

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS E CONSTRUÇÃO

GUILHERME NÓBREGA DE CASTRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: tipologia 3B da Escola Municipal
de Ensino Infantil (EMEI) de Belo Horizonte – MG**

Belo Horizonte

2023

GUILHERME NÓBREGA DE CASTRO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: tipologia 3B da Escola Municipal
de Ensino Infantil (EMEI) de Belo Horizonte – MG**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito parcial à obtenção do título de Especialista Construção Civil, área: Tecnologia e Gestão do Ambiente Construído.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior

BELO HORIZONTE

2023

C355a Castro, Guilherme Nóbrega de.
Avaliação da eficiência energética [recurso eletrônico] : tipologia 3B da Escola Municipal de Ensino Infantil (EMEI) de Belo Horizonte – MG / Guilherme Nóbrega de Castro. – 2023.
1 recurso online (44 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Bibliografia: f. 42-44.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Eficiência energética. 3. Edificações.
4. Iluminação elétrica - Edifícios. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: GUILHERME NÓBREGA DE CASTRO

MATRÍCULA: 2020684955

RESULTADO

Aos 16 dias do mês de novembro de 2023 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:
"AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: TIPOLOGIA 3B DA ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO INFANTIL (EMEI) DE BELO HORIZONTE-MG"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 90

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Assinatura

Antônio Neves de
Carvalho Júnior

Assinado de forma digital por
Antônio Neves de Carvalho Júnior
Dados: 2023.11.16 17:03:40 -03'00'

Nome

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco

Assinatura

Luiz Antonio Melgaço Nunes
Branco:48639435634

Assinado de forma digital por Luiz Antonio
Melgaço Nunes Branco:48639435634
Dados: 2023.11.16 18:09:25 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 16 de novembro de 2023

Antônio Neves
de Carvalho
Júnior

Assinado de forma digital
por Antônio Neves de
Carvalho Júnior
Dados: 2023.11.16
17:04:10 -03'00'

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida.

À minha família e aos meus amigos, pelo incentivo e pelo apoio sempre.

Aos colegas da SUDECAP que me ajudam e me ensinam todos os dias.

Aos professores e colegas do curso pelos ensinamentos e pelo compartilhamento das suas experiências e conhecimentos nesses anos de estudo remoto.

RESUMO

A eficiência energética das edificações é um tema bastante debatido tanto no setor privado quanto no poder público e é objeto de políticas públicas. O seu principal benefício é a economia de recursos financeiros para manutenção e operação das edificações. Especificamente para o poder público, a economia proporcionada pela eficiência energética permite que os recursos públicos sejam empregados em outras áreas, como saúde e educação. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é determinar a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação da tipologia 3B da Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI) da Prefeitura de Belo Horizonte – MG. Para tanto, foi utilizado o método simplificado estabelecido pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), no qual foi feita a comparação dos dados do projeto da tipologia 3B da EMEI com a condição de referência da INI-C (classificação “D”). A partir dessa comparação, percebeu-se que as especificações técnicas dos equipamentos de iluminação definidas no projeto das instalações elétricas estão adequadas aos valores para obtenção da classificação “A” de eficiência energética, porém deve ser alterado o esquema de acionamento das luminárias para viabilizar o aproveitamento da iluminação natural nos ambientes e, assim, o projeto estar apto a receber o selo com a classificação “A”.

Palavras-chave: Eficiência energética em edificações; INI-C; Certificação Ambiental.

ABSTRACT

Building energy efficiency is a topic that is widely discussed by both private companies and public authorities and is the object of public policies. Its main benefit is safe money by building use, operation and maintenance. Specifically for the government, the cost-saving provided by energy efficiency allows public resources to be used in other areas, such as health and education. The purpose of this study is to determine the rating of energy efficiency of the artificial lighting system of a public kindergarten building model run by the city hall in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil (Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI)) using the simplified method provided in the national regulation (Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)). In this regulation, the model building is compared to the reference condition (level “D” of energy efficiency). It was noticed that the technical specifications of the artificial lighting equipment defined in the design of the electrical installations are adequate to the values for obtaining the “A” (maximum) rating of energy efficiency, however the activation scheme of the luminaires must be changed to enable the use of natural lighting in the rooms and, thus, the project will be able to receive the “A” level certification.

Keywords: Building Energy Efficiency; INI-C; Environmental Certification.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVAS.....	10
1.2 OBJETIVOS	10
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	11
2 SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES PÚBLICAS	12
2.1 A AGENDA 2030 NO ÂMBITO DA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA BRASILEIRA.....	14
2.2 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES E ETIQUETA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA	17
2.3 ESCOLA MUNICIPAL DE EDUCAÇÃO INFANTIL	18
3 METODOLOGIA.....	20
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA CONFORME A INI-C.....	20
3.1.1 CONDIÇÕES DE ELEGIBILIDADE PARA A CLASSIFICAÇÃO “A”	23
3.1.2 POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO E A LUZ NATURAL DISPONÍVEL	24
3.1.3 INSPEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	24
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA ESCOLA.....	27
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
4.1 CONSUMO TOTAL DA EDIFICAÇÃO REAL	32
4.2 CÁLCULO DA POTÊNCIA DE ILUMINAÇÃO LIMITE	33
4.3 CONSUMOS DE REFERÊNCIA	33
4.4 CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	34
4.5 POTENCIAL DE INTEGRAÇÃO ENTRE AS ILUMINAÇÕES ARTIFICIAL E NATURAL E PROPOSTAS DE ALTERAÇÕES NO PROJETO	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 Introdução

Neste trabalho, a eficiência energética de edificações públicas vai ser estudada a partir da avaliação da eficiência energética do sistema de iluminação da tipologia 3B da Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI) da Prefeitura de Belo Horizonte – MG conforme a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) (Brasil, 2021) foi elaborada para atualizar e substituir os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (Brasil, 2010), documentos que definem a metodologia de avaliação da eficiência energética do ambiente construído no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem.

