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

CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL EM BELO HORIZONTE

Bruno Mozelli de Oliveira Reis (1); Carolina Almeida Paiva (2); Raquel Diniz Oliveira (3)
(1) Engenheiro de Produção Civil, brunonls@hotmail.com, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG), Departamento de Engenharia Civil
(2) Estudante, Graduanda em Engenheira de Produção Civil, carolinaalmeidapaiva@hotmail.com, CEFETMG, Departamento de Engenharia Civil
(3) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, raqueldiniz@cefetmg.br, CEFETMG
Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, 7675. Prédio 12, sala 221. Belo Horizonte–MG, 30510-000, Tel.: (31) 3319 6810

RESUMO
Os edifícios, de um modo geral, figuram entre os maiores consumidores de energia em âmbito mundial. Por outro lado, verifica-se potencial considerável para redução do seu consumo se adotadas estratégias e tecnologias propiciando otimizar a sua eficiência energética. Neste contexto, programas de etiquetagem se mostram importantes para auxiliar a difundir esses conceitos além de apresentar métodos para avaliar a eficiência energética em edificações. Com o objetivo principal de avaliar o nível de eficiência energética em uma habitação multifamiliar situada em Belo Horizonte; este trabalho foi baseado em um estudo de caso no qual foi utilizado o método RTQ-R (2012), para classificar o nível de eficiência energética de uma edificação. Para obter a classificação final, foram analisadas as unidades habitacionais (UH's) individualmente considerando uma série de fatores, como a Zona Bioclimática na qual o edifício está situado, a sua envoltória, seu sistema de ventilação e iluminação natural, do sistema de distribuição de energia elétrica e de água, entre outros fatores, além das bonificações que podem ser potencialmente alcançadas. Posteriormente, fez-se uma média ponderada da classificação de cada UH considerando a sua área útil. As unidades habitacionais em geral receberam uma boa classificação final e, consequentemente, o edifício. Contudo, para receberem a nota máxima (A) algumas modificações devem ser realizadas. Tais modificações não resultariam em um alto valor de investimento, sendo acrescidos 1,79% do total da obra resultando em um acréscimo de 0,031% por apartamento (57 unidades), representando uma pequena porcentagem no valor final do empreendimento. Cumpre destacar que a aplicação de medidas de eficiência energética deve ser feita, idealmente, na fase de concepção do projeto.
Palavras-chave: Eficiência energética; Método RTQ-R; Estudo de caso, levantamento de custo.

ABSTRACT
The global building stock present relevant energy consumption and also great potential to its reduction due to energy efficiency strategies. Likewise, building labelling have great importance to foster this goal. The objective proposed for this paper was evaluated the energy efficiency level and its improvement for a habitational building located in Belo Horizonte, Brazil. The building evaluation was carried out through simplified method according to parameters established by RTQ-R (2012). To final rate, the housing units (UH's) were analyzed individually considering the Bioclimatic Zone where the building is located, its envelope, its ventilation system and daylighting, electricity and water distribution system and so on, besides some bonuses strategies. To whole building rate was used the weighted average of each UH considering its useful area. Broadly, the housing units received a good final grade and, consequently, the building. On the other hand, to receive the highest grade some modifications must be made. Those modifications would not result in a costly investment, representing a small increase percentage over the construction cost. In short, it is indeed crucial consider energy efficiency strategies since the early design.
Keywords: Energy Efficiency, RTQ-R method; Case study.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação relacionada às mudanças climáticas associada a urgência de descarbonizar os ambientes, entre outros fatores, contribuíram para impulsionar a inovação tecnológica e a pesquisa acerca do conforto térmico (DE DEAR, 2013). Neste contexto, os usuários têm se mostrado mais atentos e conscientes em relação ao seu consumo energético seja por questões de cunho financeiro que podem motivar as suas escolhas e tomada de decisão seja por sistemas *eco-feedback* que permitem medir, armazenar e exibir informações de energia (PAONE; BACHER, 2018). Assim, as edificações devem oferecer condições térmicas adequadas no seu interior, sejam quais forem as condições climáticas externas, preferencialmente com o menor consumo de energia possível.

Dessa forma, considerando o ambiente construído, a utilização da energia de forma eficiente se mostra uma das principais medidas para atribuir-lhe maior sustentabilidade no seu uso. Na construção civil, a eficiência energética, sustentabilidade e o meio ambiente se inter-relacionam (LAMBERTS et al, 2010). As edificações apresentam, portanto, significativo potencial para a redução do consumo energético brasileiro. Estudo apresentado pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica), estima um potencial de redução no consumo de eletricidade de 30% para edificações existentes e até 50% para novas edificações por meio de ações de eficiência (PROCEL INFO, 2006). Assim, melhorias no sistema construtivo, adoção de tecnologias economizadoras, consideração das características de climáticas locais, entre outros aspectos pode-se contribuir para minimizar o consumo de energia elétrica (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edificações Residenciais (RTQ-R) dispõe de métodos voluntários para a avaliação e estimativa da classificação das edificações residenciais, conforme Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) em que cada unidade habitacional (UH) é avaliada individualmente. Nessa avaliação há dois sistemas individuais que compõem o nível de eficiência energética de acordo com a Zona bioclimática e a região geográfica em que uma edificação se localiza; a envoltória e o sistema de aquecimento de água. Para garantir níveis de eficiência mais elevados é preciso atender a certos pré-requisitos para cada um dos sistemas analisados (INMETRO, 2012).

