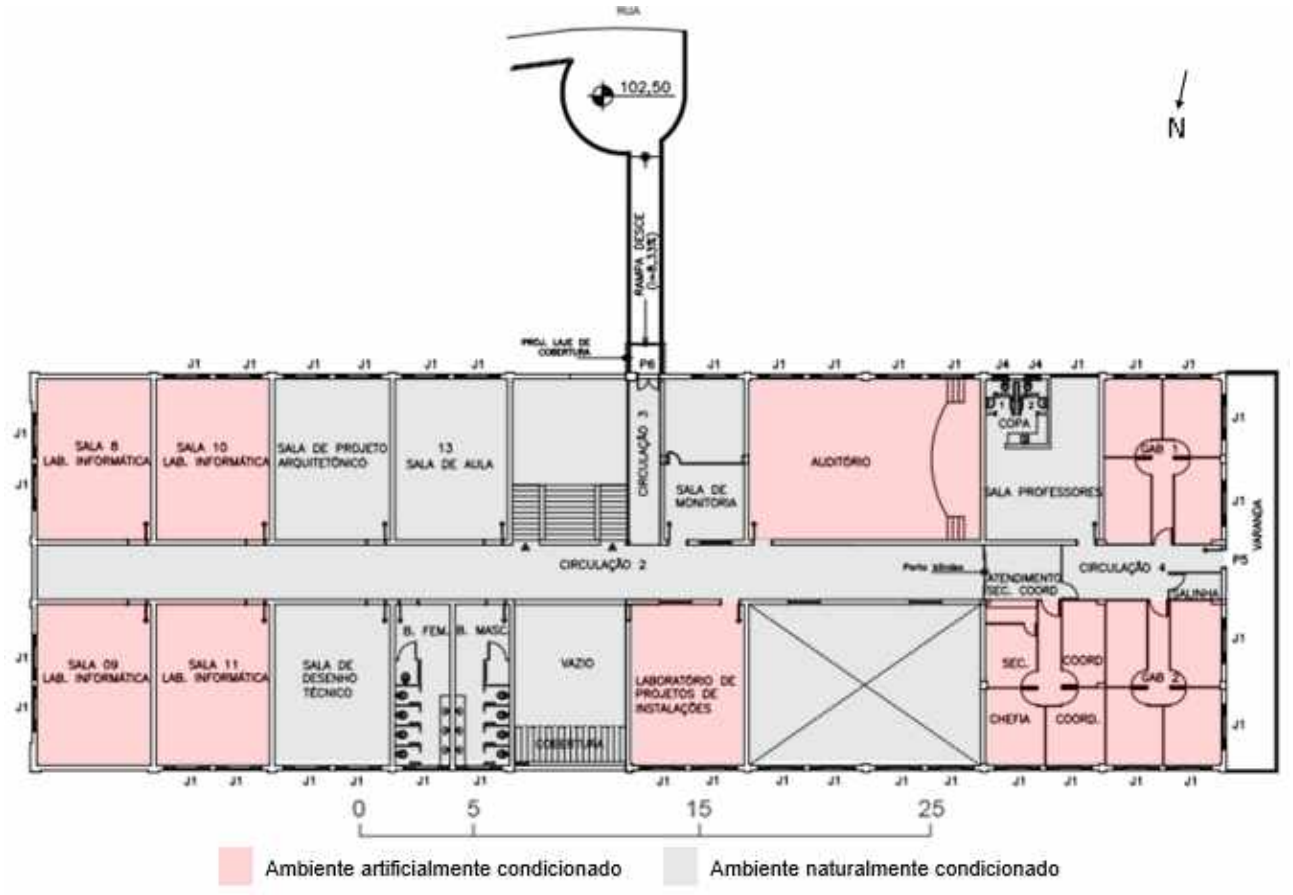

Figura 2 – Planta baixa do Prédio 12 – 2° Pavimento

3.1.1. Caracterização da envoltória

O Prédio 12 possui dois tipos de fechamento horizontal (cobertura), sendo diferenciados apenas pela presença ou não de camada de forro de gesso. A cobertura tipo 1 possui telha metálica (6,5mm), câmara de ar (>5cm), laje maciça de concreto (8cm), câmara de ar (>5cm) e forro de gesso (2cm). A cobertura tipo 2 possui apenas telha metálica (6,5mm), câmara de ar (>5cm), laje maciça de concreto (8cm). As paredes externas compõem-se de alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de 30x20x10 cm e 2 cm de argamassa interna e externa. A parede externa possui pintura na cor amarelo ocre com textura grafiato e a estrutura na cor vermelho Goya e as telhas metálicas encontram-se em grande maioria enferrujadas, como pode ser visto na Figura 7. No *hall* de acesso e escadaria, o edifício possui iluminação zenital com telha translúcida de policarbonato, como pode ser visto na Figura 8.



Figura 3 – Fachada frontal.



Figura 4 – Fachada posterior.



Figura 5 – Fachada lateral esquerda.



Figura 6 – Fachada lateral direita.



Figura 7 – Cobertura.



Figura 8 – Abertura Zenital.

3.1.2. Caracterização do sistema de iluminação e condicionamento de ar

Foi realizado levantamento dos aparelhos de ar condicionado e das lâmpadas instaladas no Prédio 12 uma vez que não foi fornecido o projeto elétrico e/ou luminotécnico do edifício. Durante essa etapa foram feitas visitas em campo para levantar as informações do edifício construído durante os meses março a outubro de 2017 e abril de 2018.

O Prédio 12 possui lâmpadas LED de 18W em todos os ambientes, com exceção do LABMEC, que possui 6 lâmpadas de vapor de sódio de 150W.

Os ambientes do deste prédio são, em sua maioria, naturalmente condicionados. Apenas 10 ambientes possuem sistema de condicionamento de ar, conforme apresentado nas Figuras 1 e 2. São eles: Gabinete 1, Gabinete 2, Coordenação / Secretaria, Auditório, Laboratório de Análises Térmicas e Extensiometria e Pesquisa, Laboratório de Projetos de Instalações e salas 8, 9, 10 e 11. Os condicionadores de ar possuem modelos e marcas variados e estão apresentados na Tabela 5, do item 4.3.