O acesso amplo, democrático e com custo acessível à energia elétrica bem como a eficiência energética dos equipamentos, dos sistemas e das edificações são temas bastante debatidos no âmbito acadêmico e das políticas públicas nos diversos níveis institucionais, desde locais até internacionais como a Organização das Nações Unidas (ONU). Exemplos são o livro *Eficiência Energética na Arquitetura* (Lamberts; Dutra; Pereira, 2014), o Selo BH Sustentável (Belo Horizonte, 2009), o Decreto Municipal nº 17.135/2019 (Belo Horizonte, 2019), a Nota Técnica Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), o Guia Nacional de Contratações Sustentáveis (Machado *et. al.*, 2020) e a Agenda 2030 (ONU, 2015).

As Unidades Municipais de Educação Infantil (UMIEs) vêm sendo construídas desde 2003 (Amorim, 2010). Atualmente, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte possui em funcionamento 145 Escolas Municipais de Educação Infantil (EMIEs), anteriormente chamadas de UMIEs (Belo Horizonte, 2021). Nem todas as edificações foram construídas conforme os projetos das tipologias elaboradas pelas equipes técnicas da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP). Algumas são edificações que foram reformadas e/ou adaptadas, porém todas foram executadas em sistemas construtivos convencionais: estrutura de concreto com paredes de blocos cerâmicos de vedação ou alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, exceto 46 unidades que foram construídas entre 2013 e 2015, por meio de uma Parceria Público Privada, nas quais foi adotado o sistema construtivo *steelframe* (PBH Ativos, 2021).

1.1 Problema e justificativas

A Prefeitura de Belo Horizonte tem realizado ações com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos seus bens imóveis e, conseqüentemente, de reduzir as despesas orçamentárias com a operação e a manutenção desses bens. Os dois principais exemplos dessas medidas são a modernização de todo o parque de iluminação pública a partir da substituição das lâmpadas existentes por luminárias e lâmpadas com a tecnologia de diodo emissor de luz (LED) e a instalação de usinas fotovoltaicas nas edificações públicas.

A estimativa de economia financeira é na ordem de R\$ 25 milhões por ano em função da modernização da iluminação pública, que foi iniciada em 2017 (Anibolet, 2020). As duas primeiras usinas fotovoltaicas instaladas em prédios próprios da prefeitura (no Centro de Educação Ambiental do PROPAM, em 2015, na sede da PBH em 2020), foram responsáveis por uma economia de aproximadamente R\$ 80 mil por ano (Marques, 2021).

Nesse contexto, esta pesquisa se propõe a contribuir à materialização dos planos de eficiência energética instituídos pelo Município de Belo Horizonte, a partir da classificação de eficiência energética do sistema de iluminação da tipologia 3B da EMEI, uma vez que essa tipologia pode não atender aos novos critérios do INMETRO para ser considerada uma edificação energeticamente eficiente e pode ser necessário revisar os parâmetros para elaboração dos seus projetos a fim de atender à classificação “A” da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

1.2 Objetivos

Este estudo propõe atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos enumerados a seguir.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é determinar a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação da tipologia 3B da Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI) da Prefeitura de Belo Horizonte – MG.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Quantificar o consumo de energia do sistema de iluminação do projeto da EMEI;
- b) Identificar possíveis alterações no projeto do sistema de iluminação que possibilitem o atendimento às condições para classificação “A” de eficiência energética.

1.3 Estrutura da monografia

Essa monografia está dividida em 3 partes. Na primeira (2 Sustentabilidade e eficiência energética em edificações públicas), é feita uma revisão bibliográfica sobre a eficiência energética e as políticas públicas que objetivam implementá-la tanto no setor público quanto na iniciativa privada. Na segunda (3 Metodologia), é apresentada a metodologia definida pela INI-C adotada neste trabalho e é caracterizado o projeto do sistema de iluminação da tipologia 3B da EMEI, objeto do estudo. Na terceira (4 Apresentação e análise dos resultados), são apresentados os resultados obtidos após a inspeção do projeto do sistema de iluminação da edificação e as propostas de alterações no projeto do sistema de iluminação para que a tipologia 3B da EMEI possa obter a classificação “A” da ENCE.

2 Sustentabilidade e eficiência energética em edificações públicas

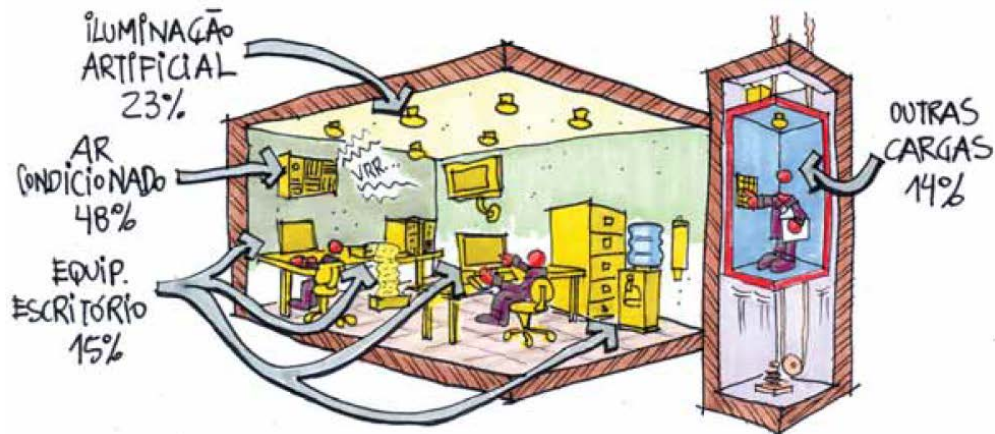
Lombardo (2011) explica que para que se tenha uma economia sustentável, devem ser assegurados os fatores de produção (mão de obra, matéria prima e energia), que são recursos finitos, e para isso, é necessário que o produto dessa cadeia produtiva, desde uma caneta até uma edificação ou uma obra de infraestrutura urbana, consuma o mínimo possível de matéria prima e energia. Nesse sentido, a autora apresenta que “a avaliação da quantidade de energia usada para produzir cada bem, ou realizar cada atividade, denomina-se conteúdo energético” e que “a relação entre a energia útil de um trabalho (transporte, calor, luz) e a energia consumida para realizá-lo denomina-se eficiência energética” (Lombardo, 2011, p.19).

