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

LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS DE CONSUMO DESAGREGADO DE ENERGIA EM ESCOLA PÚBLICA MUNICIPAL PARA *RETROFITTING*

Isadora Carvalho F. Buchala (1); Beatriz Ribeiro Bartholo (2); Sabrina de Oliveira Fabiano (3); Eleonora Sad de Assis (4); Roberta Vieira G. Souza (5)
(1) Arquiteta-Urbanista, Mestranda, isadoracfb@ufmg.br, Escola de Arquitetura
(2) Graduanda, beatrizrbartholo@ufmg.br, Escola de Arquitetura
(3) Graduanda, sabrinaof@ufmg.br, Escola de Arquitetura
(4) D.Sc., Professora, Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, elsad@ufmg.br
(5) D.Sc., Professora, Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, roberta@ufmg.br
Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído - LABCON
Belo Horizonte - MG, 30130-141, Tel.: (31) 3409-8825

RESUMO

Edifícios complexos, como escolas públicas, são raramente submetidos a avaliações pós-uso para verificar seu estado de conformidade às condições iniciais do projeto ou para sua atualização. Além disso, na esfera municipal lida-se com dificuldades envolvendo a falta de monitoramento do desempenho da edificação, já que regulamentações legais muitas vezes se restringem à escala nacional, e pelo fato de que as escolas municipais, em geral, estão localizadas em espaços urbanos com diversas vulnerabilidades. Este artigo apresenta um estudo de caso com avaliação pós-ocupação energética (APO) na Escola Municipal Herbert José de Souza, em Belo Horizonte, para propor a melhoria do desempenho energético do edifício. Foram levantados dados locais e analisado o consumo desagregado de energia por usos finais do edifício. Técnicas de observação extensiva como *walk-through,* tabulação, representação de dados e criação de cenários de propostas foram utilizadas para entender as atividades desempenhadas e o consumo de energia advindo da utilização de equipamentos e iluminação artificial. Após a análise dos dados levantados, foi possível obter resultados satisfatórios de economia de energia no sistema de equipamentos por meio de troca por equipamentos mais eficientes e com menor potência. No sistema de iluminação, da mesma forma, há grande economia de energia com a troca de lâmpadas fluorescentes por LED e aumento de lâmpadas em ambientes que não atendiam a norma NBR 8995/2013. Dentre as conclusões, destaca-se o fato de que a metodologia selecionada para o estudo foi satisfatória, mesmo havendo limitações quanto à modelagem do consumo estimado. A realização da APO energética se mostrou de grande importância para uma boa proposta de manutenção de edifícios públicos escolares
Palavras-chave: escola pública, *retrofitting*, eficiência energética, consumo desagregado, APO.

ABSTRACT

Complex buildings such as public schools in municipalities are seldom evaluated in post-occupancy situation in order to verify its compliance to the original designed performance or for upgrades. Besides there are lack of data about these buildings performance, since legal regulations are often restricted to the national scale, and because municipal schools are generally located in urban spaces with various vulnerabilities. This paper presents a case study using post-occupation energy assessment (POE) in the Municipal School Herbert José de Souza, located in Belo Horizonte, Brazil, in order to improve the energy efficiency of the building. Local data were collected and analyzed the disaggregated energy consumption of the building. Extensive observation techniques such as walk-through, tabulation, data representation and creation of proposal scenarios were used to understand the activities performed and the energy consumption resulting from the use of equipment and artificial lighting. After analyzing the collected data, it was possible to obtain satisfactory results of energy savings in the equipment system by means of exchange for more efficient

equipment and with less power. In the lighting system there was also great energy savings with the exchange of fluorescent lamps by LED even if there was an increase of lamps in environments that did not meet the norm NBR 8995/2013. Among the conclusions, we highlight the fact that the methodology selected for the study was satisfactory, even though there were limitations in modeling the estimated consumption. POE in energy proved to be of great importance for a good proposal for the maintenance of public municipal school buildings.
Keywords: public school, retrofitting, energy efficiency, disaggregated consumption, POE in energy.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, edificações construídas, de modo geral, não são avaliadas energeticamente após sua ocupação para a verificação dos parâmetros em uso, que dependem da execução do edifício e da utilização dos usuários, em relação aos parâmetros legais, por mais que haja regulamentações nacionais. Desde a década de 1970, o país conta com o Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, muito conhecido pela sociedade pela ampla divulgação realizada em relação à necessidade de se ter equipamentos mais eficientes energeticamente, principalmente os equipamentos da "linha branca". Em 2009, foi publicada a metodologia necessária para a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - ENCE em edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo que para construções públicas, a ENCE se tornou obrigatória em âmbito nacional em 2014 (PROCEL EDIFICA, 2018). A etiquetagem de edifícios se mostra como uma ferramenta legal interessante para difundir a importância da análise pós-ocupação (APO), pois a ENCE só é emitida através de análise do projeto (1ª etapa) e de inspeção da edificação construída (2ª etapa).

Esse mecanismo, porém, faz parte de uma legislação em escala nacional que não influencia diretamente as ações estaduais e municipais, além de que não tem como objetivo realizar a APO energética, e sim, analisar o desempenho da envoltória e de determinados equipamentos inseridos no edifício. Normativas como a Lei da Eficiência Energética (nº 10.295/2001) e o Plano Nacional de Energia (PNE) apoiam ações de eficiência energética, porém não dão diretrizes para sua implementação, mesmo em prédios públicos.

