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

ESTUDO DE CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO PRÉDIO 20 DO CEFET-MG

Julia Cordeiro Vieira (1); Matheus Almeida Evangelista (2); Frederico Romagnoli Silveira Lima (3); Raquel Diniz Oliveira (4);
(1) Estudante de Engenharia de Produção Civil, Técnica em Edificações, juliacordeiroengcivil@gmail.com,
(2) Estudante de Engenharia de Produção Civil, Técnico em Edificações, m.almeida.tec@outlook.com,
(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, fredericolima@cefetmg.br,
(4) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, raqueldiniz@cefetmg.br,
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG), Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, nº 7675, Prédio 12, Belo Horizonte - MG, 30510000, Tel.: (31) 33196810

RESUMO
Desde 1985, o governo brasileiro tem promovido o uso eficiente da energia elétrica por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel). A eficiência energética em edificações apresenta grande potencial de economia de eletricidade e redução de emissões para o país. Neste contexto, este artigo objetiva avaliar a eficiência energética de uma edificação escolar pública sob a ótica do Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) e o seu Novo Método, posto em consulta pública em 2018. A edificação avaliada foi o Prédio 20 do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), localizada em Belo Horizonte - MG. Para avaliar a eficiência energética do sistema de Iluminação, aplicou-se o Método Prescritivo, ao passo que, para a envoltória, aplicou-se os métodos Prescritivo e o Novo. Adicionalmente, utilizou-se resultados de avaliação prévia do conforto térmico dos ambientes naturalmente ventilados obtidos pelo Método de Simulação. Pelo Método Prescritivo, a envoltória atingiu o nível “A” e o sistema de iluminação, nível “B”. Porém, a classificação de ambos sistemas caiu para “C” devido ao não atendimento de pré-requisitos. A análise da envoltória pelo Novo Método resultou na classificação “A”. O equivalente numérico dos ambientes ventilados naturalmente atingiu nível “E” e a classificação geral do edifício atingiu nível “C” de eficiência energética. A discrepância nos resultados da envoltória sinaliza limitações dos métodos Simplificado e Novo. Os resultados indicaram desempenho térmico inadequado da edificação para o clima e, também, necessidade de ajustes para otimização de seu consumo energético e conforto térmico. Este estudo apresenta, portanto, contribuição prática, ao identificar solução para um problema real, e acadêmica, ao discutir as diferenças na aplicação dos regulamentos, além de servir de base para estudos semelhantes.
Palavras-chave: ENCE, RTQ-C, Novo Método, edifícios públicos, eficiência energética.

ABSTRACT
Since 1985, the Brazilian Program for Electric Energy Conservation (Procel) has promoted energy efficient. Energy efficiency in buildings represents a great potential for saving electricity and reducing emissions thought the country. In this context, the aim of this work is to evaluate a public-school building energy efficiency, according to the RTQ-C Brazilian Regulation and to its new proposed version of 2018. The study case is located at Belo Horizonte, Brazil, in Federal Center of Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG). The lighting system was evaluated by Prescriptive Method and the Building envelope was assessed by Prescriptive and New Method. Additionally, a previously RTQ-C building simulation results was used to analyzed the comfort hours of natural ventilated rooms. Prescriptive Method results indicated that building envelope reached level "A" and its lighting system, level "B". However, both classifications dropped to "C" due to non-fulfillment of some prerequisites. The New Method analyzes resulted in "A" class for building envelope. The numerical equivalent of naturally ventilated rooms reached "E" level and the building energy efficiency, as a whole, achieved "C" level. The discrepancy between envelope results pointed out to Simplified and New Method limitations. As results, the building thermal performance was not

suitable for its climate and need some adjustments to optimize its energy consumption and thermal comfort. This study, therefore, presents a practical contribution in identifying a solution to a real problem and academic bias in discussing differences in regulations use, besides serving as basis for similar studies.
Keywords: ENCE, RTQ-C, New Method, public buildings, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, os edifícios são grandes responsáveis pelo consumo de eletricidade, representando aproximadamente 50% do total da energia elétrica utilizada no país. Deste total, 25,3% correspondem ao consumo de edificações comerciais e públicas (BRASIL, 2018). As necessidades energéticas dos edifícios provêm principalmente da busca pelo conforto térmico, por meio de aquecimento e refrigeração dos ambientes. Logo, o planejamento de edificações eficientes, por meio de soluções arquitetônicas e modificações dos sistemas de energia, bem como a mudança de hábitos no consumo da população, podem reduzir, consideravelmente, os impactos ambientais e sociais além dos custos para climatização (IEA, 2016).

Até a década de 90, o Brasil produzia mais eletricidade do que consumia e em 2001 o país vivenciou sua maior crise de energia elétrica. Desde então, a economia de energia tornou-se uma preocupação nacional, alavancando as primeiras políticas de eficiência energética e à busca por energias renováveis. A exemplo disto, têm-se a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001b), conhecida como Lei de Eficiência Energética, que, regulamentada pelo decreto nº 4.059 (BRASIL, 2001a), estabelece a adoção de procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações construídas no Brasil.