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) afirmam que a aplicação do conceito de eficiência energética na arquitetura está relacionada ao potencial de determinada edificação possibilitar condições de conforto térmico, visual e acústico aos seus usuários com pouco consumo energético. Dessa forma, é possível fazer comparação de entre diferentes edifícios ou diferentes soluções para um mesmo edifício para definir qual edifício ou qual solução é mais eficiente energeticamente ao proporcionar as mesmas condições ambientais tendo o menor consumo de energia.

A preservação dos recursos naturais, e finitos, deve ser um dos objetivos da sociedade e fazer parte da política pública em todas as esferas de governo para que se possa ter uma economia mais sustentável. No caso do Brasil, conforme Lombardo (2011), há desigualdade na distribuição e no consumo de energia elétrica: uma parcela maior da população consome menos que o necessário para proporcionar um conforto mínimo e uma pequena parcela consome em excesso.

A partir da avaliação dos dados de consumo do ano de 2005, Lamberts, Dutra e Pereira (2014) produziram a Figura 1, que ilustra a média percentual que os diferentes tipos de equipamentos utilizados em edifícios públicos representam no consumo total desses empreendimentos.

Figura 1 - Consumo por uso final em edifícios públicos.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

Lombardo (2011) defende que é necessária a adoção de uma política de conservação de energia para reduzir a energia primária que é demandada para proporcionar o mesmo padrão de consumo de energia útil. Além disso, essa política pode incentivar o emprego de soluções alternativas e de novas tecnologias e a adoção de um padrão de desenvolvimento com menor demanda de energia.

No Brasil, há programas governamentais, como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), instituído em 1985, cujo objetivo é aumentar a eficiência nos usos finais da energia elétrica, trabalhando a demanda da energia elétrica, porém, percebe-se que o consumo total de energia elétrica sempre foi crescente em comparação ao ano anterior, exceto no ano 2020, em função da pandemia da Covid-19, como pode-se conferir nos dados compilados dos últimos 5 anos (2016-2020) apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo por classe (GWh)

	2016	2017	2018	2019	2020	$\Delta\%$ (2020/2019)	Part. % (2020)
Brasil	461.780	467.161	474.820	482.226	475.648	-1,4	100,0
Residencial	132.872	134.369	137.615	142.781	148.173	3,8	31,2
Industrial	165.314	167.398	169.625	167.684	166.335	-0,8	35,0
Comercial	87.873	88.292	88.631	92.075	82.522	-10,4	17,3
Rural	27.267	28.136	29.168	28.870	30.908	7,1	6,5
Poder Público	15.096	15.052	15.076	15.752	12.764	-19,0	2,7
Iluminação Pública	15.035	15.443	15.690	15.850	15.463	-2,4	3,3
Serviço Público	14.969	15.196	15.778	15.958	16.345	2,4	3,4
Consumo Próprio	3.355	3.277	3.238	3.257	3.138	-3,7	0,7

Fonte: EPE (2021).

A classe de consumidor Poder Público, na qual estão incluídas as edificações ocupadas pelos órgãos públicos, como hospitais, escolas, universidades, sedes administrativas, foi a que apresentou maior redução de consumo no ano de 2020 em relação ao ano anterior, possivelmente em razão da paralisação de parte dos serviços prestados e da realização de grande parte atividades de forma remota pelos servidores e empregados públicos em suas residências, o que pode ser uma das explicações pelo aumento expressivo da energia consumida pela classe Rural e pelo aumento do consumo energético da classe Residencial.

2.1 A Agenda 2030 no âmbito da administração pública brasileira

A Agenda 2030 foi deliberada em 2015 por meio da Resolução 70/1 da Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) estabelecendo os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que são integrados e equilibrados em relação às dimensões econômica, social e ambiental. Os ODS são compostos por metas e esses objetivos e essas metas têm ações em cinco áreas: pessoas, planeta, prosperidade, paz e parceria (ONU, 2015). Especificamente em relação à área planeta, os signatários da Resolução, incluindo o Brasil, afirmam:

Estamos determinados a proteger o planeta da degradação, incluindo por meio do consumo e da produção sustentáveis, da gestão sustentável dos seus recursos naturais e de medidas urgentes para combater a mudança do clima, para que possa atender às necessidades das gerações presentes e futuras (ONU, 2015, p.1).

Dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, os seguintes estão intimamente relacionados a arquitetura, engenharia e construção:

7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;

9. Construir infraestruturas robustas, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;

11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;

15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas,

combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade (ONU, 2015, p.15).

Machado *et al.* (2020) afirmam que a Administração Pública federal já tem incluído, em suas atividades de gestão e contratação, ações práticas de sustentabilidade que se relacionam com os ODS contidos na Agenda 2030, em especial a Meta 7 (“Promover práticas de compras públicas sustentáveis, de acordo com as políticas e prioridades nacionais”) do Objetivo 12 (“Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”). O autor aponta as seguintes ações:

- a) Alterações na legislação (Ex.: Lei Federal nº 12.349/2010, que alterou o art. 3º da Lei Federal nº 8.666/1993 e Decreto Federal nº 7.746/2012, que regulamentou o mesmo artigo, para estabelecer critérios e práticas para a promoção do desenvolvimento nacional sustentável nas contratações);
- b) Criação da Câmara Nacional de Sustentabilidade da Consultoria Geral da União (CGU/AGU);
- c) Entendimentos dos Tribunais de Contas;
- d) Conjugação de esforços entre diversos atores (União, Estados, Municípios, Universidades, sociedade civil);
- e) Articulações institucionais em redes de sustentabilidade;
- f) Capacitações públicas de servidores;
- g) Publicação do Guia Nacional de Contratações Sustentáveis.