Edifícios públicos escolares, particularmente os municipais, se destacam nesse contexto por estarem localizados em sua maioria em áreas de vulnerabilidade social, o que se relaciona diretamente com a queda da qualidade da educação, como identificado por Machado e Delgado (2007). Dessa forma, a falta de programas efetivos que proporcionem a conscientização da comunidade escolar acerca do uso eficiente da energia contribui também para a ineficiência do edifício (ZAZZINI; MONTELPARE; BASTI, 2018), o que é ainda potencializado pela média significativa de usuários desses edifícios, geralmente, em tempo integral por meio de programas educacionais mais extensivos e aos finais de semana, como o Programa Escola Aberta (MEC, 2018).

Na cidade de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, a situação se mostra complexa, pois, além das questões apresentadas anteriormente, a rede municipal de ensino é dimensionada para atender uma demanda educacional significativa do município (são mais de 200 mil estudantes), contando com cerca de 306 unidades de ensino infantil e fundamental (IBGE, 2018). Grande parte dos recursos disponíveis para o setor municipal de Educação é destinada para gastos com a conta de energia das escolas, o que poderia ser amenizado por meio do *retrofitting*, conforme Ghisi (1997), a partir e propostas de eficientização desses edifícios.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar os dados de consumo energético levantados em edifício complexo como o da Escola Municipal Herbert José de Souza (EMHJS), localizado na região nordeste de Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, para entender e analisar a demanda energética desagregada por usos finais, de modo a aumentar o potencial de eficiência energética da edificação através de *retrofitting*.

3. MÉTODO

Considerando que há poucos casos publicados no âmbito temático desta pesquisa, principalmente em relação ao cenário brasileiro, foi selecionado o método de abordagem indutivo que possibilita a observação de casos específicos para comparação com a base teórica existente. Como métodos de procedimento, foram adotados o estudo de caso e a análise pós-ocupação (APO), sendo realizada a APO energética para atender a demanda da investigação. Os métodos de procedimento foram realizados por meio de técnicas de observação extensiva como *walk-through*, levantamento, tabulação e representação de dados.

Após a organização dos dados levantados, foi elaborada uma planilha com todos os ambientes da

edificação, as instalações de iluminação e equipamentos existentes em cada um e seus respectivos períodos de utilização durante a semana. Tal modelagem permitiu a estimativa mensal do consumo de energia, por meio da consideração do calendário escolar. Embora nas análises ou auditorias energéticas seja costumeiro comparar o cálculo estimativo com as contas mensais de energia durante um ano, no caso de edifícios escolares da rede pública isso não é suficiente, devido às perturbações no calendário decorrentes de greves e atividades extra-curriculares nos fins de semana, que ocorrem com certa frequência, mas com grande variação nas datas. Desse modo, foram usadas as contas mensais de energia de 5 anos para conseguir um melhor ajuste entre a estimativa modelada em planilha de cálculo e o consumo médio mensal real do caso de estudo. Ressalte-se que o processo de ajuste da planilha não é trivial, devido à complexidade do calendário escolar, tendo demandado várias visitas e entrevistas com os usuários e responsáveis pela manutenção do edifício.

3.1. A Escola Municipal Herbert José de Souza como caso de estudo

Em 2016, uma empresa consultora internacional fez um trabalho para a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), indicando um potencial médio de economia de energia em suas 306 escolas de 45%. Porém, estudos genéricos como este não têm como orientar o corpo técnico institucional e, localmente, a comunidade de usuários da edificação, sobre os procedimentos de identificação dos problemas e de diálogo sobre alternativas, a seleção da melhor alternativa considerando a realidade de manutenção do edifício, a implementação de medidas, etc.

Por meio do Programa de Extensão Universitária EPIC/COMPasso[1] a PBH indicou para estudo a Escola Municipal Herbert José de Souza (EM), por ser sua maior escola municipal, com cerca de 1000 alunos, funcionar nos 3 turnos e, de acordo com o corpo técnico municipal, ser um caso bem típico da situação da maior parte das escolas municipais. Desse modo, procedimentos adotados com sucesso nessa escola poderiam ser transferidos às demais, visto que a utilização de dados reais levam a obtenção de resultados mais efetivos (ELLRAM, 1996).

A EM (Figuras 1 e 2), está localizada no bairro Novo Aarão Reis, região nordeste de Belo Horizonte. É responsável pelo ensino infantil, fundamental e de adultos através do programa de educação de jovens e adultos (EJA). Também é um importante equipamento público de lazer, por fazer parte do programa Escola Aberta aos finais de semana, desempenhando um papel de grande importância na comunidade em que está inserida. Seu entorno se caracteriza por uso misto com habitações residenciais com poucos pavimentos e comércio local pulverizado nas proximidades da escola.

O edifício tem projeto arquitetônico datado do ano 2000, construído pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). Até agora foi realizada somente uma expansão em um dos blocos para aumentar o número de salas de aula e a colocação de cobertura na quadra de esportes, não havendo nenhuma reforma mais relevante.