3.2. Verificação da classificação da eficiência do edifício pelo método prescritivo estabelecido no RTQ-C

O próximo passo foi a aplicação do método prescritivo do RTQ-C, conforme a seguinte ordem: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar.

3.2.1. Classificação da envoltória

Para a classificação da envoltória foram avaliadas as fachadas e a cobertura, considerando as propriedades físicas dos materiais empregados, as aberturas e elementos de sombreamento. A transmitância térmica das paredes e cobertura (Upar e Ucob) foi calculada conforme equação estabelecida na NBR15.220-2 (2005). A medição da absortância solar das superfícies externas da envoltória foi feita, *in loco*, com o espectrofotômetro de Refletância Alta II, da marca Vernier em 09 de maio de 2016, conforme método descrito por Sagoi, Ramos e Lamberts (2010). Os parâmetros fator forma (FF), fator altura (FA), percentual de abertura das fachadas (PAFt) e os ângulos de sombreamento horizontal (AHS) e vertical (AVS) foram obtidos pela análise do projeto com auxílio do *software* Autodesk AutoCAD 2015 (versão para estudantes).

Esses parâmetros foram inseridos na Equação 1 proposta pelo regulamento para edifícios com Área de Projeção da Edificação Ape> 500 m² e localizados na ZB 3 e retornaram o Índice de Consumo da Envoltória (ICenv). Após a verificação de atendimento aos pré-requisitos foi possível obter a nota de classificação da envoltória.

$$ICenv = -14{,}14.FA - 113{,}94.FF + 50{,}82.PAFt + 4{,}86.FS - 0{,}32.AVS + 0{,}26.AHS - \frac{35{,}75}{FF} - 0{,}54.PAFt.AHS + 277{,}98 \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
ICenv é o Índice de Consumo da Envoltória;
FA é o fator altura;
FF é o fator forma;
PAFt é o percentual de abertura das fachadas [%];
FS é o fator solar;
AVS é o ângulo vertical de sombreamento [°];
AHS é o ângulo horizontal de sombreamento [°];

3.2.2. Classificação do sistema de iluminação

O sistema de iluminação artificial do Prédio 12 foi avaliado pelo método das atividades do edifício. Para avaliar por esse método foram identificadas as atividades desempenhadas no edifício e suas respectivas áreas. Além disso, a densidade de potência de iluminação limite (DPIL) foi determinada de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2013).