Neste contexto, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) desenvolveu em 2003 o Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C). Sua aprovação foi um grande avanço para o setor da construção civil, pois inaugurou um conjunto de atividades que orientam a busca pela eficiência energética em edificações. Este regulamento estabelece requisitos mínimos para a classificação de edificações quanto a sua eficiência energética, a ser consolidada pela Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), e ocorre mediante a avaliação de três sistemas individuais: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Para tal, são aplicáveis dois métodos previstos neste regulamento: O método prescritivo e/ou de simulação. No método prescritivo, a classificação da edificação é obtida pela aplicação de uma equação geral que atribui pesos de 30% para a envoltória, 30% para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de condicionamento de ar, resultando em uma pontuação total (PT). A PT pode aumentar em até um ponto por meio de bonificação pelo uso de iniciativas que comprovadamente otimizem a eficiência da edificação (BRASIL, 2013a).

No ano de 2014, foi estabelecido pela Instrução Normativa n° 2, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG), que edificações públicas federais novas ou que passem por *retrofit* (reforma) deveriam atingir a classificação A do referido regulamento (BRASIL, 2014). Desde então, vários estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar a eficiência energética de edificações escolares no Brasil e propor adequações para melhorar sua classificação na ENCE, como os realizados por Campos e Neto (2012), Júnior e Souza (2015) e Ribeiro (2016). Além disso, várias pesquisas têm sido realizadas, em âmbito global, visando definir metodologias que simplifiquem estes estudos. Na França, Chlela *et al.* (2009) propôs uma metodologia baseada no método *Design of Experiments* (DOE), uma ferramenta estatística amplamente utilizada na indústria para definir a importância de variáveis específicas e reduzir o número de experimentos necessários. No Brasil, um novo método de avaliação energética foi desenvolvido e posto em consulta pública pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (MDIC; INMETRO, 2018). Partindo-se da premissa de consumo de energia primária e por meio de comparação com edificações de referência de nível D, este método insere uma nova perspectiva para formulação de ENCE's parciais e totais.

2. OBJETIVO

Classificar o nível de eficiência energética de uma edificação pública de ensino pelo método simplificado do RTQ-C (2013), bem como comparar os resultados da envoltória com os obtidos pelo Novo Método (2018).

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas principais:

1. Caracterização do estudo de caso;
2. Classificação do edifício pelo RTQ-C;
3. Classificação da envoltória pelo Novo Método.

3.1. Caracterização do estudo de caso

A edificação analisada foi o Prédio 20 do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus II, localizado em Belo Horizonte, MG. Trata-se de edificação pública escolar utilizada para fins educacionais e administrativos.

3.1.1. Geometria da edificação

O Prédio 20 foi construído em 2017 e possui área total construída de 4.270 m². Seus ambientes são compostos por salas de aula, escritórios de coordenações pedagógicas, laboratórios de informática, auditórios, banheiros, corredores, salas técnicas e sala dos professores. O edifício possui quatro pavimentos, sendo os dois primeiros compostos, majoritariamente, por ambientes de permanência transitória. Os dois últimos são constituídos principalmente por salas de aula. A Figura 1 mostra as plantas baixas do edifício, fornecidas pela Divisão de Projetos do CEFET-MG.

(A) (B)



(C) (D)

Figura 1 – Plantas baixas do edifício: (A) 1º pavimento; (B) 2º pavimento; (C) 3º pavimento; (D) 4º pavimento.

3.1.2. Caracterização da envoltória

A identificação das características do edifício, como a orientação das fachadas e as especificações técnicas dos materiais utilizados na construção, foi realizada pela análise dos projetos arquitetônico e executivos, bem como do memorial descritivo de construção. Posteriormente, foram realizadas visitas ao prédio para verificar a conformidade entre o projeto e o edifício construído e coletar informações complementares.

O Prédio 20 está localizado na Zona Bioclimática 3 (ZB3), segundo classificação estabelecida pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) para o clima da cidade de Belo Horizonte - MG. A orientação das fachadas foi simplificada, conforme estabelece o RTQ-C (2013), visando facilitar os cálculos. Deste modo, o Prédio 20 possui a fachada frontal orientada para o Sul (Figura 2), a fachada posterior para o Norte (Figura 3), a fachada lateral direita para o Oeste e a fachada lateral esquerda para o Leste (Figura 4).



Figura 2 – Fachada frontal.



Figura 3 – Fachada posterior.



Figura 4 – Fachada lateral esquerda



Figura 5 – Cobertura.

A edificação escolar foi construída em estrutura portante mista, com vigas e pilares em aço-carbono, revestidos com pintura esmalte na cor Preta, e laje de concreto armado sobre forma de aço incorporada (tipo *Steel Deck*). A fachada frontal possui uma passarela que dá acesso ao 2º pavimento (*pilotis*). O edifício possui jardineiras internas à projeção horizontal da edificação, localizadas nos recuos da fachada.

O Prédio 20 é formado por dois blocos principais conectados por um bloco de circulação central. A cobertura possui duas soluções, conforme mostra a Figura 5. Uma é formada por telhas termo acústicas de aço tipo sanduíche e calha, abrigando os blocos principais. A outra é composta por laje de concreto impermeabilizada e aloja o bloco de circulação. O edifício não possui iluminação zenital.