O projeto da EM acompanha o padrão 4 da Comissão de Construção, Ampliação e Reconstrução dos Prédios Escolares do Estado (CARPE). A CARPE foi responsável pela construção em larga escala de edifícios escolares públicos entre 1958 a 1987 e teve muito destaque dentro e fora do estado de Minas Gerais. Manteve-se à frente das expectativas e metas internas simplificando a obra dos prédios escolares quanto às técnicas e mão-de-obra, atingindo um custo baixo de construção (SILVA; SANTOS, 2016). Apesar de ser referência ainda hoje na construção de novas escolas públicas, percebe-se que seus projetos-padrão precisam de reavaliação, e até mesmo modificações, para que haja adequação à situação do terreno onde o edifício será implantado e as variáveis climáticas locais, favorecendo assim o uso de estratégias de conforto ambiental e auxiliando na economia do uso de energia elétrica durante o dia.

[1] O EPIC (*Educational Partnerships for Innovation in Communities*) é um programa norte-americano iniciado pela Universidade do Oregon e hoje internacionalizado, que estabelece uma parceria entre a universidade e a municipalidade para a solução de problemas colocados por esta, oferecendo aos estudantes a oportunidade de lidar com tais problemas dentro do contexto social, econômico e ambiental real, além de interagir com os agentes públicos e tomadores de decisão. COMPasso é o programa de extensão da UFMG associado ao EPIC, único selecionado na América do Sul.



Figura 1 - Imagem satélite da localização da EM (Google Maps, 2018)

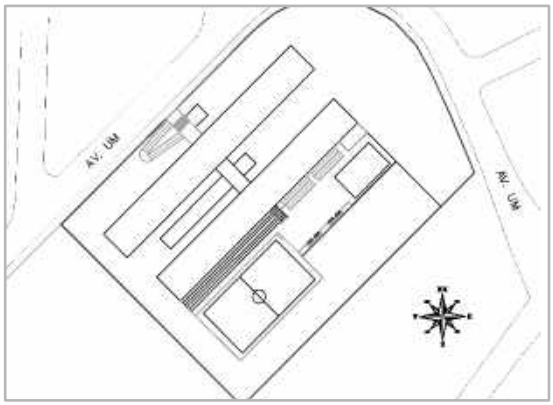

Figura 2 - Implantação da EM (adaptado de SUDECAP, 2000)

3.2. Análise pós-ocupação energética

Foi aplicada a metodologia de procedimento APO energética. A APO, conforme Ornstein e Romero (1992) é basicamente um conjunto de técnicas com objetivo de obter subsídios para identificar e corrigir determinadas falhas do processo projetual, bem como gerar contribuições e diretrizes para novos projetos semelhantes. Tendo em vista o objetivo deste estudo, a APO realizada teve como direcionamento a observação e coleta de dados referentes às questões energéticas. Foram seguidas as leis e normativas brasileiras atuais vigentes sobre eficiência energética

Foram realizadas duas visitas iniciais à EM no segundo semestre de 2018 a fim de aplicar a técnica de observação extensiva a partir de *walk-through* e *checklist* preparados para o registro de dados, obtidos através da percepção dos pesquisadores e escuta de funcionários da escola. O *walk-through* é um instrumento de grande utilidade na APO, uma vez que, segundo Rheingantz *et al* (2009), possibilita que os observadores se familiarizem com a edificação em uso, fazendo uma identificação descritiva dos aspectos negativos e positivos dos ambientes analisados. O *checklist* se baseou nos aspectos de interesse a serem verificados na edificação, reunindo assim, as características energéticas (tempo de uso de lâmpadas e equipamentos elétricos, tipologia das lâmpadas e equipamentos utilizados, perfil de consumo dos usuários nos setores específicos da escola) e construtivas do edifício (material construtivo e cores, estratégias para barramento do sol da tarde e aumento de conforto dos alunos e funcionários). Para isso, foi essencial o apoio e a disponibilidade da Diretora em nos apresentar a escola e informar os horários das diversas atividades escolares. Os dados coletados a partir da visita técnica aliados às informações do projeto arquitetônico da escola foram organizados em um banco de dados, reunindo as informações dos ambientes separadamente e do edifício como um todo.

A fim de se construir um panorama geral da edificação, do ponto de vista energético, foi aplicada a metodologia da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), que reconhece o nível de eficiência de cada sistema - iluminação, envoltória e condicionamento artificial - e, consequentemente, possibilita a identificação dos principais problemas e alvos de ações para melhorias, já que avalia os sistemas tanto separadamente, quanto de maneira geral. Dessa forma, foi feita a ENCE do caso de estudo, por meio do método prescritivo do Regulamento Técnico de Qualidade para edifícios de serviços, públicos ou comerciais (RTQ-C) por meio da ferramenta WebPrescritivo.

Para a obtenção da ENCE do sistema de iluminação, os ambientes da EM foram subdivididos conforme sua atividade principal (salas de aula, depósitos, salas de reuniões, etc.) como recomendado pelo manual de aplicação do RTQ-C (PBE EDIFICA, 2016) e as demais informações necessárias para o cálculo da etiqueta (dimensão, potência instalada e RCR) foram retiradas diretamente do banco de dados. No caso da ENCE de condicionamento artificial, foi considerada a área onde há condicionamento de ar e a ENCE do próprio aparelho de ar condicionado. Para a ENCE de envoltória da edificação, foram identificados 6 módulos volumétricos diferentes, conforme suas características específicas de volume, área e orientação de fachadas e aberturas, desconsiderando a área externa, assim como mostrado pela Figura 3. Identificadas e calculadas as informações de cada módulo, foi possível calcular os demais dados necessários (Tabela 1).