Inicialmente é realizada a avaliação de cada área de permanência prolongada (APP) da unidade habitacional (UH), verificando os pré-requisitos relativos à envoltória, transmitância e capacidade térmicas, iluminação e ventilação naturais. Após a avaliação dos ambientes distintos verifica-se as características da UH como um todo, o sistema de medição de água, sistema de medição de energia, ventilação cruzada e ventilação natural dos banheiros, para dessa forma classificar os pré-requisitos da envoltória da UH. Em relação ao sistema de aquecimento de água, verifica-se qual encontra-se instalado na UH, verificando suas características para classificar a UH em relação a esse requisito (INMETRO, 2012).

Além disso, são avaliadas as estratégias implementadas no edifício passíveis de bonificações que representam pontos extras e visam incentivar o uso de estratégias mais eficientes. Relacionadas a ventilação natural, iluminação natural e outros aspectos como uso racional de água, bem como a classificação da ENCE dos equipamentos utilizados para iluminação artificial, ar condicionado, ventilação artificial, refrigeradores, etc. Em casos de sistema de aquecimento de água partilhado verifica-se a ocorrência de medição individualizada.

A partir destas verificações será obtida a Pontuação Total da UH (PTUH) e seu nível de eficiência correspondente, podendo ser A (mais eficiente) a E (menos eficiente). Os pré-requisitos devem ser plenamente cumpridos, caso contrário, o nível de eficiência do ambiente receberá a classificação máxima de "C". Em edificações multifamiliares pondera-se a pontuação total de todas as UHs pelas suas áreas úteis. Para obter o nível de eficiência das áreas de uso comum, são avaliadas as áreas comuns de uso frequente (iluminação artificial, bombas centrífugas e elevadores) e as áreas comuns de uso eventual (iluminação artificial, equipamentos, sistema de aquecimento de água para banho, piscina e sauna) existentes na edificação. Para as áreas de uso comum também é possível somar bonificações (INMETRO, 2012). Assim, a classificação do nível de eficiência da UH é o resultado da distribuição dos pesos por meio da Equação 1.

$$PT_{UH} = (a \times EqNumEnv) + [(1 - a) \times EqNumAA] + Bonificações \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

PT_{UH}: pontuação total do nível de eficiência da unidade habitacional;

a: coeficiente adotado de acordo com a região geográfica na qual a edificação está localizada;

EqNumEnv: equivalente numérico do desempenho térmico da envoltória da unidade habitacional autônoma quando ventilada naturalmente, e após a verificação dos pré-requisitos da envoltória;

EqNumAA: equivalente numérico do sistema de aquecimento de água; Bonificações: pontuação atribuída a iniciativas que aumentem a eficiência da edificação.

Considerando os resultados obtidos pela Equação 1 a UH recebe a sua classificação de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do nível de eficiência de acordo com a pontuação obtida.

Pontuação Total (PT)	**Nível de eficiência**
PT ≥ 4,5	A
3,5 ≤ PT < 4,5	B
2,5 ≤ PT < 3,5	C
1,5 ≤ PT < 2,5	D
PT < 1,5	E

Fonte: INMETRO 2012, adaptado pelo autor.

Segundo Triana, Lamberts e Sassi (2015), ao avaliarem o desempenho termo energético de tipologias representativas do Programa Minha Casa Minha Vida no Brasil, utilizando o método prescritivo do RTQ-R, observaram apenas resultados "C", "D" e "E, como no Brasil possui 8 zonas bioclimáticas, ela optou por escolher analisar apenas as duas que representam os climas extremos existentes no Brasil, a zona bioclimática 3 e a zona bioclimática 8. Neste contexto, Oliveira *et al*, 2015 diagnosticaram, por meio de simulação computacional aplicada ao RTQ-R (2012), classificação variando de C, D e E de habitação de interesse social com planta em "H", parede de concreto e laje de concreto com telha de fibrocimento, nas diferentes zonas bioclimáticas brasileiras com potencial de melhoria para a classe A, B e C, respectivamente, caso modificações na orientação do edifício e na sua envoltória fossem implementadas. Dalbem *et al* (2019) apresenta adaptação de envoltória para um projeto de habitação social brasileira para a classe A do RTQ e, posteriormente, ao padrão *Passive House* para 3 diferentes zonas bioclimáticas (ZB) sulistas, por meio de simulação computacional. O investimento adicional representou 26 a 27% no custo original, para o RTQ-R e de 39 e 42%, para o padrão *Passive House*. Dalbem *et al* (2017) verificaram, segundo o método de simulação computacional do RTQ-R (2012), 56,63% de economia no consumo de energia do sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor em comparação com um condicionador de ar de expansão direta, para uma edificação projetada segundo os preceitos norma alemã *Passive House* (2014) para a ZB2.

Em estudo comparativo, Scalco *et al* (2012), indicaram vantagens no método de avaliação energética de edificios residenciais brasileiros estabelecido no RTQ-R, em comparação com aqueles aplicados por outros países. Regulamentos estrageiros, de modo geral são baseados na redução do consumo de energia e emissões de gases de efeito estufa associadas aos sistemas de refrigeração e aquecimento ao passo que o regulamento nacional incentiva projetos que utilizam estratégias bioclimáticas, o aproveitamento das condições climáticas da região bem como a redução do consumo de energia necessário para o condicionamento artificial. Contudo, ainda não existe no Brasil um padrão mínimo de eficiência energética das edificações brasileiras, a exemplo de outros países em que os novos edificios edifícios terão de ser "energia quase zero" a partir de 2020 (JO, 2010). De toda forma, o RTQ-R (2012) contribui para preencher uma lacuna regulatória no cenário nacional. Complementarmente, Silva e Ghisi (2014) indicaram, como mais completo e abrangente, o método de simulação para avaliação do desempenho térmico de envoltória de edificações residenciais estabelecido no RTQ-R (2012) em comparação com aquele estabelecido na NBR 15.575 (2013). Neste contexto, estudos de avaliação da eficiência energética de edificações residenciais podem contribuir para ampliar o *background* bem como a aplicação prática deste tema.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é classificar a eficiência energética de uma edificação multifamiliar em Belo Horizonte e propor alternativas para melhoria da sua eficiência e o custo dessas modificações, caso seja aplicável.