O Guia Nacional de Contratações Sustentáveis (Machado *et al.*, 2020) apresenta as providências e as precauções que devem ser tomadas pelos órgãos públicos ao elaborarem os documentos legais do Edital de Licitação. No caso de obras e serviços de engenharia, deve-se atentar às orientações em relação:

- a) À acessibilidade;
- b) Aos aparelhos elétricos em geral;
- c) Aos aparelhos eletrodomésticos;
- d) À construção civil;
- e) Aos resíduos da construção civil;
- f) À energia limpa (fotovoltaica);
- g) Às lâmpadas fluorescentes;
- h) À limpeza e conservação;

- i) Aos produtos ou subprodutos florestais;
- j) Aos produtos preservativos de madeira;
- k) À aquisição de bens de informática e automação.

A recomendação de considerar a eficiência energética nas aquisições é abordada em diversos pontos do documento, inclusive indicando as Portarias do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) sobre a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e os Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para Eficiência Energética de Edificações como legislação a ser consultada e obedecida. Porém, por se tratar de um documento com orientações voltadas aos setores jurídicos dos órgãos públicos, ele contém a ressalva de que as especificações dos projetos de obras e serviços de engenharia devem ser baseadas nos estudos técnicos (Machado *et al.*, 2020).

No âmbito da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, em 2019, por meio do Decreto Municipal 17.135/2019, a Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas foi estabelecida como referência para o planejamento de médio e longo prazo das ações e programas das políticas públicas. As principais ações da Administração Pública municipal (Belo Horizonte, 2022) a fim de cumprir o Objetivo 7 do ODS são:

- a) Modernização do parque de iluminação pública com tecnologia LED;
- b) Instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios públicos municipais;
- c) Certificação municipal Selo BH Sustentável.

O programa de Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental (Selo BH Sustentável) da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte foi instituído em 2009, por meio da Deliberação Normativa Nº 66 do Conselho Municipal do Meio Ambiente (COMAM). Nessa certificação, são analisados vários aspectos do empreendimento, tanto na fase de construção quanto de uso e operação, que estão agrupados em quatro indicadores: água, energia, resíduos sólidos e emissão direta de gases de efeito estufa. Segundo os dados constantes no Portal do Selo BH Sustentável (Belo Horizonte, c2018), nos anos de 2014 e 2015, foram certificadas 26 UMEIs com o Selo Ouro. Porém, a certificação está suspensa desde 2016 devido às discussões a respeito da atualização da sua metodologia e de como ampliar a sua aplicação (Belo Horizonte, 2022).

2.2 Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações e Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

O Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) foi criado em 2009 a partir da publicação dos seguintes documentos que contém os critérios técnicos para avaliar o nível de eficiência energética dos edifícios e as instruções para emissão da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE):

- a) Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C);
- b) Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R);
- c) Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC);
- d) Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R

Esses documentos já foram revisados e complementados desde a sua primeira publicação. Em 2021, a primeira versão da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) foi elaborada para atualizar e substituir o RTQ-C. Em 2022, foi publicado o novo RAC e uma nova versão do INI-C a fim de regulamentar a emissão de novas ENCEs com base no novo método.

Uma característica do PBE Edifica é a adesão voluntária para se obter a certificação. Apenas em 2014, o governo federal determinou a obrigatoriedade da certificação e da classificação “A” de eficiência energética na ENCE para todas as edificações novas ou que passem por processo de *retrofit* a serem utilizadas pelas unidades da administração pública federal. Em 2020, o Procel Edifica, em consonância com nova regulamentação da Lei de Eficiência Energética (Brasil, 2001), lançou o projeto “Análise de Impacto Regulatório e Plano para a Implementação da Compulsoriedade do PBE Edifica”, cujo objetivo é definir um modelo nacional obrigatório para avaliação da eficiência energética das edificações residenciais, comerciais e públicas e os parâmetros para a sua implementação (ELETROBRAS, 2021).

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é o selo de conformidade que atesta que a edificação avaliada atende aos requisitos de desempenho estabelecidos nos regulamentos técnicos, bem como classifica o seu

nível de eficiência, de “A” (mais eficiente) até “E” (menos eficiente). A obtenção da etiqueta é possível mediante a inspeção do projeto e/ou da edificação construída por um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) (PBE Edifica, c2020).

A ENCE de uma edificação pode ser emitida em duas etapas de inspeção, conforme a metodologia definida pela INI-C: Projeto da Edificação e Edificação Construída. A ENCE de Projeto da Edificação é entregue após a inspeção do projeto. Já a ENCE da Edificação Construída é entregue após a inspeção da edificação construída. A ENCE de Projeto da Edificação é válida por, no máximo, 5 anos após a sua emissão, caso a obra não seja concluída antes, e não dispensa a ENCE da Edificação Construída (INMETRO, 2022).

2.3 Escola Municipal de Educação Infantil

A Escola Municipal de Educação Infantil (EMEI) anteriormente era denominada Unidade Municipal de Educação Infantil (UMEI). As primeiras edificações começaram a ser construídas em 2003 (Amorim, 2010). Em consulta à atual equipe responsável pelos projetos das EMEIs – Diretoria de Edificações –, foi informado que já foram desenvolvidos aproximadamente 10 tipos para atender a diferentes situações de implantação e padrões construtivos, principalmente devido às condicionantes espaciais e topográficas dos terrenos e às verbas disponíveis para construção dos empreendimentos.