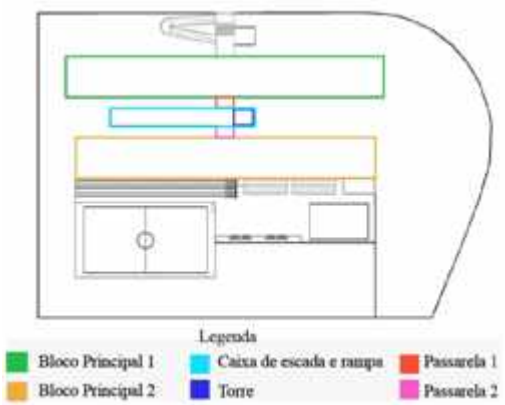

Figura 3 - Divisão da escola para etiquetagem

Dados da envoltória			
Ucob - ac:	0	ATOT:	2747,61 m²
Ucob -anc:	2,05 W/(m²K)	APCOB:	1365,71m²
Upar:	2,48 W/(m²K)	APE:	1365,71m²
PAZ:	0,00	VTOT:	8947,63m³
αCOB:	70%	AENV:	4126,42m²
αPAR:	70%	FS:	0,87
PAFO:	15,39%	PAFT:	15,39%

Tabela 1- Dados para ENCE da envoltória pelo WebPrescritivo

A partir da coleta de dados, foi elaborado um modelo em planilha eletrônica para simular o consumo real da escola (o mais próximo possível), contando com as lâmpadas e os equipamentos em uso e considerando aqueles que estavam queimados. Os calendários letivos, fornecidos pela direção da EM, se mostraram bastante complexos, pelo fato de haver datas festivas, feriados prolongados e até mesmo greves no período considerado para o estudo. Devido a tais fatores, foi utilizado para a calibração do modelo a média dos dias letivos dos últimos 4 anos (de 2014 a 2018) a fim de obter um valor médio mais próximo da realidade, sendo descontados os períodos de férias. As contas de energia elétrica da CEMIG, fornecidas pela Regional Nordeste da Prefeitura de Belo Horizonte, também foram utilizadas para a calibração.

Além da simulação da situação atual, foi também simulada a situação de consumo considerando o funcionamento de todos os equipamentos e lâmpadas, com tempos de uso estipulados a partir dos dados fornecidos pelos funcionários da escola, proporcionando uma base para comparação e formulação de cenários a serem propostos. Foram criados assim, cenários considerando trocas de equipamentos e de lâmpadas separadamente.

No tocante ao sistema de equipamentos, o Cenário 1 considera a troca de todos os equipamentos para similares mais eficientes (menor consumo de energia). Tendo em vista o contexto do caso de estudo e a realidade de escassez de recursos de escolas públicas municipais em geral, tornou-se necessária a criação de outros cenários mais viáveis economicamente, ainda garantindo a qualidade energética, estando de acordo com as diretrizes para se alcançar uma maior eficiência. Foi desenvolvido então o cenário 2, que propõe o reaproveitamento de alguns equipamentos. Em relação àqueles que não são passíveis de etiqueta ENCE, os equipamentos com tempo de uso menor do que 5 anos permaneceram. Caso eles tivessem maior tempo de uso, sua troca seria viável se houvesse uma diminuição de 10% na potência do novo equipamento. Para aqueles que são passíveis de etiqueta ENCE, o pré-requisito continuou sendo o de substituir os equipamentos que não tinham classificação “A”. Nesse cenário, foi aceito uma faixa econômica de preços disponíveis no mercado, o que incitou à formulação do Cenário 3, que contempla os mesmos parâmetros, porém considerando equipamentos ainda mais baratos, encontrados por meio de pesquisa *on-line* em *sites* de venda e de fabricantes. Destes cenários, o que se mostrou mais interessante ao estudo foi o Cenário 3, por ser o que mais se aproxima da viabilidade econômica do projeto e ter um aumento de apenas 1,66% de consumo energético comparado ao Cenário 2.

Acerca da iluminação, foi de interesse analisar os aspectos relacionados não somente ao consumo de energia, mas também ao nível de iluminação adequado para que os alunos e funcionários da EM desempenhem suas tarefas adequadamente, com conforto e segurança. Dessa forma, os dados advindos do banco de dados foram selecionados e organizados em planilha para o cálculo da iluminância através do método dos lúmens, que fornece a iluminância geral no plano de trabalho. Para isso, foram separados os ambientes da escola e suas respectivas características físicas e de iluminação, bem como as atividades que neles são desenvolvidas. Os resultados encontrados para a situação atual foram comparados aos valores de iluminância estabelecidos pela NBR 8995/2013 para ambientes de trabalho. Visto que uma quantidade expressiva das lâmpadas da escola estão queimadas, foi desenvolvida também uma planilha considerando a hipótese de funcionamento de todas as lâmpadas atuais, para fins de comparação de qualidade da iluminação e consumo energético.