3. MÉTODO

O presente trabalho consiste em uma pesquisa aplicada, destinada à investigação da eficiência energética de edificação residencial. Selecionou-se como estudo de caso habitação multifamiliar, localizada em Belo Horizonte - MG. O método deste trabalho perpassou por três etapas principais:

1. Verificação da classificação da eficiência do edifício pelo método prescritivo estabelecido no RTQ-R (2012).

2. Identificação de estratégias para aprimoramento da eficiência do edifício e análise econômica das possíveis proposições.

3.1. Unidade habitacional autônoma (UH)

Para classificar cada UH verificou-se, individualmente, os requisitos estabelecidos no método prescritivo do RTQ-R (2012). Inicialmente identificou-se as características de cada ambiente de permanência prolongada (APP) e sua área útil, quais sejam: suíte, quarto e sala. No caso da sala, considerou-se a área do corredor por se tratar de um ambiente único segundo critérios deste regulamento.

A zona bioclimática (ZB) em que o edifício se encontra foi extraída da NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Neste contexto, a cidade de Belo Horizonte encontra-se situada na ZB3. A referência para os valores de transmitância térmica, capacidade térmica e absortância à radiação solar das superfícies externas foram extraídos do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2017).

As UH's analisadas de final 1 estão em pavimentos intermediários, dessa forma, sua cobertura não se encontra exposta para o exterior, e seu piso não está sobre pilotis, não tendo, portanto, contato com o solo. Por esta razão, tais critérios não foram levados em consideração. Nota-se que para as UH's 1201/1202/1205/1206 tal caracterização se aplica para o contanto com o exterior por meio da cobertura. Assim, os valores de transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absortância da cobertura (α), foram de 2,06 W/m²K, 233 kJ/m²K e 0,80, respectivamente (INMETRO, 2017). Por outro lado, para a vedação vertical, valores de U, CT e α foram de 2,86 W/m²K, 222 kJ/m²K e 0,27, respectivamente (INMETRO, 2017).

O somatório das áreas de abertura externa da UH foi calculado para cada ambiente de acordo com sua orientação (norte, sul, leste, oeste). Além disto, determinou-se o percentual de abertura para ventilação de acordo com exemplos utilizados no RTQ-R (2012). O fator de sombreamento (Somb) de cada abertura foi verificado e calculado de acordo com o tipo de janela utilizado. Inseriu-se, também, o somatório das áreas de parede interna de cada ambiente e o pé-direito (PD=2,80). As características do isolamento térmico foram desconsideradas por ter influência apenas para as zonas bioclimáticas mais frias (ZB1 e ZB2). Após os cálculos verificou-se que o Graus-hora para Resfriamento (GHR) foi B para todos os ambientes desta UH, o Consumo Relativo para Aquecimento (CA) foi A para o quarto e B para os demais ao passo que o Consumo Relativo para Refrigeração (CR) foi D para quarto, C para a suíte. Para a sala o CR não se aplica.

Verifica-se que os pré-requisitos da envoltória dos ambientes tais como transmitância e capacidade térmicas, porcentagem de aberturas para ventilação e iluminação natural foram integralmente atendidos em relação aos ambientes avaliados individualmente. Para o ambiente atender ao pré-requisito de ventilação natural a área de abertura para ventilação teve que ser maior ou igual a 8% da área útil do ambiente. Para o pré-requisito de iluminação natural o coeficiente das aberturas precisou ser maior que 12,5% da área útil do ambiente, desconsiderando-se os caixilhos das aberturas e a área do corredor no caso da sala.

Após avaliar individualmente os ambientes, foi necessário verificar a UH como um todo. Verifica-se que a UH atende ao pré-requisito ao possuir medição individualizada de água e energia elétrica e todos os banheiros possuem ventilação natural. Contudo, em relação a ventilação cruzada, os apartamentos da planta tipo não atendem ao mínimo estabelecido, pois o maior percentual de suas aberturas está voltado para uma única orientação. No caso 87% das aberturas da UH estão voltadas para Sul, sendo o mínimo percentual entre a fachada com maior área de aberturas em relação as demais orientações de 25%.

Como a UH não atendeu a um pré-requisito mínimo estabelecido pelo RTQ-R, a maior pontuação que ela poderá alcançar será a classe C. Segundo o RTQ-R (2012) somente seria possível a obtenção dos níveis A e B de eficiência caso o empreendimento atendesse aos pré-requisitos em relação ao desempenho da envoltória, ventilação cruzada e possuísse medição individualizada de água e eletricidade.

Complementarmente, avaliou-se o sistema de aquecimento de água instalado na UH, que apresenta apenas a opção de chuveiro elétrico. Como a construtora disponibiliza apenas a previsão dos pontos de instalação e cabe ao proprietário definir a potência dos chuveiros. Foram considerados chuveiros com potência de até 4.600W. Portanto, ao final dessa avaliação as UH's receberam a classificação D. Cumpre ressaltar que, de acordo com o RTQ-R (2012), os chuveiros elétricos com potência superior a 4.600W tem classificação E.