Conforme determina o RTQ-C (2013), “pisos de áreas externas localizados sobre ambientes de permanência prolongada devem atender aos pré-requisitos de absortância solar e transmitância de coberturas” (BRASIL, 2013a, p. 31). Deste modo, considerou-se o piso externo do *pilotis* como cobertura dos ambientes internos do 1º pavimento. Seguindo o mesmo princípio, considerou-se as jardineiras como coberturas do tipo teto jardim dos ambientes sobre os quais elas estão apoiadas.

As fachadas frontal e posterior são compostas por alvenaria de vedação de blocos cerâmicos de 19 cm de espessura, revestidas externamente por reboco e textura nas cores Vermelho e Bege (Figura 2 e 3). As paredes externas do 2º pavimento, voltadas para o *pilotis,* são revestidas externamente com pintura na cor Verde. As fachadas laterais são constituídas por cortina aerada em placas de fibrocimento sobre parede interna de *drywall* com isolamento térmico interior em manta de lã mineral (Figura 4).

A fachada ventilada possui câmara de ar maior que 5cm e é aberta embaixo e em cima, permitindo o fluxo ascendente de ar. Este elemento externo sombreia 100% do tempo a parede interna de *drywall*. Deste modo, conforme a Tabela 3.5 do RTQ-C (2013), não foi considerado o pré-requisito de absortância térmica do elemento externo e a transmitância térmica foi calculada contemplando somente a parede interna.

As jardineiras foram consideradas como paredes duplas, formadas pelo conjunto entre as alvenarias de vedação, interna e externa, camadas de impermeabilização e pela terra. Os pilares, vigas e molduras de aço foram considerados como elementos que se sobressaem em relação ao alinhamento das paredes.

Alguns planos das fachadas frontal e posterior possuem sombreamento com brises horizontais fixos e com molduras em aço patinável tipo “Corten”. Existem dois tipos de brises: Linear (Figura 6) e Ogiva (Figura 7). Apenas o brise Ogiva foi considerado como fachada (parte opaca + vão), conforme definição estabelecida pelo RTQ-C (2013).



Figura 6 – Brise Linear.



Figura 7 – Brise Ogiva.

3.2. Classificação do edifício pelo RTQ-C

A classificação da eficiência energética do Prédio 20 foi estimada conforme o método prescritivo do RTQ-C (2013). Foram analisados a envoltória, o sistema de iluminação e a ventilação natural. O sistema de condicionamento de ar foi desconsiderado neste trabalho, uma vez que este sistema não foi implantado.

3.2.1. Classificação da envoltória

Para o modelo de envoltória, a edificação foi adaptada a fim de permitir uma avaliação mais precisa. Conforme consta na Nota Técnica Nº 07/2014, essa adaptação segue uma forma paralelepipédica.

Dividiu-se a envoltória do edifício em oito blocos principais e um bloco de circulação (Figura 8). Os Blocos 01 e 02 são formados apenas pelo 1º pavimento. Os Blocos 07 e 08 têm início no 3º pavimento e terminam no 4º, pois possuem o mesmo alinhamento das fachadas. Por não possuir fechamentos externos, o *Pilotis* foi desconsiderado da área total da edificação. Deste modo, os ambientes internos do 2º pavimento foram divididos em quatro blocos individuais, considerados como torres com base formada pelo 1º pavimento e cobertura comum constituída pelo 3º pavimento. As jardineiras também foram desconsideradas da área total por serem áreas externas.

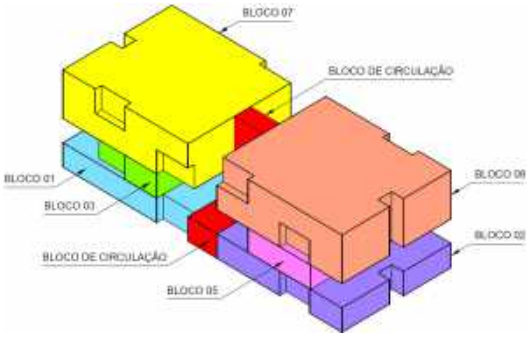


Figura 8 – Divisão dos blocos.

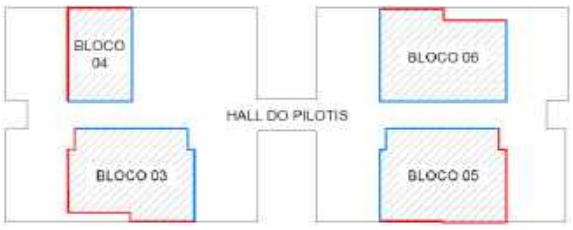


Figura 9 – Paredes sombreadas (azul) e não sombreadas (vermelho) do 2º pavimento.

Devido ao auto sombreamento gerado pelo edifício, verificou-se que a maioria das paredes externas do 2º pavimento eram sombreadas (Figura 9). Para definir o grau de insolação nestes fechamentos, utilizou-se a carta solar e os critérios estabelecidos no item 2.3 do Anexo I do RTQ-R. Seguindo este método, as paredes 100% sombreadas ou com insolação restrita ao longo do ano foram consideradas apenas nos cálculos de transmitância e desconsideradas dos cálculos de absortância da envoltória.