Simultaneamente, foram desenvolvidos cenários com propostas de novos sistemas de iluminação. Para tal, foi necessária a coleta e tabulação de informações a respeito das lâmpadas disponíveis no mercado atualmente, preferencialmente aquelas com dispositivo LED - com características dimensionais iguais às

lâmpadas já utilizadas no caso de estudo - e posterior comparação de aspectos como potência, vida útil, preço e características luminosas para a escolha das melhores opções. O mesmo processo foi feito para luminárias. Os cenários foram desenvolvidos tendo como foco atender aos valores de iluminância estabelecidas pela NBR 8995/2013 em conjunto com o objetivo de reduzir os gastos de energia da EM. Assim, os cenários se desenvolveram a partir de experimentos da troca de lâmpadas e de luminárias. O Cenário 1 considerou a troca das lâmpadas de todos os ambientes por outras mais econômicas e de maior fluxo luminoso, mantendo as luminárias já existentes. O Cenário 2 utilizou os mesmos modelos de lâmpadas do Cenário 1, sugerindo a troca de todas as luminárias por modelos mais adequados (por exemplo com aletas, refletores) que auxiliem no aumento de conforto visual. O Cenário 3, por sua vez, indicou a troca de todas as lâmpadas como nos casos anteriores, porém com o acréscimo no número de lâmpadas e luminárias, similares às existentes, somente em ambientes que não atenderam ao nível de iluminamento exigido pela citada norma.

A fim de qualificar o comportamento do consumo energético da EM, foi calculado o consumo desagregado por setores de atividades e por uso final de equipamentos, aumentando a compreensão da situação energética do ambiente escolar analisado. No cálculo por setores de atividades, os 68 ambientes foram divididos em 5 grupos, definidos por suas atividades principais (área externa, pátio coberto e cozinha, salas de aula, administrativo e circulação). No cálculo por uso final, os tipos de uso foram separados conforme as características de funcionamento dos equipamentos (refrigeração, condicionamento, computação e outros). A escolha por fazer a separação de consumo por esses determinados tipos de uso deve-se ao fato de que o consumo de refrigeração, condicionamento do ar e computacional é bastante representativo, em se tratando de um ambiente escolar, como é o caso estudado.

4. RESULTADOS

Como resultado do *walk-through* pode-se destacar o levantamento de comportamentos problemáticos no que tange à utilização do uso de energia, especificamente em relação aos alunos do ensino fundamental, sendo comum o ato de acender e apagar as luzes constantemente como forma de diversão durante o período matutino e vespertino, ou seja, período onde não há a necessidade direta de iluminação artificial. Há, assim, carência de informação acerca do uso consciente de energia, o que aponta para a potencialidade e a possibilidade de maior economia de energia com programas educativos para as crianças e para a comunidade que utiliza o ambiente da EM. Além dos dados sociais, foi possível coletar também dados atualizados de tipos de equipamentos, número de lâmpadas e luminárias, tempo de uso e estado de conservação desses, além do tipo de atividade realizada em cada ambiente. Algumas informações construtivas também foram atualizadas, como alterações na planta e expansão de alguns ambientes, já que o projeto fornecido pela SUDECAP não estava atualizado. Tal informação possibilitou o uso de dados mais reais e atuais do que aqueles presentes no projeto original.

A partir da construção do modelo, foi possível simular o consumo energético atual. Pautado nos dados levantados *in loco*, chegou-se ao consumo médio por mês de 5539,75 kWh. Foi identificada uma margem de erro de aproximadamente 20% em relação à média de consumo mensal dos últimos 5 anos (2014 a 2018) apresentado pelas contas de energia (4589,00 kWh). Tal margem de erro se justifica pela variabilidade no uso quotidiano desse tipo de edifício e pelo fato de o modelo ter sido elaborado com base no que os usuários apontaram como usos mais frequentes, não tendo sido feita nenhuma medição do consumo de energia elétrica das cargas da edificação.

Ademais, a partir do processo de cálculo da ENCE, pode-se concluir que o nível de eficiência energética da EM é “D”, sendo sua pontuação 2.10. O nível da ENCE geral cai de maneira significativa em razão do nível “E” obtido pela baixa eficiência das envoltórias do edifício, tendo como fator limitante a baixa transmitância térmica da cobertura de ambientes não condicionados (para o sistema de telha cerâmica, camada de ar e laje maciça). O sistema de iluminação atual é “D”, sendo limitado pela não efetiva contribuição da luz natural, ausência de desligamento automático e divisão de circuitos insuficiente, considerando toda a edificação, o que também contribui com a queda de eficiência da edificação no sistema de iluminação. O condicionamento de ar, por sua vez, obteve etiqueta “B”, pois os equipamentos de ar-condicionado utilizados no edifício são assim etiquetados. Esse resultado, porém, sofre variações com as novas propostas, sendo que a etiqueta geral passa a ser “C”, com pontuação de 2,69. Vale destacar que como não foram propostas alterações na envoltória, sua eficiência energética permanece a mesma, nível “E”, enquanto a de condicionamento de ar passa a ser “A”, devido à escolha de equipamentos “A”. Ainda nesse novo contexto, é interessante citar que, caso fosse considerada a contribuição da luz natural e os novos dados de iluminação, a etiqueta deste sistema aumentaria, mas é restringida ao nível “B”, já que não propõe a divisão dos circuitos.