As principais características que diferenciam os tipos projetados são em relação ao:

- a) Tamanho: há tipos de 1 pavimento, com 4 salas de aulas/multiuso em um único bloco e com até 12 salas de aulas/multiuso em dois ou três blocos; há tipos de dois e de três pavimentos com até 12 salas de aulas/multiuso;
- b) Sistema estrutural: foram construídas e fiscalizadas pela SUDECAP escolas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos e escolas com estrutura de concreto com paredes de vedação em blocos cerâmicos. Entre 2013 e 2015, em 46 escolas construídas por meio da Parceria Público Privada firmada entre a prefeitura e a Inova BH foi utilizado o sistema construtivo *steelframe* (PBH Ativos, 2021);

- c) Materiais de acabamento: há tipos que possuem revestimento cerâmico em todas as fachadas e há tipos cujas fachadas foram pintadas; nos tipos sem laje de cobertura no último pavimento, há a variação de instalação ou não de foro de gesso nos ambientes desse pavimento.

Atualmente, a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte possui em funcionamento 145 Escolas Municipais de Educação Infantil (EMEI) (Belo Horizonte, 2021b) e, considerando que outras EMEIs ainda serão construídas no futuro, resolveu-se escolher como objeto dessa pesquisa a tipologia 3B, que é a versão mais atual, revisada em 2016.

3 Metodologia

Neste capítulo, estão apresentados os métodos e os procedimentos adotados para desenvolver o estudo de caso da pesquisa. Ele está dividido em dois tópicos: no primeiro, são abordados os critérios estabelecidos pelo INMETRO (2022) para realizar a inspeção do projeto da EMEI e, no segundo, estão descritas e ilustradas as características físicas e as especificações do projeto da EMEI.

Neste estudo, foram adotados dois principais métodos científicos: o quantitativo, que é o uso de dados numéricos a partir das definições da INI-C; e o qualitativo, utilizado na caracterização do projeto da EMEI e na identificação de possíveis alterações no projeto para atender à classificação “A” de eficiência energética.

3.1 Classificação da eficiência energética conforme a INI-C

A Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), publicada como anexo da Portaria INMETRO Nº 309/2022, estabelece os critérios e os métodos para avaliação de edificações ou parte de edificações com esse tipo de uso visando à sua etiquetagem quanto à eficiência energética.

A classificação da eficiência energética da edificação e, conseqüentemente, a emissão de sua Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), conforme a metodologia apresentada pela INI-C, é obtida a partir da inspeção dos seguintes sistemas das edificações:

- a) Envolvória, considerando duas situações diferentes: o aproveitando da ventilação natural ou a utilização de ar condicionado;
- b) Sistema de condicionamento de ar;
- c) Sistema de iluminação (natural e/ou artificial);
- d) Sistema de aquecimento de água;

Em função do tipo de inspeção, há três opções de ENCEs para edificações comerciais, de serviços e públicas: Geral, Autodeclarada e Parcial. Na ENCE Geral, são avaliados todos os sistemas enumerados anteriormente, sendo apenas o aquecimento de água dispensável quando a edificação não possuir este sistema, com avaliação de toda a edificação. A ENCE Autodeclarada pode ser emitida na fase de

projeto apenas para edificações novas e é recomendada no caso de edificações que possuirão vários usuários independentes, nas quais os sistemas de iluminação e/ou de condicionamento de ar das unidades privativas serão instalados pelos usuários e não pelo construtor. Caso seja avaliada apenas a envoltória ou sejam avaliados a envoltória e um ou dois sistemas, é emitida a ENCE Parcial. A inspeção da envoltória é obrigatória em todas as três opções (INMETRO, 2022).

O INMETRO (2022) definiu dois métodos por meio dos quais é possível avaliar uma edificação de uso comercial, de serviços e público: simplificado e simulação computacional. A simulação computacional pode ser utilizada para avaliar todos os tipos de edificações, porém, para a utilização do método simplificado, alguns parâmetros e características da edificação avaliada devem estar em conformidade com os apresentados na Tabela 2, bem como é necessário que a edificação em que há a previsão de aproveitamento da ventilação natural esteja localizada em uma das cidades listadas na interface da ferramenta *Natural Comfort* (disponível em <http://pbeedifica.com.br/naturalcomfort>).

Tabela 2 - Valores dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos pelo método simplificado para o aproveitamento da ventilação natural

PARÂMETROS	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,20	0,80
Absortância solar das paredes externas (α_{par})	0,20	0,80
Ângulo vertical de sombreamento (AVS) ($^{\circ}$)	0	45
Área das APPs (m^2)	9	400
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob}) ($kJ/m^2.K$)	10	400
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par}) ($kJ/m^2.K$)	40	500
Comprimento total (m)	13	200
Fator da área da escada	0	0,28
Fator solar do vidro (FS)	0,20	0,80
Forma das aberturas para ventilação	0,10	50
Número de pavimentos	1	5
Pé-direito (m)	2,75	4,25
Percentual de área de abertura na fachada total (PAFT)	0,05	0,70
Profundidade total (m)	8	50
Transmitância térmica da parede externa (U_{par}) ($W/m^2.K$)	0,10	5
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,10	5
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1	6

Fonte: Baseado em INMETRO (2022).

Conforme a INI-C (INMETRO, 2022), a classificação de eficiência energética geral de uma edificação é determinada em função do percentual de redução do consumo estimado de energia primária ao se comparar a edificação real com a edificação de referência (classificação “D”). Para a classificação de cada um dos sistemas individualmente, a comparação da edificação real com a edificação de referência é feita da seguinte forma:

- a) A envoltória é classificada com base no percentual de redução da carga térmica total anual;
- b) O sistema de condicionamento de ar é classificado em função do percentual de redução de consumo para refrigeração;
- c) O sistema de iluminação é classificado de acordo com o percentual de redução do consumo desse sistema;
- d) O sistema de aquecimento de água é classificado conforme o percentual de redução de consumo de energia primária necessária para atender à demanda de água quente da edificação.

As características da edificação e do sistema de iluminação de referência que devem ser utilizadas para realizar a comparação da edificação objeto da classificação da eficiência energética são estabelecidas pela INI-C e estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores dos parâmetros de iluminação avaliados para o uso típico de educação infantil

PARÂMETROS	CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	15,50
Ocupação (m ² /pessoa)	2,50
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	15
Horas de ocupação (por dia)	8
Dias de ocupação (por ano)	200

Fonte: Adaptado de INMETRO (2022).