A eficiência da envoltória se deu em quatro etapas principais, calculando separadamente, bloco a bloco, os parâmetros e resultados, sendo elas: Cálculo do indicador de consumo (IC_{env}); cálculo e verificação de pré-requisitos de transmitância térmica e absortância solar; definição do equivalente numérico da

envoltória (EqNumEnv) de cada bloco e cálculo do EqNumEnv total para o Prédio 20. O bloco de circulação não foi avaliado, pois a equação 2.1 do RTQ-C (2013) já considera equivalente numérico 5 para áreas de permanência transitória.

Parâmetros, como Fator Altura (FA), Fator Forma (FF), Percentual de Abertura na Fachadas (PAFt) e de ângulos de sombreamento horizontal (AHS) e vertical (AVS), foram obtidos pela análise ao projeto arquitetônico, utilizando-se o *software* Autodesk AutoCAD 2018. A transmitância das superfícies foi realizada com base na NBR15220-2 (ABNT, 2008). Já as absortâncias foram medidas com o auxílio do aparelho espectrômetro de refletância ALTA II, da marca Vernier, nos dias 25 de agosto de 2018 e 18 de março de 2019, conforme método descrito por Sangoi, Ramos e Lamberts (2010). O cálculo do IC_{env} de cada bloco foi realizado pela aplicação da Equação 3.5, estabelecida no RTQ-C (2013), para edifícios localizados na ZB3 com área de projeção (Ape) menor que 500 m². A análise entre os resultados obtidos para o IC_{env} e o atendimento aos pré-requisitos forneceu a classificação de cada bloco. A ponderação das classificações de cada um pela área da envoltória forneceu o EqNumEnv final para o Prédio 20.

3.2.2. Classificação da eficiência do sistema de iluminação

A análise dos sistemas de iluminação foi realizada por meio do diagnóstico inicial dos projetos luminotécnico e elétrico e da posterior verificação das luminárias instaladas no edifício. Todas as lâmpadas dos ambientes internos são fluorescentes tubulares T5 da marca PHILLIPS com reator eletrônico duplo.

O Prédio 20 possui lâmpadas de 14W em todos os ambientes de permanência prolongada e em alguns ambientes de permanência transitória, tais como circulações, escadas e depósitos. Nos demais ambientes (banheiros, cozinha, despensa e salas técnicas de eletricidade), foram instaladas lâmpadas de 28W.

A avaliação do sistema de iluminação foi realizada pelo método da área e pelo método das atividades do edifício, conforme descrito no item 4.2 do RTQ-C (2013), visando adotar a pior classificação entre eles. Para isso, foram levantadas a área de piso, quantidade de lâmpadas e a potência instalada de cada ambiente.

3.2.3. Classificação da ventilação natural

O edifício deste estudo não possui áreas condicionadas. Para comprovar que os ambientes internos atendem às temperaturas dentro da zona de conforto, utilizou-se o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) dos ambientes de permanência prolongada obtido por Araújo (2018) pelo método de simulação. A simulação foi realizada com auxílio do *software* EnergyPlus e gerou dados horários para 8760 horas simuladas, referentes ao período de um ano, para a rotina nos dias 1º de janeiro e 31 de dezembro de 2018. Os resultados foram avaliados segundo os índices propostos na norma ASHRAE 55/2017.

Os equivalentes numéricos dos ambientes ventilados naturalmente (EqNumV) foram obtidos pela comparação entre os valores de POC de cada ambiente com os limites estabelecidos na Tabela 6.4 do RTQ-C (2013). A classificação final da ventilação natural se deu pela ponderação destes resultados pelas áreas.

3.2.4. Classificação geral da edificação

A classificação geral da eficiência energética do edifício foi calculada por meio da aplicação da equação 2.1 da Pontuação Total (PT), determinada pelo RTQ-C (2013). O número de pontos obtidos na equação forneceu a classificação do edifício, de acordo com a Tabela 2.3 deste regulamento.

Para isso, foram inseridos na equação da PT os equivalentes numéricos obtidos para a envoltória (EqNumEnv), para o sistema de iluminação (EqNumDPI) e para a ventilação natural (EqNumV), bem como os parâmetros físicos do edifício, tais como: área útil (AU); área útil dos ambientes de permanência transitória, desde que não condicionados (APT) e a área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada (APT). O equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar (EqNumCA) e a área útil dos ambientes condicionados (AC) foram inseridos nulos na equação. Não foram consideradas bonificações na edificação. Além do resultado obtido para a PT, verificou-se o atendimento aos pré-requisitos gerais de circuitos elétricos e de aquecimento de água.

3.3. Classificação da envoltória pelo Novo Método

Avançando para o segundo método de avaliação da envoltória da edificação proposto neste estudo, este leva em consideração edifícios de referência a serem comparados com a edificação real em estudo. Os parâmetros que norteiam a avaliação são pré-definidos pelo novo método, variando de acordo com a sua tipologia.