O levantamento *in loco* dos equipamentos resultou no número de 174 equipamentos, sendo estes divididos em 28 tipos, dos quais, 13 são passíveis de etiquetagem. Daqueles que são avaliados energeticamente, apenas 6 unidades são classificadas energeticamente como "A" (9,5%). Vale destacar também que 37,4% de todos os equipamentos não estão em condições de funcionamento, o que gera aumento da potência instalada nos cenários que consideram o funcionamento previsto, como perceptível na Tabela 2. Mesmo com o aumento do número de equipamentos funcionando, porém, há uma queda no consumo de 13,2%, já que os novos equipamentos selecionados possuem maior eficiência. Pela análise foi possível perceber ainda que os equipamentos de refrigeração são a tipologia que mais consome dentro sistema de equipamentos. No cenário proposto, a refrigeração continua consumindo mais do que os demais usos, porém houve a redução de 19,64% do consumo mensal. É interessante ressaltar que os usos de condicionamento artificial, computacional e outros não apresentam grandes variações com o novo cenário.

Tabela 2 - Cenário atual e da proposta 3 dos equipamentos

Cenário atual					
Setor	**Número de equipamentos**	**Potência instalada [kW]**	**Consumo [kWh/mês]**	**R$/mês**	**%**
Refrigeração	7	2,07	621,6	R$ 420,90	64,39%
Condicionamento	2	6,96	8,28	R$ 5,61	0,86%
Computadores	19	2,85	74,613	R$ 50,52	7,73%
Outros equipamentos	100	47,85	335,5	R$ 227,18	34,75%
Total equipamentos	109	56,88	965,38	R$ 653,69	13,27%
Proposta 3					
Refrigeração	8	1,67	499,5	R$ 338,23	59,62%
Condicionamento	2	6,64	7,90	R$ 5,35	0,94%
Computadores	19	2,85	74,613	R$ 50,52	8,91%
Outros equipamentos	164	95,68	330,47	R$ 223,77	39,44%
Total equipamentos	174	103,98	837,87	R$ 567,35	19,85%

No que tange à análise do consumo desagregado dos equipamentos, visto na Tabela 3, o grupo 2 é o que consome maior parcela da energia gasta com equipamentos na EM, já que possui 85% dos equipamentos de refrigeração, que são aqueles com maior consumo energético. Entretanto, como esse setor é também o que mais reduz o gasto entre os tipos de equipamento com a proposta de troca, esse grupo diminui em 47,39% seu consumo, o que não acontece com o grupo 1 e 3, já que estes aumentam o consumo. Isso acontece pois na área externa, na situação atual, os chuveiros instalados nesse grupo não funcionavam, o que também acontece com as salas de aula, onde ¾ dos equipamentos instalados estão queimados. Além disso, vale destacar a ausência de equipamentos no grupo 5, de circulação, o que se mantém no novo cenário.

Caso essa análise fosse realizada em relação ao consumo atual previsto, com a mesma quantidade e tempo de funcionamento dos equipamentos, o consumo cairia 40,20% a mais em relação ao consumo atual, o que equivale a 4656,70 kWh por ano de diferença. Parte desse valor, porém, é consumido pela quantidade de equipamento a mais que passa a funcionar (65), fazendo com que caia ao final apenas 13,21%.

Em relação ao sistema de iluminação, o levantamento *in loco* apontou que, atualmente, 25% das lâmpadas levantadas não funcionam, restando 711 em funcionamento. São utilizadas majoritariamente lâmpadas tubulares fluorescentes, o que resulta em um consumo energético bastante expressivo - 74% da energia total consumida pela escola. A tabulação dos dados e a utilização do método dos lúmens, considerando, a princípio, as lâmpadas em funcionamento, possibilitou constatar que 43% dos ambientes não possui iluminância adequada para suas respectivas atividades; no caso de considerar todas as lâmpadas em funcionamento, como previsto, o valor cai para 33%, permanecendo, ainda, muitos ambientes abaixo do que recomenda a norma NBR8995/2013. Vale ressaltar também que 2 dos 67 ambientes analisados não possuem qualquer tipo de iluminação, embora sejam locais de fluxo de pessoas.

Tabela 3 - Consumo desagregado dos equipamentos dos cenários atual, atual previsto e da proposta

Equipamentos			Consumo								
Grupo		Nº de ambi-entes	Atual		Atual previsto	Proposta	Economia				
			kWh/mês	%	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	R$/mês	kWh/ano	R$/ano	%
1	Externo	6	0,75	0,08%	35,38	42,11	-41,36	- 28,01	-496,36	-336,10	-5529,87%
2	Pátio + cozinha	14	661,59	68,53%	744,90	348,09	313,51	212,28	3762,06	2547,41	47,39%
3	Salas de aula	26	10,15	1,05%	284,57	208,97	-198,81	-134,62	-2385,77	- 1615,48	-1957,99%
4	Administrativo	19	292,89	30,34%	288,60	238,70	54,18	36,69	650,20	440,27	18,50%
5	Circulação	3	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00%
	Total	68	965,38		1353,44	837,87	127,51	86,34	1530,13	1036,10	13,21%

Os cenários de iluminação, em geral, resultam numa redução expressiva da potência total instalada no caso de estudo - em média 35% - uma vez que propõe o uso de lâmpadas LED em substituição às fluorescentes. Promovem ainda a redução de uma parcela percentual semelhante no valor da conta mensal de energia da escola. Constata-se que, dentre os cenários desenvolvidos, o Cenário 3 aparenta ser o mais adequado por ser mais economicamente viável para o caso de estudo, ao mesmo tempo em que atende, em todos os ambientes, aos requisitos de iluminância estabelecidos pela norma (Tabela 4).