Para aumentar o nível de eficiência da edificação são avaliadas algumas iniciativas, com pesos diferenciados, que podem ser bonificadas. Caso aplicável, seus valores são somados e acrescidos ao final da nota da UH. Essas bonificações são divididas em ventilação natural, iluminação natural, uso racional de água, condicionamento artificial de ar, iluminação artificial, adoção de ventiladores de teto, refrigeradores instalados na UH e medição individualizada. No caso da UH avaliada, alguns itens não foram considerados pelo fato do apartamento ser entregue apenas com os pontos para instalação como o caso da iluminação artificial, ventiladores de teto, refrigeradores e condicionamento artificial. Nos demais requisitos em que foi possível verificar o atendimento das bonificações a UH apresentou um total de 0,42 pontos de bonificação, sendo 0,12 referente a porosidade avaliada para a ventilação natural, 0,20 relativo à profundidade do

ambiente e 0,10 no que tange a refletância do teto, ambos aplicáveis a iluminação natural. A título de exemplificação, a classificação final da UH de final 1 pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Pontuação total da UH de final 1.

Parâmetro	**Classificação**	**Pontuação**
Envoltória para verão	C	3,00
Envoltória para inverno	B	4,23
Aquecimento de água	D	2,00
Equivalente numérico da envoltória	C	3,44
Envoltória se refrigerada artificialmente	C	2,59
Bonificações	-	0,42
Região	Sudeste	-
Coeficiente a	-	0,65
Resultado final da UH	**C**	**3,36**

Fonte: PBE EDIFICA, [201-] adaptado pelo autor.

Verifica-se que a UH de final 1, adotada como exemplificação dos cálculos, atendeu aos pré-requisitos de transmitâncias e absortâncias térmicas das paredes externas e coberturas, iluminação natural, medição individualizada de energia e água, mas não obteve o mínimo no quesito ventilação natural, especificamente quando analisada a sua ventilação cruzada. Como a edificação multifamiliar apresenta 6 UH's por pavimento tipo, as aberturas de cada UH se mostraram limitadas em geral a apenas uma orientação, não atendendo a esse pré-requisito. Para o sistema de aquecimento de água existe apenas a opção de chuveiros elétricos e a edificação apresentou poucas estratégias e equipamentos que possibilitariam bonificações.

3.2. Edificação multifamiliar

Para obter a classificação das outras UH's presentes na edificação multifamiliar o método de cálculo aplicado foi o mesmo apresentado para as UH's intermediárias de final 1. À exceção de alguns casos especiais, por exemplo, a cobertura das UH's 1103 e 1104, na qual foi necessário calcular os valores de transmitância térmica (U cob) e capacidade térmica (CT cob). Assim, com base na metodologia de cálculo estabelecida na NBR 15220 (2005), estimou-se os valores para tais parâmetros (U e CT), baseado nas especificações do memorial de projeto que estabelece os materiais em que o sistema construtivo da cobertura foi constituído.

Outro aspecto relevante apontado na avaliação da edificação, foi a verificação das UH's situadas no ultimo pavimento. O Pavimento é composto por um menor número de UH's (quatro), possibilitando o atendimento do pré-requisito de ventilação cruzada, mas pelo fato do sistema construtivo da envoltória da cobertura utilizar telhas de fibrocimento (α=0,80), também não atendeu a um pré-requisito do regulamento referente as características da envoltória. Desta forma, obteve-se a classificação C para esta tipologia de UH.

Por fim, após o cálculo de todas as UH'S foi realizada a ponderação da pontuação de cada UH considerando sua área útil, obtendo assim a classificação final da edificação multifamiliar. Pontuação total 3,32, nível C, conforme se observa na Tabela 3.

Tabela 3 – Somatório das classificações das UH's.

Local avaliado	**Área (m²)**	**Quantidade**	**Classificação**	**Pontuação**
Apartamento final 1	61,7	9	C	3,36
Apartamento final 2	61,7	9	C	3,36
Apartamento final 5	61,7	9	C	3,36
Apartamento final 6	61,7	9	C	3,36
Apartamento final 3	59,3	8	C	3,24
Apartamento final 4	64,3	7	C	3,44
Apartamento 1103	59,2	1	C	3,24
Apartamento 1104	64,3	1	C	3,18
Apartamento de Cobertura 1201	61,7	1	C	3,07
Apartamento de Cobertura 1202	61,7	1	C	3,07
Apartamento de Cobertura 1205	61,7	1	C	3,07
Apartamento de Cobertura 1206	61,7	1	C	3,07
Edificação multifamiliar	**3.516,0**	**57 UH's**	**C**	**3,32**

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

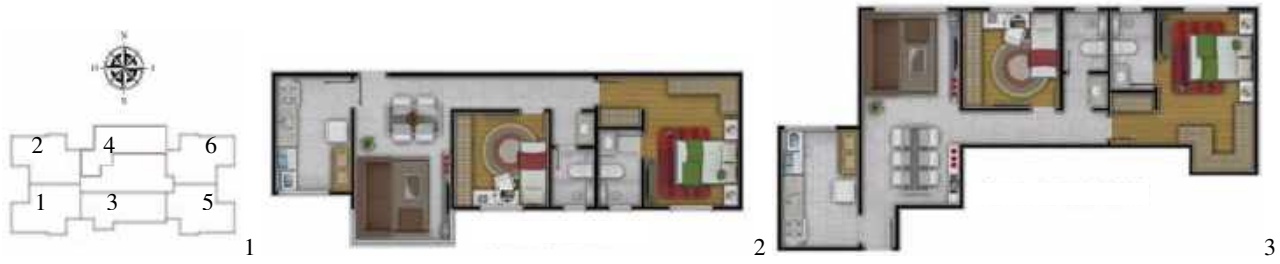
4.1. Estudo de Caso

O edifício estudado localiza-se no Bairro Luxemburgo, em área valorizada[1] da região centro-sul de Belo Horizonte-MG, e apresenta 12 pavimentos sendo os 2 primeiros executados em concreto armado (áreas comum e garagem) e os outros 10 em alvenaria estrutural, totalizando 57 UH's (3.516,0m²) e 7.972,36m² de área construída, incluso a área de uso comum.