3.3.1. O novo método proposto

O novo método se baseia no consumo de energia primária, comparando os parâmetros reais de uma edificação com uma de referência. Para tal, os edifícios se subdividem em três categorias de condicionamento: natural, híbrido ou artificial (MDCI; INMETRO, 2018). No caso da edificação em estudo, utilizou-se o método para edifícios ventilados/condicionados naturalmente, conforme aspectos construtivos verificados na prática. A metodologia realizada segundo o Novo Método dividiu-se nas seguintes etapas:

a) Definição do uso da tipologia;
b) Determinação dos parâmetros de entrada da edificação real e de referência por zona térmica;
c) Divisão da edificação em zonas térmicas[1].
d) Cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração e carga térmica total de refrigeração;
e) Ponderação da densidade de carga térmica pelo o percentual de horas em desconforto do edifício;
f) Criação da escala de eficiência a partir dos dados de referência e reais;

De acordo com o método e as finalidades da edificação, a tipologia adotada foi a de "Edificações educacionais: ensino médio, fundamental e superior". Para essa tipologia, os parâmetros de entrada para referência foram os que constam na Tabela A.2 (MDCI; INMETRO, 2018, p. 43) da terceira versão da proposta de novo método. Os parâmetros reais de entrada foram coletados ao longo da pesquisa, dos quais muitos foram aproveitados dos resultados obtidos no método prescritivo RTQ-C (2013).

Para tornar o método aplicável, o formato da edificação foi adaptado. Considerando o seu aspecto espelhado, dividiu-se o edifício em dois blocos para avaliação em separado, conforme divisão das zonas térmicas ilustrada na Figura 10. Assim, o cálculo para densidade térmica precisou ser adaptado e o valor final foi considerado como o dobro dos resultados obtidos.

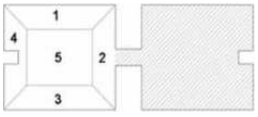


Figura 10 – Zonas Térmicas.

A carga térmica (Cgt) foi adquirida pela aplicação da Equação 1 (real de referência). A densidade de carga térmica (DcgT) de cada zona térmica foi fornecida pela interface do metamodelo[2] por meio da inserção dos dados reais e de referência.

$$CgT = \sum DCgT \; . \; \text{Área ZT} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
CgT é a carga térmica total para refrigeração [kWh/ano];
DcgT é a densidade de carga térmica [w/m²];
Área ZT é a área de cada zona térmica [m²];

Este método leva em consideração, para função de eficiência, o percentual de horas em desconforto da edificação (FHDesc). Este dado foi obtido pelo metamodelo de Rackes *et al* (2016), que levou em consideração 38 parâmetros, reunidos por meio de medições e levantamentos de georreferenciamento (Google Earth) e de projeto, utilizando-se o *software* Autodesk AutoCAD 2018, conforme a Tabela B.I.2 do método. Sendo utilizado para compilação desses dados um algoritmo em linguagem computacional Python, o *software* Natural Comfort (Rackes *et al*, 2016), foi disponibilizado como documento base desta proposta. Em seguida, a carga térmica real deve ser corrigida pela Equação 2. Determinadas as densidades térmicas de referência e real e o percentual de horas em desconforto, a escala de eficiência é construída. A partir da obtenção do Coeficiente de Redução da Carga Térmica da classe D para classe A (CRCgTD-A), que norteia a proporção dos limites entre as faixas de classificação. Esse dado é obtido a partir da Tabela 5.20 do novo método (MDIC; INMETRO, 2018).

$$CgTTREAL = CgT \; . \; FHdesc \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
CgTTREAL é a carga térmica de referência e real [kWh/ano];
FHdesc é o fator de horas em desconforto da edificação em porcentagem.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos para a classificação da eficiência energética do Prédio 20 pelo método prescritivo do RTQ-C (2013), bem como da classificação da envoltória pelo seu Novo Método estão descritos a seguir.

[1]Zonas térmicas: subdivisões a partir da planta, podendo ser perimetrais ou internas. As perimetrais têm uma distância de afastamento de no máximo 5,50m dos limites da edificação. O núcleo é considerado uma zona interna.
[2]Maiores informações disponíveis em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#.

4.1. Avaliação da envoltória

Todos os blocos do Prédio 20 obtiveram classificação A nos cálculos do ICenv, segundo os limites máximos (ICmáxD) e mínimos (ICmín) obtidos para cada um. Devido à limitação do número de páginas, os resultados dos limites para o indicador de consumo não serão apresentados neste artigo.

Na avaliação do atendimento aos pré-requisitos da envoltória, para cada bloco do edifício foram obtidos diferentes valores de transmitância térmica e absortância à radiação solar das paredes e da cobertura. Os resultados dos pré-requisitos e suas classificações estão dispostos na Tabela 1. Para a cidade de Belo Horizonte (ZB3), os limites para os pré-requisitos para cada nível de eficiência estão apresentados na Tabela 2. Verificou-se que todos os blocos atingiram classificação A para os pré-requisitos de transmitância térmica de paredes e cobertura. No entanto, os pré-requisitos de absortância das paredes e cobertura não foram atendidos. Deste modo, as paredes externas da edificação foram classificadas como B e as coberturas como C, com exceção dos blocos do 2º pavimento, cujas coberturas foram classificadas como A.

No 2º pavimento, grande parte da cobertura não foi considerada nos cálculos da envoltória, visto que os tetos dos ambientes fechados são pisos internos do 3º pavimento. Apenas as coberturas dos blocos 04 e 05 foram consideradas, pois possuem uma parcela de teto-jardim proveniente das jardineiras externas localizadas no pavimento superior. Nestes blocos, a cobertura atingiu nível A, visto que o teto-jardim apresenta desempenho térmico adequado, independente da absortância solar.

Tabela 1 – Pré-requisitos da envoltória.