Tabela 4 - Cenário atual e propostas de iluminação

Cenário	número de lâmpadas	potência instalada kW	queda no consumo %	investimento (R$)	economia ao mês (R$)	ambientes com iluminância atendida	tipo de luminárias
Atual	711	32,04	-	-	-	não todos	básicas
1	970	19,15	-41,54%	35.067,68	1.377,92	não todos	básicas
2	1232	22,54	-31,01%	125.939,66	1.028,54	todos	ótimas
3	1132	21,26	-35,90%	42.002,84	1.190,70	todos	básicas

Acerca do consumo desagregado de iluminação, o grupo 3, conforme a Tabela 5, se mostra como o maior consumidor de energia no caso de estudo. Isso se atribui ao fato de ser composto por salas de aula e estas, além de numerosas, funcionarem por tempo intensivo com iluminação proveniente de lâmpadas fluorescentes. É importante ressaltar que, sendo um edifício escolar, este é composto majoritariamente por ambientes com a mesma tipologia funcional de educação. Percebe que essas salas, com a proposta de iluminação identificada como mais adequada, têm seu consumo reduzido em quase 50%, permanecendo ainda, no entanto, como o grupo de maior expressão de consumo entre os demais. Decerto, a mudança na iluminação das salas de aula também resulta na maior economia no aspecto financeiro, aproximadamente R$9.027,95 ao ano, valor este que poderia ser investido em outras áreas ou demandas da EM.

É interessante ressaltar que a média do consumo dos grupos, levando em consideração tanto o sistema de iluminação quanto o de equipamentos, sofre grande influência do segundo sistema. Isso acontece porque o consumo de iluminação é significantemente maior que o de equipamentos, fazendo com que a soma dos dois se aproxime mais das proporções definidas pelo primeiro. Diferentemente dos outros, porém, o grupo 2 se distancia mais dessa média que os demais grupos, já que é o setor que tem maior consumo dos equipamentos e é o segundo que menos consome em iluminação. Vale citar também que a área externa passa a consumir mais com a proposta, em função da diferença proporcionada na análise dos equipamentos. Percebe-se que os novos cenários, quando comparados com a simulação do cenário atual da EM, podem reduzir o consumo total em até 36,60%, cerca de 24.332 kWh por ano. Caso esses cenários fossem comparados com o funcionamento previsto para a EM, considerando o funcionamento de todos os equipamentos e lâmpadas, esse valor praticamente duplicaria, passando para 48.969 kWh. Metade desse valor, porém, é reservado somente para o funcionamento de equipamentos que antes não funcionavam.

Tabela 5 - Consumo desagregado de iluminação dos cenários atual, atual previsto e da proposta

Iluminação			Consumo								
Grupo		Nº de ambientes	Atual		Atual previsto	Cenário 3	Economia				
			kWh/mês	%	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	R$/mês	kWh/ano	R$/ano	%
1	Externo	6	471,31	10,30%	564,94	459,80	11,51	8,35	138,12	100,16	2,44%
2	Pátio + cozinha	14	431,09	9,42%	548,48	318,36	112,73	81,75	1352,76	980,95	26,15%
3	Salas de aula	26	2542,35	55,58%	3626,95	1504,87	1037,48	752,33	12449,76	9027,95	40,81%
4	Administrativo	19	1063,57	23,25%	1432,95	618,87	444,70	322,47	5336,40	3869,69	41,81%
5	Circulação	3	66,05	1,44%	66,05	30,46	35,59	25,81	427,08	309,70	53,88%
	Total	68	4574,37		6239,37	2932,36	1642,01	1190,70	19704,12	14288,45	35,90%

Tabela 6 - Consumo desagregado de maneira geral

Geral			Consumo								
Grupo		Nº de ambientes	Atual		Atual previsto	Proposta	Economia				
			kWh/mês	%	kWh/mês	kWh/mês	kWh/mês	R$/mês	kWh/ano	R$/ano	%
1	Externo	6	472,06	8,52%	600,32	485,13	-13,07	- 9,48	-156,88	- 113,76	-2,77%
2	Pátio + cozinha	14	1092,68	19,72%	1293,38	591,14	501,55	363,70	6018,54	4364,35	45,90%
3	Salas de aula	26	2552,50	46,08%	3911,52	1694,46	858,05	622,21	10296,55	7466,55	33,62%
4	Administrativo	19	1356,46	24,49%	1721,55	714,19	642,26	465,74	7707,16	5588,85	47,35%
5	Circulação	3	66,05	1,19%	66,05	27,13	38,92	28,22	467,04	338,67	58,93%
	Total	68	5539,75		7592,81	3512,05	2027,70	1470,39	24332,41	17644,66	36,60%

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação proposta mostrou a complexidade dos edifícios públicos escolares. A seleção da metodologia utilizada norteou todas as etapas do estudo e pode ser considerada como bastante satisfatória, pelo fato de ter atendido as demandas necessárias. Por ser um edifício complexo com diversos usos e grande número de usuários, foram encontradas limitações na modelagem para estimativa do consumo de energia com base na informação do usuário. Porém há poucos trabalhos usando esse tipo de abordagem, que pode ser promissora diante dos custos para o monitoramento sistemático do consumo de energia das cargas em edificações públicas municipais.