As unidades habitacionais se distribuem da seguinte forma: cinco apartamentos no terceiro pavimento, seis apartamentos por pavimento tipo e quatro apartamentos com área externa no último pavimento. Os apartamentos são compostos por uma suíte, um quarto, um banheiro, sala de estar/jantar e cozinha, na planta tipo a cozinha é do tipo americana. Os apartamentos possuem pé-direito de 2,80 m.

Conforme especificações de absortância das cores apresentadas no Catalogo de propriedades térmicas do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2017), em complemento ao projeto executivo, a fachada é revestida por textura tipo Grafiato na cor palha (α=0,27). A cobertura é composta por laje de concreto maciço 10 cm e de telha de fibrocimento (α=0,80). As paredes, tetos internos e cobertura se apresentam na cor branca (α=0,15). O edifício possui medição individualizada de energia elétrica, água fria e gás. O sistema de aquecimento de água é apenas elétrico.

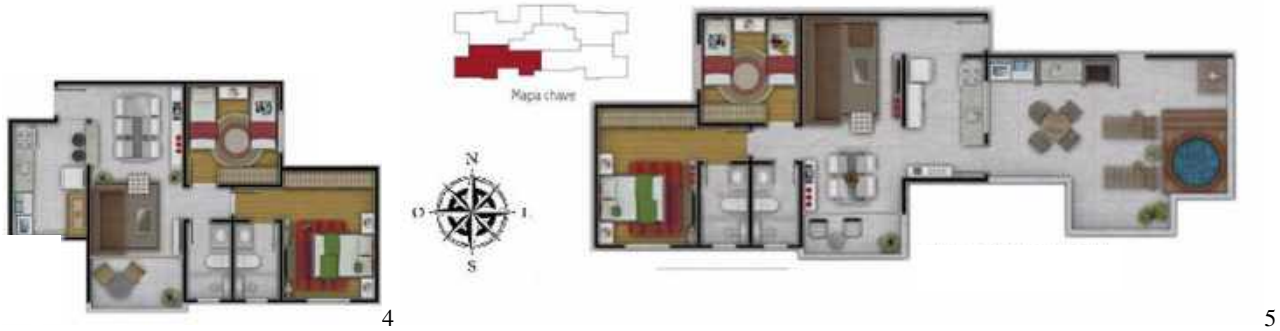
A Figura 1 apresenta o mapa chave dos apartamentos tipo de final 1 a 6 bem como a orientação da edificação. A Figura 2 e 3 apresenta o *layout* do apartamento do pavimento tipo, final 3 dotado de 59,3m² e orientado a sul e, final 4, com 64,3 m², situado na orientação norte, respectivamente.



1 2 3

Figura 1 - Mapa Chave. Figura 2 - Planta humanizada do apartamento final 3. Figura 3 - Planta humanizada do apartamento final 4.

A Figura 4 representa o apartamento final 05, com 61,7m², situado a sudeste, dotado de varanda. Os apartamentos de final 1 (sudoeste), 2 (noroeste), 6 (nordeste) são variações da mesma planta em diferentes orientações. A Figura 5 representa o apartamento de cobertura de número 1201 localizado a sudoeste da edificação, tem 85,4m² e sua tipologia pode representar também as outras unidades do pavimento de cobertura alterando apenas a orientação, 1202 (Noroeste), 1205 (Sudeste) e 1206 (Nordeste). A UH de cobertura é composta por Cozinha, Sala, Varanda, Quarto, Suíte, Banho Social, Banho Suíte e Área Externa *Gourmet.*



4 5

Figura 4 - Planta humanizada dos apartamentos final 1, 2, 5 e 6. Figura 5 - Planta humanizada dos apartamentos tipo da cobertura.

4.2 Análise

Ao analisarmos a edificação multifamiliar foi possível verificar o cumprimento dos pré-requisitos relacionados as propriedades térmicas dos componentes do sistema construtivo, transmitância, capacidade térmica e absortância de paredes dos ambientes de permanência prolongada, de acordo com as prescrições

[1]Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) referente a renda igual a 1 de acordo com a medida regional do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento no Brasil (PNUD) do ano de 2013 apresentada pelo Atlas de desenvolvimento Humano no Brasil. Maiores informações em: http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/.

estabelecidas para zona bioclimática 3 (Belo Horizonte-MG), em que se situa a edificação. Também foram atendidas as áreas mínimas de abertura para iluminação e ventilação naturais de todos os ambientes. Contudo, ao avaliar a ventilação cruzada verificou-se que apenas 4 UH's atenderam ao coeficiente mínimo.

Para que a edificação analisada no presente trabalho atinja o nível de classificação A segundo os critérios estabelecidos pelo RTQ-R (2012) deve-se realizar um estudo das alterações e estratégias necessárias a serem adotadas para atingir tal objetivo. Nesse sentido, as alterações no *layout* e posicionamento das aberturas verificando as orientações ainda na fase de projeto da edificação deveriam ser consideradas levando em consideração a predominância dos ventos. Na cidade de Belo Horizonte, durante a manhã de inverno verifica-se a predominância de vento na direção leste ao passo que no período noturno do verão e durante a tarde da primavera evidencia-se a direção sul. Nas demais estações e períodos do dia a predominância dos ventos em Belo Horizonte está na direção sudeste. Neste contexto, os apartamentos tipo com o final 4, originalmente com as aberturas voltadas para a orientação norte, devem ter a orientação das aberturas modificadas para atender ao pré-requisito de ventilação cruzada. Assim, a abertura da sala deverá ser voltada para oeste e da suíte, para leste.