A potência limite para cada nível de eficiência foi obtida com a multiplicação da área iluminada de cada atividade pela DPLI de cada nível e atividade, seguida de soma das potências limites das atividades. Para obter a classificação do sistema, foi realizada uma comparação da potência instalada do edifício (determinada mediante o levantamento das lâmpadas de cada ambiente) com a potência limite calculada para cada nível de eficiência.

Além disso, foram verificados o atendimento aos pré-requisitos divisão dos circuitos de iluminação, contribuição de luz natural e desligamento automático do sistema de iluminação.

3.2.3. Classificação do sistema de condicionamento de ar

Para o sistema de condicionamento de ar foram consultados os níveis de eficiência fornecidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2017b) para cada aparelho instalado e os equivalentes numéricos foram ponderados pelas potências para obter o equivalente numérico final do sistema de condicionamento de ar do edifício. Também foi verificado o atendimento aos pré-requisitos para determinar a nota de classificação do sistema de condicionamento de ar. Todos os cálculos dos sistemas avaliados foram feitos utilizando o *software* Microsoft Excel.

3.3. Identificação de pontos a serem aprimorados bem como possíveis estratégias para a obtenção da classe A na ENCE.

As classificações obtidas foram analisadas de modo a identificar possíveis estratégias para obtenção da classificação A na ENCE.

4. RESULTADOS

Os resultados da avaliação da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de ar condicionado pelo método prescritivo do RTQ-C (INMETRO, 2013) estão descritos abaixo. Ao final, foram apresentadas as estratégias para obtenção da classificação A.

4.1. Avaliação da envoltória

Para o Prédio 12 o ICenv foi de 118,14 e a sua classificação foi A, visto que esse valor está abaixo do limite máximo da classificação A descrita na Tabela 1, elaborada de acordo com o RTQ-C (INMETRO, 2013). Os resultados das variáveis da equação do ICenv estão descritos na Tabela 2.

Tabela 1 – Intervalos de classificação do ICenv do Prédio 12.

Eficiência	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**
LimMín	-	134,42	141,09	147,76	154,43
LimMáx	134,41	141,08	147,75	154,42	-

Tabela 2 – Classificação da envoltória.

Parâmetro	**Sigla**	**Resultado**	**Classificação**
Área total construída	Atot (m²)	2258,36	A
Área da envoltória	Aenv (m²)	2683,08	
Área de projeção da cobertura	Apcob (m²)	1224,17	
Ângulo Vertical de Sombreamento	AVS	42,41	
Ângulo Horizontal de Sombreamento	AHS	0	
Fator Forma	FF	0,32	
Fator Altura	FA	0,54	
Fator Solar	FS	0,84	
Percentual de abertura na fachada total	PAFt	0,14	
Percentual de abertura na fachada oeste	PAFo	0,13	
Volume total da edificação	Vtot (m³)	8514,14	
Índice de consumo da Envoltória	**Icenv**	**118,41**	

No que tange aos pré-requisitos, a transmitância térmica da parede foi 1,94 W/m²K, da cobertura tipo 1 (com gesso) foi 1,36 W/m²K e a da cobertura tipo 2 (sem gesso) foi 2,15 W/m²K. Para a cobertura realizou-se uma ponderação por área com cada tipo de cobertura e condicionamento, deste modo o resultado da transmitância térmica da cobertura para os ambientes condicionados foi 1,60 W/m²K e para ambientes não condicionados foi 1,52 W/m²K. A absortância à radiação solar da parede foi 0,76 e a da cobertura foi 0,96. O percentual de abertura zenital (PAZ) foi 1,6% e o Fator Solar (FS) foi 0,82 (POLICARB, [200-]).