A análise de pós-ocupação energética foi essencial para a obtenção dos dados utilizados. Durante o *walk-through* foi possível coletar dados e compreender melhor o edifício em estudo, fundamentando as decisões e análises realizadas durante todo o processo da pesquisa. A APO se mostrou eficaz para atingir os objetivos de analisar o consumo energético da EM, com grande utilidade também para orientar uma boa manutenção de edificações, por ser capaz de desenvolver um panorama da situação atual, cenários preditivos e embasar decisões futuras. Além dos dados obtidos, foi visto que para uma boa manutenção de edificações públicas escolares, os bons hábitos e a conscientização dos usuários de todas as idades pode ter influência sobre a eficiência energética de maneira geral, assim como a renovação dos equipamentos e das lâmpadas, acompanhando as novas tecnologias. Além disso, conclui-se que o *retrofitting* é capaz de aumentar o nível de eficiência energética através do entendimento dos usos e troca dos aparelhos energéticos de maior consumo. Neste caso, o sistema de iluminação tem grande parcela no consumo. A troca por lâmpadas LED trouxe maior economia de energia e se mostrou viável, mesmo havendo um investimento financeiro maior inicialmente.

Vale ressaltar que este estudo não pretendeu analisar a influência da edificação na qualidade da educação, apesar de entender que fatores, como a boa iluminância das salas de aula e o conforto térmico, sejam essenciais ao aprendizado e ensino, principalmente quando se trata da educação infantil e fundamental. Para estudos futuros, um aprofundamento abrangendo mais casos de estudo seria interessante, além de aprimorar a metodologia utilizada, entendendo as limitações colocadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2** - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3** - Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575** - Desempenho de edificações habitacionais. 2013 Disponível em: https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf; Acesso em: 2 de abril de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995** - Iluminação em ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

EISENHARDT, K.M. Building theories form case study research. **Academy of Management Review**. New York, New York, v. 14 n. 4, 1989.

ELLRAM, L. The use of the case study method in logistics research. **Journal of Business Logistics**. Oakbrook, Ill, v. 17, n. 2, 1996. GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para *retrofit* em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis**. 246 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

IBGE. Cidades. **Censo Escolar 2018**. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/pesquisa/13/5902?indicador=5951. Acesso em: 04 de maio de 2019.

MACHADO, A. F. M.; DELGADO, V. M. S. D. **Eficiência de escolas públicas estaduais de Minas Gerais**. 38p. 2007. Disponível em: http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/1054/1017. Acesso em 14 de abril 2019.

MEC - Ministério da Educação. **Escola Aberta**. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/pec-g/cursos-e-instituicoes/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/16739-programa-escola-aberta. Acesso em: 05 abr. 2019.

ORNSTEIN, S. W.; ROMÉRO, M. A. **Avaliação Pós Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo: EDUSP/Studio Nobel, 1992.

PROCEL EDIFICA - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **O que é a etiqueta PBE Edifica?** Disponível em: http://pbeedifica.com.br/conhecendo-pbe-edifica. Acesso em: 18 abr. 2019.

PROCEL EDIFICA - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. 4.1. ed. [S.l.: s.n.], 2016. 202 p. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv021.pdf. Acesso em: 18 abr. 2019.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. **Dados da SMED de Escolas Municipais e UMEIS**. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/%C3%8Dcones/SMED%20ORGAOS%20DA%20PBH%20DADOS%20DA%20UNIDADE%20-%20ESCOLAS%20MUNICIPAIS%20E%20UMEIS.pdf. Acesso em: 26 de abril de 2019.

PROCEL INFO - CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Equipamentos etiquetados**. Disponível em: http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BB70B5A3C-19EF-499D-B7BC-D6FF3BABE5FA%7D. Acesso em 30 de abril de 2019.

RHEINGANTZ, P. A. *et al*. **Observando a qualidade do lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação**. Rio de Janeiro: Coleção PROARQ/FAU/UFRJ, 2009. Disponível em: www.gae.fau.ufrj.br/assets/obs_a_qua_lugar.pdf ; Acesso em: 09 de maio de 2019.

SILVA, G. A. A.; SANTOS, R. E. **Um Capítulo na história da arquitetura e da construção escolar pública no Brasil: a experiência da CARPE**. 2016 (Apresentação de Trabalho/ Congresso). Disponível em: http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/biblioteca_novo_2/arquivos/santos_silva_2016.pdf. Acesso em 16 de abril de 2019.

WEBPRESCRITIVO. **Etiquetagem de edificações comerciais**. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html. Acesso em 25 de abril de 2019.

YIN, R. K. **Case study research, design and methods (applied social research methods)**. Thousand Oaks. California: Sage Publications, 2009.

ZAZZINI, P.; MONTELPARE, S.; BASTI, A. Climate dependence of energy saving strategies in public buildings characterized by change of use: an original case study. **Energy Efficiency**, v. 11, n. 2, 2018, p. 499–519.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao apoio recebido PROAP/CAPES-PACPS-UFMG.