Pavimento	Bloco	αpar		αcob		Upar (W/m².K)		Ucob (W/m².K)	
		Resultado	Classificação	Resultado	Classificação	Resultado	Classificação	Resultado	Classificação
1º	01	0,79	B	0,90	C	1,55	A	1,06	A
	02	0,77	B	0,89	C	1,56	A	1,05	A
2º	03	0,80	B	Não se aplica	-	2,06	A	Não se aplica	-
	04	0,89	B	0,25	A	2,44	A	0,47	A
	05	0,83	B	0,25	A	2,18	A	0,47	A
	06	0,72	B	Não se aplica	-	2,14	A	Não se aplica	-
3º e 4º	07	0,82	B	0,73	C	1,37	A	0,38	A
	08	0,79	B	0,72	C	1,38	A	0,38	A

Tabela 2 - Limites para os pré-requisitos da envoltória da ZB 3

Pré-requisito	Sigla	Nível de eficiência			
		A	B	C	D
Absortância solar da cobertura	αpar	< 0,50	< 0,50	-	
Absortância solar de paredes	αcob	< 0,50	-	-	
Transmitância térmica da cobertura de ambientes - Ambientes não condicionados	Ucob ANC (W/m².K)	2,00	2,00	2,00	
Transmitância térmica de paredes	Upar (W/m².K)	3,70	3,70	3,70	

Com base nos resultados, verifica-se que a envoltória dos blocos do Prédio 20 atingiu classificação A pelo cálculo do ICenv. No entanto, o não atendimento aos pré-requisitos de absortância solar limitou a sua classificação para B nos blocos do 2º pavimento e C nos demais. A ponderação entre as classificações de cada bloco e a sua área da envoltória (Aenv) resultou na classificação de nível C para a classificação total da envoltória, com EqNumEnv de 3,13, conforme a Tabela 2.3 do RTQ-C (2013).

4.2. Avaliação do sistema de iluminação

O Prédio 20 possui potência total instalada em iluminação de 33.465 W e uma área total iluminada de 3.124,72 m². A iluminação da circulação do *pilotis* não foi avaliada por ser uma área aberta. A classificação do sistema de iluminação atingiu nível B tanto pelo método da área quanto pelo método das atividades. Por isto, serão exibidos apenas os resultados obtidos pelo método das atividades do edifício (Tabela 3)Tabela.

Na análise dos pré-requisitos, verificou-se que a maioria dos ambientes do Prédio 20 possui sensores de presença instalados e que todos possuem pelo menos um dispositivo de controle manual (interruptores) para o acionamento independente da iluminação. Como não existem ambientes com área superior a 250m², todos atenderam aos pré-requisitos de Divisão de Circuitos e do Desligamento Automático do Sistema de Iluminação. No entanto, 75% dos ambientes com abertura voltada para o ambiente externo não atenderam ao pré-requisito de Contribuição da Luz Natural. Assim sendo, a classificação destes ambientes caiu para o nível C e os ambientes que atenderam a todos os pré-requisitos permaneceram classificados como nível B.

O não cumprimento do pré-requisito tornou necessária a correção do EqNumDPI por meio da ponderação entre os níveis de eficiência e potência instalada dos ambientes que não atenderam ao pré-

requisito (25.913,80 W) e dos que atenderam (7.551,20 W). O novo EqNumDPI resultou no valor de 3,23. Deste modo, a classificação final do sistema de iluminação foi rebaixada do nível B para o nível C.

Tabela 3 – Classificação do sistema de iluminação pelo método das atividades do edifício.

Ambientes / Atividades	Potência de iluminação limite (W)				Potência total instalada em iluminação (W)	Classificação
	Nível A	Nível B	Nível C	Nível D		
Armazém - Material pequeno/leve	43,44	52,13	60,82	69,51	61,00	-
Auditório	1.500,57	1.800,68	2.100,80	2.400,91	1.758,40	-
Banheiros	969,83	1.163,80	1.357,76	1.551,73	1.558,20	-
Casa de máquinas	147,60	177,12	206,64	236,16	244,00	-
Circulação	3.502,50	4.203,00	4.903,50	5.603,99	2.070,60	-
Cozinhas	319,08	382,90	446,71	510,53	366,00	-
Depósitos	181,90	218,28	254,66	291,04	218,00	-
Escadas	1.490,59	1.788,71	2.086,83	2.384,95	502,40	-
Escritório	4.018,97	4.822,76	5.626,56	6.430,35	4.144,80	-
Laboratórios para salas de aula	967,53	1.161,03	1.354,54	1.548,04	1.318,80	-
Sala de aula	15.201,85	18.242,22	21.282,59	24.322,96	20.661,20	-
Sala de reuniões	419,93	503,91	587,90	671,88	439,60	-
Vestiário	49,96	59,95	69,94	79,93	122,00	-
Soma	**28.813,74**	**34.576,48**	**40.339,23**	**46.101,98**	**33.465,00**	**B**

4.3. Avaliação da ventilação natural

Foram obtidas diferentes classificações para a ventilação natural dos ambientes de permanência prolongada, os quais variaram do nível B ao nível E. Os piores resultados, majoritariamente nível E, foram relativos aos ambientes do 3º e 4º pavimento. A média ponderada entre as diferentes classificações de conforto e as áreas resultou na classificação de nível D para a ventilação natural do Prédio 20, com EqNumV igual a 1,61.