Portanto, a transmitância térmica da parede e da cobertura para ambientes não condicionados e a iluminação zenital atingiram a classificação A, porém em razão da absortância obtida, o sistema de vedação vertical foi classificado como B e a cobertura como C em virtude da absortância e transmitância térmica verificada nos ambientes condicionados. Os resultados dos pré-requisitos e suas classificações estão sintetizados na Tabela 3. De posse dos resultados verificou-se que o ICenv obteve classificação A, porém a envoltória deve ser classificada como C por não atender os pré-requisitos de absortância da parede e cobertura e a transmitância térmica da cobertura para ambientes condicionados.

Tabela 3 – Pré-requisitos da envoltória.

Pré-requisito Envoltória	**Sigla**	**Resultado**	**Classificação**
Absortância à radiação solar parede - Amarelo escuro	αpar	0,76	**B**
Absortância à radiação solar cobertura - Telha enferrujada	αcob	0,96	**C**
Transmitância térmica parede	Upar (W/m²K)	1,94	**A**
Transmitância térmica cobertura - Ambientes condicionados	Ucob AC (W/m²K)	1,60	**C**
Transmitância térmica cobertura – Amb. não condicionados	Ucob ANC (W/m²K)	1,52	**A**
Iluminação Zenital	PAZ (%)	1,60	**A**
	FS	0,82	

4.2. Avaliação do sistema de iluminação

A potência do sistema de iluminação do Prédio 12 foi calculada em 11.295 W, conforme Tabela 4. Esse valor é menor do que a potência limite do nível A (20.289,06 W), portanto, a classificação do sistema de iluminação atingiu a classificação A.

Tabela 4 – Classificação do sistema de iluminação.

Atividade	**Potência Limite (W) - Nível A**	**Potência Limite (W) - Nível B**	**Potência Limite (W) - Nível C**	**Potência Limite (W) - Nível D**	**Potência do conjunto (W) – Prédio 12**	**Classificação**
Auditório	819,17	983,01	1146,84	1310,68	270,00	**A**
Banheiros	483,85	580,62	677,39	774,16	360,00	
Circulação	3081,55	3697,86	4314,17	4930,48	1764,00	
Cozinhas	50,40	60,48	70,56	80,64	36,00	
Depósitos	18,22	21,87	25,51	29,15	36,00	
Escadas	365,71	438,85	511,99	585,13	-	
Escritório	2138,67	2566,40	2994,14	3421,87	1080,00	
Hall de entrada - Vestíbulo	383,30	459,96	536,61	613,27	72,00	
Laboratórios para sala de aula	8296,40	9955,68	11614,96	13274,24	5121,00	
Sala de Aula, Treinamento	4222,99	5067,59	5912,19	6756,79	2376,00	
Sala de Reuniões	428,80	514,56	600,33	686,09	180,00	
Soma	**20289,06**	**24346,87**	**28404,68**	**32462,49**	**11295,00**	

No Prédio 12 todos os ambientes possuem área menor do que 250 m² e pelo menos 1 dispositivo de controle. Portanto, atendem ao pré-requisito divisão dos circuitos de iluminação. Como o Prédio 12 não possui ambientes com área maior do que 250 m², o pré-requisito desligamento automático do sistema de iluminação também foi atendido. Já o pré-requisito contribuição de luz natural não foi atendido por 21 ambientes. Diante disso, a classificação do sistema de iluminação foi ponderada com os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que atenderam o pré-requisito (4.572 W) e dos ambientes que não atenderam o pré-requisito (6.723 W). Os ambientes que não atenderam recebem classificação C (EqNum = 3) e os que atenderam recebem a classificação A calculada para o sistema de iluminação (EqNum = 5).

Após todas as análises, verificou-se que inicialmente o sistema de iluminação obteve classificação A, porém como alguns ambientes não atenderam ao pré-requisito contribuição de luz natural, sua classificação caiu para B, com EqNumDPI igual a 3,8.