Neste estudo, será utilizado o método simplificado definido no INI-C para determinar a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação da edificação e, dessa forma, obter a classificação da eficiência energética geral da edificação.

3.1.1 Condições de elegibilidade para a classificação “A”

Na INI-C (INMETRO, 2022), estão contidos requisitos dos sistemas individuais (condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) que são exigidos para que a edificação obtenha a classificação geral “A” de eficiência energética. Caso esses requisitos não sejam atendidos, a classificação do sistema e a classificação geral da edificação será, no máximo, a “B”.

No caso da edificação em estudo, as condições são aplicáveis apenas aos três requisitos para o sistema de iluminação. O primeiro diz respeito à contribuição da luz natural e define que

ambientes com aberturas voltadas para o exterior, átrio não coberto, ou de cobertura translúcida e que contenham em sua iluminação geral mais de uma fileira de luminárias paralelas às aberturas, devem possuir um controle instalado - manual ou automático - para o acionamento independente do conjunto de luminárias mais próximo das aberturas, de forma a propiciar o aproveitamento da luz natural disponível (INMETRO, 2022).

O segundo requisito é em relação ao controle local do sistema de iluminação, sendo exigido que

cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve possuir pelo menos um dispositivo de controle manual para o acionamento da iluminação interna do ambiente de forma independente. Cada dispositivo de controle manual deve controlar:

- a) Uma área de até 250 m² para ambientes de até 1.000 m²;
- b) Uma área de até 1.000 m² para ambientes maiores do que 1.000 m² (INMETRO, 2022).

O terceiro requisito é o desligamento automático do sistema de iluminação de ambientes maiores que 250 m² por meio de dispositivo de controle automático, que deve funcionar de acordo com uma das seguintes opções:

- a) Um sistema automático com desligamento da iluminação em horário pré-determinado; ou
- b) Sensor de presença que desligue a iluminação 30 minutos após a saída de todos ocupantes; ou

c) Controle ou sistema de alarme que indique que a área está desocupada.

Deve existir uma programação independente para:

a) Áreas superiores a 2.500 m²;

b) Cada pavimento; e

c) Dias de semana, finais de semana e feriados.

Devem ser consideradas exceções:

a) Ambientes que funcionam durante 24h;

b) Ambientes onde existe tratamento e/ou repouso de pacientes; e

c) Ambientes onde o desligamento automático da iluminação pode, comprovadamente, oferecer riscos à integridade física dos usuários (INMETRO, 2022).

3.1.2 Potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível

O INI-C (INMETRO, 2022) definiu que a determinação do critério de potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível é obrigatória para as edificações que pretendem quantificar o aproveitamento de iluminação natural na inspeção tanto da envoltória e quanto do sistema de iluminação.

Esse critério não possui valores máximos ou mínimos, é apenas informativo e o seu valor em porcentagem é definido a partir da razão entre a soma de todas as zonas primárias de luz natural e a área total construída.

As zonas primárias de iluminação natural são determinadas em função da geometria de todas as aberturas existentes no ambiente, tanto as laterais quanto as zenitais. No caso de aberturas laterais, as zonas correspondem às áreas adjacentes à cada abertura vertical. Para as aberturas zenitais, as zonas correspondem à área abaixo da abertura.

3.1.3 Inspeção e classificação da eficiência energética do sistema de iluminação

Para determinar a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação, a INI-C (INMETRO, 2022) estabeleceu o critério de redução do consumo

do sistema de iluminação da classificação “D” para a classificação “A”. Esse critério é calculado a partir da Equação 1.

$$RedC_{IL} = ((C_{IL,refD} - C_{IL,real}) / C_{IL,refD}) \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

RedC_{IL} é o percentual de redução do consumo de iluminação (%);

C_{IL,refD} é o consumo do sistema de iluminação com a classificação “D” (kWh/ano);

C_{IL,refA} é o consumo do sistema de iluminação da edificação real (kWh/ano).

Para calcular o consumo do sistema de iluminação da edificação real, deve-se utilizar a Equação 2.

$$C_{IL,real} = (PI_T \cdot h \cdot N_{ano}) / 1000 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

C_{IL,real} é o consumo do sistema de iluminação da edificação real (kWh/ano);

PI_T é a potência de iluminação total instalada (W);

h são as horas de uso da edificação por dia, no caso de escolas: 8;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano, no caso de escolas: 200.

Para calcular a potência instalada de iluminação total da edificação real, deve ser considerada a potência referente a todos os conjuntos de luminárias instalados, incluindo lâmpadas, reatores, transformadores e sistemas de controles da edificação em sua condição real, conforme Equação 3.

$$PI_{Treal} = \sum (PI_U) + \sum PI + P_{ASP} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

PI_{T,real} é a potência de iluminação total (W);

PI_U é a potência de iluminação em uso (com controle automatizado) (W), quando aplicável;

PI é a potência de iluminação sem controle automatizado (W);

P_{ASP} é a potência de iluminação de ambientes sem projeto luminotécnico, quando aplicável.

Já para calcular o consumo do sistema de iluminação da edificação de referência (classificação “D”) e a referência equivalente à classificação “A”, deve-se utilizar a Equação 4.

$$C_{IL,refD e A} = (PI_{LD} \cdot h \cdot N_{ano}) / 1000 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

C_{IL,ref} é o consumo do sistema de iluminação das condições de referência equivalentes à classificação “D” (C_{IL,refD}) e classificação “A” (C_{IL,refA}) (kWh/ano);

PI_L é a potência de iluminação limite para a classificação “D” (PI_{LD}) e classificação “A” (PI_{LA}) (W);

h são as horas de uso da edificação por dia, no caso de escolas: 8;

N_{ano} é o número de dias de ocupação ao ano, no caso de escolas: 200.

As potências da iluminação limite para a classificação “D” e “A” devem ser determinadas em função dos ambientes ou das atividades desenvolvidas neles, conforme a Tabela 4 e a Equação 5.