4.4. Avaliação da classificação geral da edificação

O Prédio 20 apresentou classificação C para a envoltória e para o sistema de iluminação e classificação D para a ventilação natural. A Pontuação Total (PT) obtida foi de 2,98 e sua classificação foi C, conforme a Tabela 2.3 do RTQ-C (2013). Os parâmetros inseridos na equação da PT estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação geral do edifício.

EqNumEnv	EqNumDPI	EqNumCA	EqNumV	APT (m²)	ANC (m²)	AC (m²)	AU (m²)	b_0^1	PT	Classificação
3,13	3,23	0,00	1,61	1.166,47	1.958,25	0,00	3.124,72	0,00	2,98	**C**

Onde: EqNumEnv é Equivalente numérico da envoltória; EqNumDPI é o Equivalente numérico do sistema de iluminação; EqNumCA é o Equivalente numérico do sistema de condicionamento de ar; EqNumV é o Equivalente numérico de ambientes não condicionados e/ou ventilados naturalmente; APT é a Área útil dos ambientes de permanência transitória não condicionados; ANC é a Área útil dos ambientes não condicionados de permanência prolongada; AC é a Área útil dos ambientes condicionados; AU é a Área útil e b é a Pontuação obtida pelas bonificações, que varia de zero a 1.

O Prédio 20 não possui demanda de água quente e possui circuitos elétricos separados por uso final. Além disso, o edifício possui um multimedidor de grandezas elétricas, que possibilita a medição por uso final. Assim, considera-se os pré-requisitos gerais de circuitos elétricos e aquecimento de água atendidos. Desta forma, a eficiência energética do Prédio 20 classifica-se como nível C.

4.5. Avaliação da envoltória pelo Novo Método

Os resultados obtidos para os parâmetros reais de entrada estão descritos nas Tabelas 5 e 6. Os parâmetros reais levantados em campo compartilharam a mesma base de caracterização dos aspectos construtivos e de projeto levantados no método do RTQ-C (2013), levando-se em consideração as particularidades nos momentos de ponderação nas subdivisões das zonas térmicas consideradas. Tais parâmetros foram levantados a partir de projeto arquitetônico da edificação.

Tabela 5 – Parâmetros Reais de Entrada Considerados.

Geometria e posicionamento	1°, 2°, 3° e 4° Pavimento				
Zona Térmica	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Área de Zona Térmica (m²)	96,5	81,5	96,5	75,5	161,54
Tipo de Zona Térmica	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Perimetral	Interna
Orientação Solar	NO	SO	SE	NE	-
Pé-direito (m)	3,55				

Tabela 6 - Parâmetros Reais de Entrada Considerados.

Aberturas, componentes construtivos, iluminação e ganhos			
Horas de ocupação diária (h)	8	Transmitância térmica das paredes externas (W/m²K)	1,01
Densidade de potência de equipamentos (kWh/m²)	13,85	Absortância das paredes externas	0,71
Densidade de potência de iluminação (kWh/m²)	10,66	Absortância da Cobertura	0,71
Percentual de abertura de fachadas (%)	18,43	Ângulo vertical de sombreamento	13,85
Fator solar do vidro laminado incolor 8mm	0,43	Ângulo horizontal de sombreamento	10,79
Transmitância térmica do vidro (W/m²K)	5,70	Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	233
Transmitância térmica da cobertura (W/m²K)	0,41	Capacidade térmica das paredes externas (kJ/m²K)	160

Foram consideradas o máximo de horas de ocupação permitido pelo método, apesar da edificação funcionar por um período maior. Para o cálculo das densidades de potência de equipamentos e iluminação, utilizou-se o método das áreas, que levou em consideração os quatro pavimentos em estudo. O percentual de abertura das fachadas foi levantado a partir da divisão as áreas de esquadria pela área total do bloco em estudo, seguindo o método prescritivo. A transmitância, absortância e capacidade térmica das paredes e coberturas da edificação foram exportadas do método RTQ-C, que ponderou as propriedades dos elementos da envoltória para se chegar em um valor para a edificação. Os ângulos verticais e horizontais de sombreamento também seguiram metodologia de cálculo do método prescritivo.

Os resultados do percentual de horas em desconforto da edificação (FHDesc) podem ser vistos na Figura 11. Observa-se cinco resultados para percentual de horas em desconforto na edificação, sendo, o primeiro, o melhor resultado para consideração no novo método de avaliação da eficiência energética. Os outros levam em consideração erros e intervalos de precisão, conforme modelo de caracterização de erro.



Figura 11 – Resultados Natural Comfort (Rackes *et al*, 2016).

Na Figura 12, observa-se os resultados dos limites dos níveis de eficiência da envoltória, obtidos pela análise do Coeficiente de Redução da Carga Térmica da classe D para classe A (CRCgTD-A) conforme a Tabela 5.20 do Novo Método (MDIC; INMETRO, 2018). Os valores totais de carga térmica correspondem à soma dos dois blocos em estudo e a classificação da eficiência da envoltória foi obtida pelo produto da carga térmica total pelo fator de desconforto, resultando na classificação A.