É importante destacar que as lâmpadas de LED do Prédio 12 foram instaladas em dezembro de 2017 em substituição às lâmpadas fluorescentes de 32 W e 16 W. Foi realizada uma análise do sistema de iluminação do edifício antes da troca das lâmpadas, que resultou em uma potência instalada do edifício de 23.493,50 W. Essa potência instalada resultava em uma classificação B para o sistema de iluminação, mesmo sem os pré-requisitos. Após a troca das lâmpadas a potência instalada do edifício diminuiu 51,9%, o que levou a classificação A (sem os pré-requisitos). A troca das lâmpadas figurava como uma das sugestões de melhoria a previstas originalmente neste trabalho, antes da mudança.

4.3. Avaliação do sistema de condicionamento de ar

A Tabela 5 apresenta os condicionadores de ar de cada ambiente, seu modelo e sua eficiência. Os condicionadores de ar da Salas 8, 9, 10 e 11 possuem a etiqueta Procel indicando sua eficiência. O condicionador de ar da Coordenação / Secretária possui apenas a etiqueta com modelo e potência, sua eficiência foi encontrada na tabela INMETRO (INMETRO, 2017a). Os aparelhos de ar condicionado dos Gabinetes 1 e 2, Laboratório de Análises Térmicas e Extensiometria, Auditório e Laboratório de Projetos de Instalações possuem apenas a marca e a potência, seus modelos foram estimados com base na tabela INMETRO para o pior caso.

Tabela 5 – Condicionadores de ar do Prédio 12.

Ambiente	Tipo	Marca	Modelo	Potência (Btu/h)	Eficiência
Gabinete 1	Janela	ELGIN	EJF18000[1]	18.000	C
Gabinete 1	Janela	ELGIN	EJF18000[1]	18.000	C
Gabinete 2	Janela	ELGIN	EJF18000[1]	18.000	C
Gabinete 2	Janela	ELGIN	EJF18000[1]	18.000	C
Coordenação + Secretaria	Split	GREE	GST36-22L/A(I)	36.000	E
Auditório	Split	Tempstar	Não encontrado[2]	36.000	E
Auditório	Split	Tempstar	Não encontrado[2]	36.000	E
Lab. de Análises Térmicas e Extensiometria e Pesquisa	Janela	ELGIN	ERF8300[1]	8.300	B
Laboratório de Projetos de Instalações	Split	Carrier	Não encontrado	36.000	E
Sala 8	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 8	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 9	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 9	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 10	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 10	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 11	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B
Sala 11	Split	Springer Maxiflex	42MCC018515LS	18.000	B

[1]modelo estimado com base nas tabelas fornecidas pelo INMETRO (INMETRO, 2017a)
[2] modelo não encontrado, considerou-se o pior caso (classificação E)

O equivalente numérico para o sistema condicionamento de ar do edifício analisado (EqNumCA) foi 2,632 obtendo a classificação C. Esse resultado foi alcançado por meio do somatório das equivalências numéricas de cada aparelho ponderadas pela potência. O sistema de condicionamento de ar não atendeu aos pré-requisitos. Diante desta constatação de não atendimento, ainda que o equivalente numérico alcançasse a classificação A este sistema seria classificado como B.

4.4. Estratégias para obtenção da classificação A

A análise dos três sistemas do edifício: envoltória, iluminação e condicionamento de ar, apontou a necessidade de melhorias em todos os itens considerados de modo a obter a classificação A.

Para a envoltória é necessário diminuir a absortância da parede e cobertura e também a transmitância térmica da cobertura para ambientes condicionados. Para a parede propõe-se pintura com cores claras e/ou médias ($\alpha < 0,50$) e modificar a textura da parede para uma superfície mais lisa.

Para a cobertura propõe-se a troca das telhas metálicas existentes por uma telha sanduíche, composta por duas telhas metálicas com um núcleo de poliestireno expandido (isopor), na cor branca, que possui α=0,158 (INMETRO, 2017b).

Considerando a situação posterior a instalação das telhas sanduíche compostas por revestimento externo e interno de 0,5 mm e poliestireno de 30 mm de espessura (ISOESTE, 201-), a transmitância térmica da cobertura tipo 1 (com gesso) foi 0,67 W/m²K e a da cobertura tipo 2 (sem gesso) foi 0,82 W/m²K. A ponderação por área com cada tipo de cobertura e condicionamento, resultou em uma transmitância térmica da cobertura de 0,72 W/m²K para os ambientes condicionados e 0,70 W/m²K para ambientes não condicionados. Com essa mudança foi possível alcançar o nível A para a transmitância térmica da cobertura de ambientes condicionados.