Nos apartamentos tipo, final 1, 2, 5 e 6 a alteração necessária foi aplicável apenas na orientação da abertura do quarto. No caso do apartamento tipo com o final 1, a alteração da orientação foi de sul para oeste. Para o apartamento de final 3, as aberturas originais da sala voltadas para sul, precisaram ser modificadas para leste e oeste. Após tais proposições verificou-se o atendimento integral da envoltória aos pré-requisitos estabelecidos pelo RTQ-R (2012) para a ventilação cruzada. Apenas as unidades com final 2, 4 e 6 não precisaram modificar suas aberturas, pois estas já estavam dispostas em concordância com o regulamento.

Outro pré-requisito especificado em desconformidade havia sido a cobertura, composta por laje de concreto e telhas de fibrocimento na cor cinza (α=0,80). O limite máximo da absortância à radiação solar da superfície externa da cobertura deveria ser 0,60. A estratégia proposta para atendimento do sistema de cobertua foi a troca da telha de fibrocimento comum pela telha térmica de fibrocimento *TopComfort* branca (α=0,27) (BRASILIT, [201-]), possibilitando melhor desempenho térmico e atendimento aos pré-requisitos propostos pelo regulamento. Como as duas tipologias de telha apresentam tamanhos e configurações semelhantes, não foram consideradas alterações no restante do sistema construtivo do telhado. Assim, o valor acrescido ao orçamento pela modificação proposta seria de R$3.283,68.

Outro fator que contribuiu negativamente para a classificação final da edificação foram os chuveiros. As UH's apresentam apenas o chuveiro elétrico como opção de aquecimento de água. Assim, como alternativa para o aquecimento de água, sugere-se o aquecimento a gás, pois a edificação já possui rede de canalizações que levam o gás liquefeito de petróleo (GLP) da Central de gás situada no primeiro pavimento para todas as UH's, com pontos na Cozinha. Desta forma, será necessário apenas modificações na estrutura de instalação interna das UH's conforme especificações da NBR 13.103 (ABNT, 2013). Ademais, deverá ser ponderada a otimização dos trechos de modo a deixar mais curtos possíveis os percursos para evitar perdas de temperatura na tubulação conforme prescrições da NBR 7.198 (ABNT, 1993).

Baseado na NBR 7.198 (1993) e NBR 13.103 (2013) verificou-se os requisitos e materiais necessários para a instalação deste sistema. A estimativa de custo teve como base pesquisas de mercado direcionadas a empresas especializadas em Instalação de Gás, bem como consultas a tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) da Caixa realizadas em novembro de 2018 (CAIXA, [201-]). Para a metragem de tubulação por apartamento, foi considerado que a UH que necessitaria do maior percurso para a instalação do sistema, caso que demandaria maior custo. Também foi necessário considerar que os valores apresentados nas tabelas da SINAPI apresentariam um acréscimo de Benefícios e Despesas Indiretas. Para escolha do aquecedor foi realizado o cálculo de demanda necessária para atendimento de 100% do sistema com nível A de classificação segundo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

Neste contexto, cada UH possui 2 chuveiros, cuja vazão obtida por meio de consulta a NBR 5626 (ABNT, 1998) foi de 12 litros/minuto, considerando o funcionamento de ambos de forma simultânea temos a vazão de 24 litros por minuto. Dessa forma o volume de recuperação foi de 1.440 l/h (24 l/min), a temperatura da água para consumo considerada foi de 40ºC e a temperatura da água fria foi de 20ºC. Assim, a potência mínima necessária foi de 33,48kW. Com base em pesquisa de mercado realizada em de empresas especializadas foi escolhido o Aquecedor a Gás Digital Komeco KO31D 30 l/min Bivolt GN/GLP (KOMECO, 2016), pois atendeu 100% da demanda além de apresentar ENCE nível A e o menor custo em comparação com as outras opções cotadas. Por meio desse levantamento de custos e quantitativo foi possível estimar o custo final da implantação deste sistema conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 4- Levantamento de custos - Sistema de aquecimento à gás

Serviço + material	**Quantidade**	**Preço total R$**
Tubo de cobre classe "a", dn = 1/2 " (15 mm), para instalações de média pressão m 35,45	114 metros	4.607,76
Bucha de reducao de cobre (ref 600-2) sem anel de solda, ponta x bolsa, 22 x 15 un 6,32	57 unidades	410,73
Luva de cobre (ref 600) sem anel de solda, bolsa x bolsa, 15 mm	114 unidades	458,83
Te cobre (ref 611) sem anel de solda, bolsa x bolsa, 15mm	97 unidades	618,23
Medidores de gás glp g 1.0	57 unidades	9.741,94
Aquecedor a gás digital komeco ko31d 30 litros - bivolt gn/glp ENCE A	57 unidades	181.314,44
Tubo, cpvc, soldável, dn 22mm, instalado em ramal ou sub-ramal de água m cr 21,93	342 unidades	8.551,33
Joelho 90 graus, cpvc, soldável, dn 22mm instalado em ramal ou sub-ra un cr 7,98	171 unidades	1.555,85
Joelho 45 graus, cpvc, soldável, dn 22mm, instalado em ramal ou sub-ra un cr 9,19	114 unidades	1.194,51
Curva 90 graus, cpvc, soldável, dn 22mm, instalado em ramal ou sub-ram un cr 9,59	57 unidades	623,25
Luva, cpvc, soldável, dn 22mm, instalado em ramal ou sub-ramal de água un cr 5,28	57 unidades	343,15
Bucha de redução, cpvc, soldável, dn22mm x 15mm, instalado em ramal ou un cr 4,28	19 unidades	92,72
Te, cpvc, soldável, dn 22mm, instalado em ramal ou sub-ramal de água - un cr 9,04	23 unidades	237,06
Luva, cpvc, soldável, dn 22mm, instalado em ramal de distribuição de á un cr 4,21	114 unidades	547,21
Tubo, cpvc, soldável, dn 15mm, instalado em ramal ou sub-ramal de água m cr 14,58	19 metros	315,85
Bonificações e despesas indiretas	verba	8.564,30
Valor Total	**verba**	**219.177,17**