Tabela 4 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DP_{IL}) para a classificação de eficiência pretendida – método das atividades do edifício

AMBIENTES	DP_{IL} CLAS. “A” (W/m ²)	DP_{IL} CLAS. “D” (W/m ²)
Área de serviço (lavanderia)	4,65	10,40
Banheiros	9,15	13,73
Casa de máquina	4,65	9,60
Circulação	7,10	11,36
Coordenação (escritório)	10,00	19,04
Cozinha	11,40	17,12
Depósitos	4,95	8,00
Despensas (armazém de material pequeno)	7,45	16,32
Escada	6,25	11,84
Fraldário (banheiros)	9,15	13,73
Recreio coberto (Sala de convivência)	7,55	9,60
Refeitório (salão de refeitório)	7,65	15,36
Repouso (dormitórios - alojamentos)	6,65	10,47
Salas de aula	9,90	16,32
Sala de reuniões, sala de atividades e sala multiuso	11,50	19,04
Secretaria (escritório)	10,00	19,04
Vestíário	5,15	12,96

Fonte: Baseado em INMETRO (2022). Nota: os ambientes entre parênteses são os listados na INI-C que podem ser considerados equivalentes aos existentes na EMEI.

$$PI_L = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot DP_{IL})$$

Equação 5

Onde:

PI_L é a potência de iluminação limite para cada classificação (W);

n é um número equivalente à quantidade de atividades da edificação;

A_i é a área iluminada para cada uma das atividades, se houver mais de uma (m²);

DP_{IL} é a densidade de potência limite para cada uma das atividades, se houver mais de uma (W/m²).

A escala definida pelo INMETRO (2022) para classificação da eficiência energética da edificação está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de iluminação

RedC _{IL} (%)				
A	B	C	D	E
RedC _{IL} > 3i	3i ≥ RedC _{IL} > 2i	2i ≥ RedC _{IL} > i	i ≥ RedC _{IL} ≥ 0	RedC _{IL} < 0

FONTE: Adaptado de INMETRO, 2022.

As classes intermediárias são determinadas a partir da divisão do intervalo entre as classes “D” e “A” em três partes, “i”, conforme a Equação 6. Caso a edificação real apresente RedC_{IL} negativo, sua classificação final será “E” (INMETRO, 2022).

$$i = \frac{((C_{IL,refD} - C_{IL,refA}) / C_{IL,refD}) \cdot 100}{3} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

i é o valor calculado que representa o intervalo entre as classes, em %;

C_{IL,refD} é o consumo do sistema de iluminação com a classificação “D” (kWh/ano);

C_{IL,refA} é o consumo do sistema de iluminação com a classificação “A” (kWh/ano).

3.2 Caracterização do sistema de iluminação da escola

Para avaliar a eficiência energética da iluminação da tipologia 3B da EMEI foram solicitados à SUDECAP os projetos arquitetônico e das instalações elétricas e eletrônicas da edificação. A SUDECAP é uma autarquia da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte responsável, dentre outras coisas, por elaborar projetos, executar obras e gerenciar contratos que tenham por objeto projetos e obras (Belo Horizonte, 2021a).

A solicitação dos projetos foi feita de forma digital por meio de um formulário disponibilizado pela autarquia e encaminhado por e-mail pela Gerência de Suporte Técnico de Informações de Empreendimentos. A referida gerência disponibilizou por e-mail cópias dos arquivos digitais editáveis dos desenhos técnicos e dos memoriais descritivos dos projetos da tipologia 3B da EMEI. De posse desses documentos, se procedeu a avaliação das características físicas do empreendimento, como as dimensões dos ambientes e as especificações técnicas do sistema de iluminação.

Nos tópicos a seguir, estão apresentadas em forma escrita e gráfica as características do sistema de iluminação da edificação.

O projeto arquitetônico foi elaborado por uma equipe de arquitetos do órgão e os projetos das instalações elétricas e eletrônicas foram elaborados por meio de um contrato de serviços profissionais especializados. A edificação possui dois pavimentos, que totalizam 1.115,53 m² de área construída e abrigam 6 setores: administrativo,

berçário, serviços, recreio coberto, salas de aulas e instalações sanitárias. Cada setor tem diferentes ambientes, descritos a seguir:

- a) O setor administrativo conta com 5 ambientes: secretaria, coordenação, depósito e sala de reuniões com banheiro;
- b) O berçário compreende 3 ambientes: sala de atividades, repouso e fraldário;
- c) Fazem parte do setor de serviços 5 ambientes: área de serviço, vestiário, despensa, despensa fria e cozinha;
- d) No setor de recreio coberto, existem 5 ambientes: refeitório, recreio coberto, dois banheiros e hall dos banheiros;
- e) As 12 salas de aula estão distribuídas da seguinte forma: 4 no 1º pavimento e 8 no 2º pavimento;
- f) As instalações sanitárias estão distribuídas nos dois pavimentos, em 6 ambientes: no 1º pavimento, há 2 banheiros masculinos, 2 banheiros femininos, 1 banheiro acessível unissex e 1 circulação. No 2º pavimento, há 1 banheiro masculino e 1 banheiro feminino e 1 banheiro unissex.

Oliveira (2011, p. 53) descreve que “todos os ambientes das UMEIs [nome anterior] foram propostos para serem espaços claros, arejados, transparentes e fluidos, privilegiando a ventilação cruzada e a iluminação natural”.

No memorial descritivo do projeto do sistema de iluminação da tipologia 3B da EMEI, o responsável técnico do projeto informa as seguintes especificações e justificativas e premissas adotadas para elaborar o projeto:

A iluminação interna artificial do prédio foi projetada de forma a obterem-se os níveis de iluminamento exigidos por norma para cada ambiente de trabalho. Devido a estes níveis optou-se por um sistema de iluminação fluorescente, que proporciona alta eficiência, boa reprodução de cores e baixo consumo de energia.