Observa-se que a troca das telhas deve ser feita para toda cobertura do prédio, dessa forma seria possível também melhorar a transmitância térmica da cobertura de ambientes não condicionados, apesar destes espaços já terem alcançado a classificação A.

Para o sistema de iluminação seria necessário permitir o aproveitamento de luz natural com controle de acionamento independente para as luminárias próximas as aberturas, nos ambientes que não permitem tal controle. Para atingir este objetivo, propõe-se uma reorganização dos condutores elétricos da iluminação dos 21 ambientes que não atenderam ao pré-requisito, de modo que as luminárias próximas às janelas tenham acionamento independente das demais.

Por fim, para o sistema de condicionamento de ar propõe-se substituir os aparelhos condicionadores de ar por modelos classificados pelo INMETRO com eficiência A. Além disso, para o sistema de condicionamento de ar, deve-se isolar as tubulações com 1,5 a 2,5 mm de isopor, variando de acordo com o diâmetro da tubulação do ar condicionado (ELETROBRAS, 2011; INMETRO, 2013).

4.5. Discussão dos resultados

Para a envoltória e o sistema de condicionamento de ar, os problemas encontrados estão relacionados apenas a alguns pré-requisitos. Por outro lado, no que tange o sistema de condicionamento de ar, verificou-se o não atendimento ao pré-requisito e, também, problemas na eficiência dos aparelhos. O índice de consumo da envoltória mostrou que a forma e as aberturas do Prédio 12 são adequados para a zona bioclimática que o edifício se encontra. Para obter a classificação A nesse sistema seria necessário modificar a cor da envoltória e o tipo de telha. O sistema de iluminação confirmou a eficiência das lâmpadas utilizadas no edifício, mas para alcançar a classificação A é necessário reordenar condutores elétricos de 21 ambientes, que juntos correspondem a 60% da potência instalada. O Prédio 12 não possui nenhum aparelho de condicionamento de ar com eficiência A além de não apresentar isolamento nas tubulações. Desta forma, esse sistema deveria ser completamente modificado para alcançar a máxima classificação na ENCE.

O resultado da avaliação do estudo de caso pelo método prescritivo de RTQ-C confirma os resultados de pesquisas semelhantes, evidenciando a necessidade de modificações para alcance da classificação A nos sistemas analisados para edificações escolares existentes, como pode ser visto em Pereira *et al.* (2018), Campos *et al.* (2012) e Ferreira *et al.* (2016).

Em sua pesquisa, Pereira *et al*. (2018) destacam que a edificação foi construída anteriormente a instrução normativa de 2014, e por isso as premissas do projeto não foram planejadas para atingir o nível A. Esse fato também pode ser aplicado a edificação analisada nesta pesquisa, que foi construída em 2005, anterior a publicação do RTQ-C. Apesar disso, a análise e modificações propostas podem ser aplicadas em *retrofits* e utilizadas para projetar novas edificações. Tanto para as pesquisas realizadas quanto para o presente estudo, o alcance da classe A se mostrou possível do ponto de vista técnico.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo diagnosticou a eficiência e energética e também avaliou o potencial de alcance da Classe A na ENCE para uma edificação pública existente (Prédio 12 CEFET MG) por meio da aplicação do método prescritivo previsto do RTQ-C (2013). Os resultados indicaram que o Prédio 12 necessita de melhorias nos três sistemas avaliados: envoltória, iluminação e ar condicionado.