Após todas as modificações propostas tais como, alteração na orientação das aberturas, sem consideração de custo adicional, demandando apenas ajuste de projeto, substituição da telha com custo adicional (R$ 3.283,68) e, instalação do sistema de aquecimento de água, com custo adicional (R$ 219.177,17), o Nível A foi alcançado conforme exigências do RTQ-R (2012). Complementarmente, foram consideradas melhorias relacionadas às bonificações, o uso de dispositivos especiais para auxiliar o sistema de aquecimento a gás. Desta forma considerou-se a instalação de redutores de pressão para os chuveiros, que apresentam custo reduzido e significativa influência no desempenho e eficiência do sistema de aquecimento. Assim, em caso de utilização simultânea dos chuveiros, mesmo com os cálculos adequados para a demanda estabelecida nas normas, pode ocorrer aquecimento insuficiente, principalmente em casos de pressão nos pontos de consumo elevado, situação recorrente em edificações acima de 10 andares. A estimativa de custo dos redutores foi realizada por meio de pesquisas de mercado, com o objetivo de encontrar a opção que atenda ao sistema de aquecimento proposto. Verifica-se que esta estratégia teve um custo reduzido face aos benefícios que este item pode agregar ao funcionamento do aquecimento a gás. Desta forma, seria contabilizado o acréscimo de R$10,15 por UH, dispensando a necessidade de mão de obra para a instalação por se tratar de um dispositivo acoplado ao chuveiro de encaixe simples. Assim, para 114 unidades (2 peças para cada uma das 57 UH'S) o custo desta modificação seria de R$ 1.157,10.

4.3. Análise econômica das estratégias

O presente estudo apresenta estimativa de custo das estratégias e modificações necessárias para se obter a classificação A da edificação em análise. Cabe destacar que os valores são estimados considerando que as modificações deveriam ser realizadas ainda na fase de projeto. Para esse levantamento foram realizadas pesquisas de mercado direcionadas a empresas especializadas, realizadas em novembro de 2018. Assim, o valor referente a cada estratégia foi somado e o valor global da edificação, conforme orçamento realizado pela construtora em novembro de 2015, foi atualizado segundo o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), tendo como base o mês de novembro de 2018. Neste contexto se mostrou necessário, também, estimar os custos para a etiquetagem da edificação. Assim, considerando a análise de 57 UH's e 3.516m² de área construída, adotou-se para esta estimativa os valores indicados por Rodrigues *et al* (2012), atualizados para novembro de 2018. Diante de ausência de dados, a área de uso comum não entrou na análise do presente estudo não tendo sido considerada, portanto, nesta estimativa.

Tabela 5 – Comparativo de custos relacionados ao estudo de caso.

Parâmetro	**Dados econômicos**
Custo da obra atualizado	R$ 14.597.872,45
Custo das modificações propostas	R$ 223.617,95
Custo da etiquetagem da edificação	R$ 37.088,08
Custo por UH (57 no total)	R$ 4.573,79
Percentual do custo acrescido	1,79%
Custo total	**R$ 260.706,03**

Verifica-se que os custos relativos as melhorias necessárias para a edificação alcançar a classificação A representa apenas 1,79% do valor total da obra se mostrando, portanto, como uma estratégia viável do ponto de vista econômico.

4.4. Classificação final após as modificações

Após orçar o custo das modificações necessárias para atingir a classificação A (mudança no posicionamento das janelas, alteração das telhas, acréscimo do redutor de pressão e instalação de aquecedor a gás), refez-se os cálculos de cada tipologia presente na Edificação Multifamiliar. Assim, com base nas informações apresentadas na Tabela 6 verifica-se, portanto, o atendimento da classificação final A segundo o RTQ-R (2012) seja para as UH's em separado seja para a edificação multifamiliar. Desta forma, as mudanças propostas se mostraram efetivas também sobre o viés técnico para cumprir com o objetivo de otimizar a eficiência energética da edificação com base nos parâmetros estabelecidos no regulamento em questão.

Tabela 6 – Classificação final após as modificações propostas.

UH's	Área	Quantidade	Classificação	Pontuação
Apartamento final 1	61,7	9	A	4,82
Apartamento final 2	61,7	9	A	4,82
Apartamento final 5	61,7	9	A	4,82
Apartamento final 6	61,7	9	A	4,82
Apartamento final 3	59,3	8	A	4,88
Apartamento final 4	64,3	7	A	4,88
Apartamento 1103	59,2	1	A	4,88
Apartamento 1104	64,3	1	A	4,88
Apartamento de Cobertura 1201	61,7	1	A	4,86
Apartamento de Cobertura 1202	61,7	1	A	4,86
Apartamento de Cobertura 1205	61,7	1	A	4,86
Apartamento de Cobertura 1206	61,7	1	A	4,86
Edificação multifamiliar	**3.516,0**	**57 UH's**	**A**	**4,83**

5. CONCLUSÕES

Em relação ao custo, as modificações propostas se mostraram viáveis, caso elas fossem realizadas durante a fase de projeto. Neste caso, o valor do investimento representaria 1,79% a mais no valor final do empreendimento. Cumpre destacar que tais modificações resultam, ainda, em uma valorização do imóvel que passaria a atender um padrão diferenciado dos demais disponíveis no mercado.