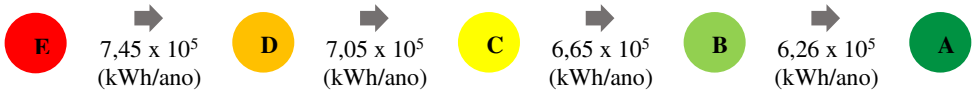


Figura 12 – Escala de Avaliação de Desempenho da Envoltória.

Tabela 7 – Resultados.

Carga Térmica Obtida		Classificação
CgTTReal (kWh/ano)	4,11 x 10⁵	A

4.6. Discussão dos resultados

Os resultados obtidos, em ambos os métodos, demonstram que a especificação dos materiais de fechamentos externos do Prédio 20 propiciaram desempenho térmico adequado às condições climáticas locais, destacando-se os revestimentos compostos por isolantes térmicos nas fachadas e, na cobertura, além de elementos de sombreamento. No entanto, a especificação das cores não atendeu aos limites de absortância máximos previstos, uma vez que foram utilizadas cores escuras e revestimentos texturizados.

Os resultados para o sistema de iluminação indicam que há quantidade excessiva de lâmpadas instaladas no edifício. Ademais, pode-se constatar que o sistema é quase totalmente artificial, subaproveitando a luz natural na maioria dos ambientes. Assim, percebe-se que, para atender ao nível A de eficiência, deve-se modificar a disposição dos condutores dos ambientes de modo a permitir o acionamento independente da última fileira de luminárias paralela às aberturas, bem como de reduzir no mínimo 4.474 W de potência instalada. Considerando que uma luminária de sala de aula possui 4 lâmpadas de 14 W com 2 reatores de 3,4 W cada, a redução de em média 2,55 luminárias por sala de aula seria suficiente para proporcionar este alcance e seria mais viável que a troca do tipo das lâmpadas por LED.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou-se a eficiência energética de uma edificação pública de ensino naturalmente ventilada localizada em Belo Horizonte - MG (ZB3). Por meio de estudo aplicado ao Prédio 20 do CEFET-MG,

comparou-se os resultados da eficiência energética da envoltória obtidos pelo método simplificado do RTQ-C (2013) e pelo novo método proposto (2018). Os resultados permitiram verificar desempenho térmico inadequado do edifício para o clima exposto. Nota-se, portanto, a necessidade de ajustes na envoltória e no sistema de iluminação para melhoria da eficiência edilícia e das condições de conforto térmico propiciadas.

A classificação satisfatória obtida no novo método pode ter sido favorecida pelas adaptações realizadas para a sua aplicação. No método prescritivo, obteve-se a classificação C para a envoltória e sistema de iluminação e, D, para a ventilação natural, resultando na classificação geral de nível C, para a eficiência energética do edifício. A especificação da envoltória propiciou resultados adequados de transmitância térmica. Entretanto, o não atendimento aos pré-requisitos de absortância da envoltória e de contribuição da luz natural, bem como a potência instalada de iluminação excessiva no edifício foram os pontos negativos encontrados. Tal fato pode gerar desconforto térmico aos usuários e, consequentemente, maior consumo energético. Esta hipótese é reforçada pela real sensação de desconforto térmico vivenciada e relatada pelos usuários do edifício. Os resultados da simulação realizada por Araújo (2018) corroboraram com esta hipótese, uma vez que o edifício não apresentou condições de conforto térmico aceitáveis.

Este estudo de caso proporcionou contribuição prática, ao tornar explícito e comprovar a restrição para se atingir a classe A de eficiência no prédio 20, e contribuição acadêmica, ao definir um modelo de estudo para possibilitar a avaliação da envoltória, servindo de referência para o estudo de edifícios semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Murilo Campos. **Análise das condições de conforto térmico nas salas de aula do prédio 20 do CEFET-MG via simulação computacional**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Mecânica. Belo Horizonte, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2.** Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 15220-3:** Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. **Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001**. Brasília, DF, 2001a.

_____. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Brasília, DF, 2001b.

BRASIL; EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2018:** Ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL; INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA; ELETROBRAS. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C)**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL; MPOG - MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Instrução Normativa nº 2, de 04 de junho de 2014**. Secretária de Logística e Tecnologia da Informação. Brasília, DF, 2014.

CAMPOS, Ivna Baquit; NETO, José de Paula Barros. Análise da adequação de um edifício comercial à etiqueta PROCEL Edifica de eficiência energética. XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais**... Juiz de Fora, 2012.

CHLELA, Fadi; HUSAUNNDEE, Ahmad; INARD, Christian; RIEDERER, Peter. A new methodology for the design of low energy buildings. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 9, p. 982-990. Elsevier, 2009.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy technology perspectives 2016**. Towards sustainable urban energy systems. Paris, 2016

MDIC - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS; INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018 - **Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.** Rio de Janeiro, 2018

JÚNIOR, João Fernandes; SOUZA, Roberta Vieira Gonçalves. Aplicação de processo de etiquetagem a edificação escolar padrão do Estado de Minas Gerais. XIII Encontro Nacional e IX Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais**... Campinas, 2015.

RIBEIRO, Ricardo Bastos Piqueira. **Análise de certificação de edificação pública de ensino e pesquisa visando nível A pelo RTQ-C através de ações de eficiência energética e análise econômica**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SANGOI, Juliana M.; RAMOS, Greici; LAMBERTS, Roberto. 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 CEFET-MG pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.