O Prédio 12 obteve classificação C para envoltória, B para o sistema de iluminação e C para o sistema de condicionamento de ar. Os pontos de desconformidade encontrados foram a cor das paredes, as telhas que compõem a cobertura, a organização dos condutores elétricos, os aparelhos de condicionamento de ar instalados no prédio e a ausência de isolamento térmico em suas tubulações. Portanto, sugere-se pintar a parede com uma cor mais clara e trocar as telhas, permitir o acionamento independente das luminárias próximas as janelas de todos os ambientes, trocar todos os aparelhos de ar condicionados existentes no

edifício e isolar suas respectivas tubulações. Destaca-se que a troca das lâmpadas fluorescentes para LED efetuadas durante a análise da autora foi uma melhoria significativa no sistema de iluminação do edifício.

Além das modificações propostas, é importante conscientizar os usuários da edificação a aproveitarem melhor a ventilação e iluminação natural. Intenta-se com a aplicação das melhorias promover melhores condições de conforto térmico e luminoso aos usuários e reduzir o consumo de energia elétrica do edifício. O trabalho apresentou contribuição prática ao identificar uma solução para um problema real, e contribuição acadêmica ao servir de base para estudos semelhantes.

O objetivo desta pesquisa está limitado à aplicação do método prescritivo do RTQ-C (2013). O emprego do método de simulação não foi contemplado no objetivo deste trabalho devido ao recorte temporal definido. Desta forma, foi possível, apenas, o estudo para a obtenção da ENCE parcial do edifício. Como sugestão para trabalhos futuros, as autoras consideram a simulação das horas de conforto dos ambientes não condicionados de permanência prolongada no Prédio 12 para obtenção da ENCE geral do edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - MPOG. **Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014** - Aquisição ou locação de equipamentos consumidores de energia pela Administração Pública Federal, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e edificações novas ou pós *retrofit*. Brasília: 04 jun. 2014.

CAMPOS, N. L. F.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; LAMBERT, J. A.; DURANTE, L. C. Avaliação de desempenho térmico de edificação pública em Cuiabá, MT: estudo de caso. **Revista Monografias Ambientais (REMOA/UFSM)**, v. 7, p. 1670-1688, mar-jun. 2012.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. 2008. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 2008.

ELETROBRAS. **Introdução ao Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações**. Eletrobras/ Procel Edifica, Inmetro e CB3E/UFSC: Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Sistemas de ar condicionado**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20Pratico%20PROCEL-Man%20Ar-Cond-Procel-Eletr-11.pdf> Acesso em: 07 maio 2018.

FERREIRA, P. H. F.; BRAGA, I. F. C. M.; PINHEIRO, K. A.; GOMES, I. D. C.; CANTO, S. A. E.; GUERRA, D. R. S. Avaliação da eficiência energética do prédio de engenharia mecânica da UFPA utilizando o método prescritivo determinado pelo RTQ-C. In: IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM). **Anais..**. Fortaleza, ago. 2016.

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas – RTQ-C**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Tabelas de consumo/eficiência energética - Condicionadores de ar**. 2017a. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/condicionadores.asp>. Acesso em: 06 nov. 2017

_____. **Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. 2017b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf> Acesso em: 07 maio 2018.

ISOESTE. **Linha de produtos**. Anápolis, 2019. Disponível em: <http://www.isoeste.com.br/catalogos/catalogo-linhas-de-produtos.pdf> Acesso em: 07 maio 2018.

OMER, Abdeen Mustafa. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.12, n.9, dezembro. 2008. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107000834>. Acesso em: 01 nov. 2016.

PEREIRA, B. S.; CARDOSO, G. T.; BORN, G. C. Avaliação do nível de eficiência energética de envoltória de edificação pública: método prescritivo do RTQ-C. In: VII Seminário Internacional de Construções Sustentáveis (SICS). **Anais...** Passo Fundo, out. 2018.

POLICARB. Buscar **– Policarb Plancha celular de Policarbonato protegido U.V. de pared múltiple** [2019]. Disponível em: <http://studylib.es/doc/5561825/plancha-celular-de-policarbonato-protegido-uv-de-pared> Acesso em: 04 mar. 2018.

SAGOI, J. M.; RAMOS, G.; LAMBERTS, R. Análise das medições de absortância através do Espectrômetro alta II. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2010, Canela. **Anais...** Canela: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, 2010. P. 1-9.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho bem como a Ares Arquitetura pelo empréstimo do espectrofotômetro de Refletância Alta II.