Por fim, a aplicação do RTQ-R (2012) para um estudo de caso permitiu a constatação de que se trata de uma ferramenta que busca estimular a utilização de técnicas, estratégias, soluções arquitetônicas e dispositivos condizentes com a Zona Bioclimática em que a edificação se situa. Acredita-se, portanto, que a utilização e disseminação dos conceitos presentes no regulamento podem contribuir para a redução do consumo de energia elétrica, mas não pode garantir por si só a eficiência energética do edifício e redução do seu consumo, pois em geral, as iniciativas e estratégias para a sua redução dependem dos hábitos de consumo dos usuários, entre outros.

Neste sentido, a conscientização dos usuários deve ser difundida e estimulada assim como as estratégias para aumentar a eficiência dos edifícios permitindo o alcance de resultados verdadeiramente relevantes para a redução do consumo de energia elétrica. Este trabalho se propôs, portanto, a apresentar uma contribuição para este tema. Vale ressaltar, ainda, que a aplicação de medidas de eficiência energética deve ser feita desde a concepção do projeto, em conjunto com todos os projetistas possibilitando, assim, resultados mais exequíveis e assertivos. Após construído o edifício pode apresentar um número maior de fatores limitantes para alterações e alcance de limites regulatórios e conceitos de eficiência energética.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7198**: Projeto e execução de instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

_____. **NBR 13.103**: Instalação de aparelhos a gás para uso residencial - Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15.220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BRASILIT. Produtos - Telha Térmica de Fibrocimento TopComfort. Manaus, Belém, Porto Velho, [201-]. Disponível em: <https://www.brasilit.com.br/produtos/telha-termica-fibrocimento-topcomfort>. Acesso em mar. 2019.

CAIXA. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Brasília, [201-]. Dsiponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em nov. 2018.

DALBEM, Renata; CUNHA, Eduardo Grala da; VICENTE, Romeu; FIGUEIREDO, Antonio; OLIVEIRA, Rui; SILVA, Antonio César Silveira Baptista da. Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept. **Energy** 167, 2019, p. 1278-1296.

DALBEM, R.; CUNHA, E. G. da; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A. J.; SILVA, A. C. S. B. da. Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 201-222, jan./mar. 2017.

DE DEAR, R. J.; AKIMOTO, T.; ARENS, E.A.; BRAGER, G.; CANDIDO, C.; CHEONG, K. W. D.; LI, B.; NISHIHARA, N.; SEKHAR, S. C.; TANABE, S.; TOFTUM, J.; ZHANG, H.; ZHU, Y. Progress in thermal comfort research over the last twenty years. **Indoor Air**, 23, 2013, p. 442-461.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional-Relatório Final, ano base 2017. **Rio de Janeiro**. 2018.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Regulamento Técnico da Qualidade para o nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais – RTQ-R (Portaria nº 18, de 16 de janeiro de 2012). Rio de Janeiro, 2012.

_____. Anexo Geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros (Anexo da Portaria INMETRO Nº 50/ 2013, atualizada em 27/11/2017). Rio de Janeiro, 2017.

JO - Jornal Oficial da União Europeia. **Directiva 2010/31/EU** (Relativa ao desempenho energético dos edifícios - reformulação). Bruxelas: 19 maio 2010. Traduzido e republicado em Portugal em 18 jun. 2010.

KOMECO. Manual do Usuário Komeco - Linha Digital - Modelo: KO 31D/DI. Versão: 10.04.15. Palhoça, 2016. Disponível em: <https://komeco.com.br/fmanager/komeco2017/manuais_produtos/arquivo19_1.pdf>. Acesso em nov. 2018.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobras/PROCEL, 2014. 3. ed.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; Pereira, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. **Casa eficiente**: Uso racional de água. Florianópolis: UFSC/LabEEE; 2010. v. III.

PAONE, Antonio; BACHER, Jean-Philippe. The Impact of Building Occupant Behavior on Energy Efficiency and Methods to Influence It: A Review of the State of the Art. **Energies**, 11, 2018, p. 953.

PBE EDIFICA- Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações. PBE Edifica - Etiquetagem - Residencial - planilhas e catálogos - Planilha de cálculo do desempenho da UH. Rio de Janeiro, [201-]. Disponível em:<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/residencial/planilhas-catalogos>. Acesso em ago. 2018.

PROCEL INFO – Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. Informações Institucionais – Procel. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMIDC46E0FFDBD124A0197D258
7926254722LUMISADMIN1PTBRIE.htm>. Acesso em 20 jun. 2018.

TRIANA, A.M.; LAMBERTS, R.; SASSI, P. Characterization of representative building typologies for social housing projects in Brazil and its energy performance. **Energy Policy**, v. 87, p. 524-541, 2015.

OLIVEIRA, Raquel Diniz. Classificação do desempenho térmico da envoltória de habitação popular em concreto armado. 2015. Tese (doutorado). Programa de Pós-graduação em Engenharia de estruturas. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2015.

OLIVEIRA, Raquel Diniz; SOUZA, R. V. G.; MAIRINK, A. J. M.; RIZZI, M. T. G.; SILVA, R. M. Concrete walls thermal performance analysis by Brazilian Standards. **Energy Procedia**, Volume 78, November 2015, p. 213-218.

RODRIGUES, C; DIAS, A; OLIVEIRA, P; HASBOUN, V; MARTINS, M; PACHECO, G; CARMO, F; PEDRINI, A. Aplicação da Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edifícios RTQ-C. In: XIV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC), 2012, Juiz de Fora. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2012.

SCALCO, Veridiana Atanasio; FOSSATI, Michele; VERSAGE, Rogério de Souza; SORGATO, Marcio José; LAMBERTS, Roberto MORISHITA, Claudia. Innovations in the Brazilian regulations for energy efficiency of residential buildings. **Architectural Science Review**, 55:1, 2012, p. 71-81.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.