A distribuição das luminárias objetiva a obtenção de máxima difusão e o mínimo de ofuscamento.

Os níveis foram atingidos mediante cálculos de iluminação e dados técnicos do sistema de iluminação e características dos ambientes, fornecidos pela área de arquitetura.

O método de cálculo utilizado é o Método dos Lumens, ou dos rendimentos, baseado nos fatores de utilização dos tipos das luminárias do fabricante ITAIM, e características de cada ambiente de

trabalho, tais como: Dimensões da sala, nível de iluminamento requerido, coeficiente de reflexão e fator de manutenção (foi adotado o índice geral de 0,85 por tratar-se de um ambiente limpo).

Para efeito de cálculos adotamos como fator de depreciação um período de manutenção de 5.000 horas, tempo máximo.

Os reatores eletrônicos para lâmpadas fluorescentes de 16W e 32W T8 serão duplos, 127V (198 a 255V), fator de potência 0,98/0,99, fator de fluxo luminoso de 0,9; distorção harmônica menor do que 10% (THD<10%). Referência: OSRAM QUICKTRONIC PROFESSIONAL ou equivalente.

Lâmpada fluorescente tubular T8 16W, temperatura de cor 4000K, IRC ≥ 80 , fluxo médio de 1200 lm, vida mediana 20.000h. Referência: OSRAM LUMILUX FO16W/840 ou equivalente.

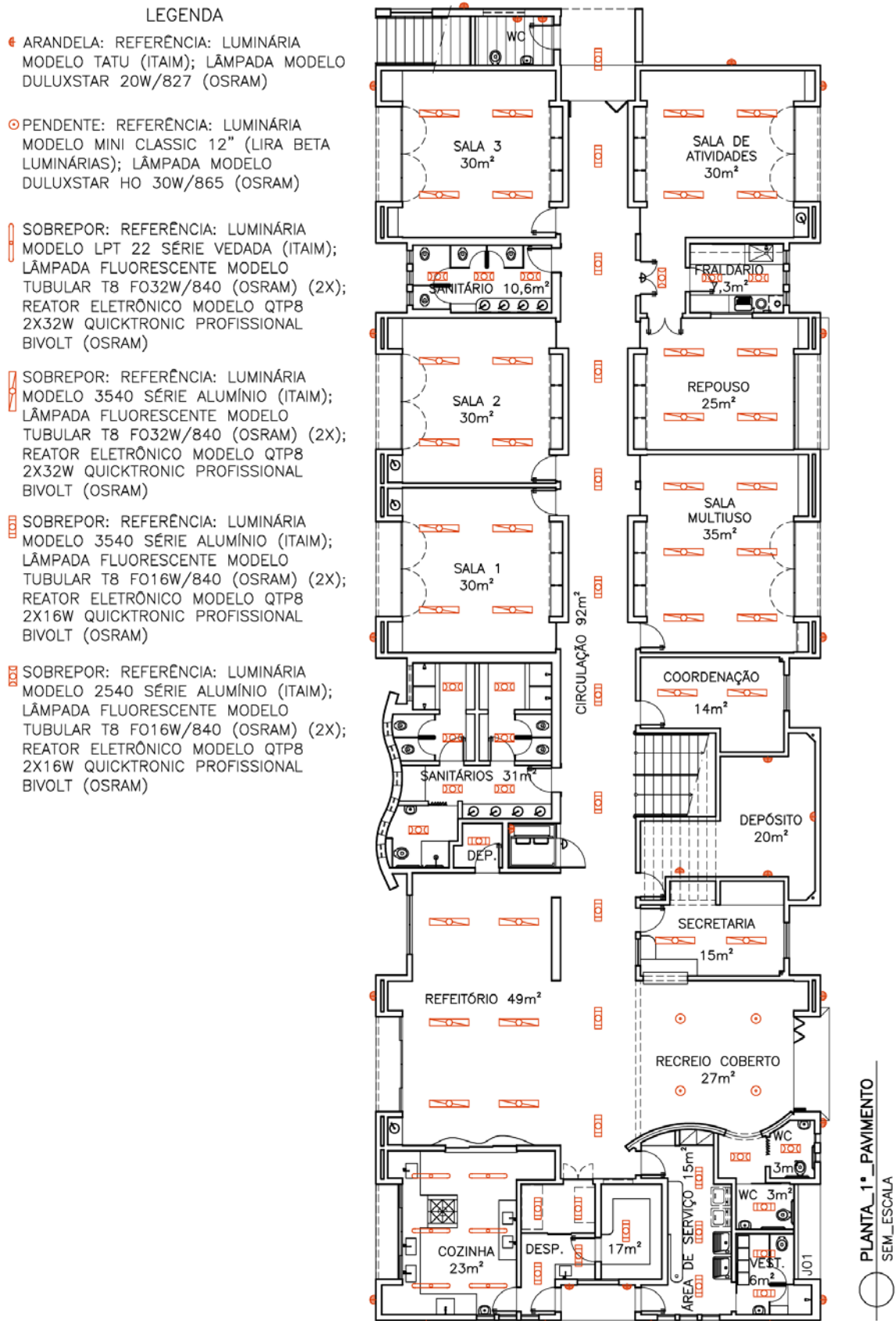
Lâmpada fluorescente tubular T8 32W, temperatura de cor 4000K, IRC ≥ 80 , fluxo médio de 2700 lm, vida mediana 20.000h. Referência: OSRAM LUMILUX FO32W/840 ou equivalente.

Lâmpada compacta 20W, temperatura de cor 2700K, IRC ≥ 80 , fluxo médio de 1220 lm, vida mediana 8.000h. Referência: OSRAM DULUXSTAR 20W/827 ou equivalente.

Lâmpada compacta 30W, temperatura de cor 6500K, IRC ≥ 80 , fluxo médio de 1800 lm, vida mediana 10.000h. Referência: OSRAM DULUXSTAR HO 30W/865 ou equivalente (SUDECAP, 2016).

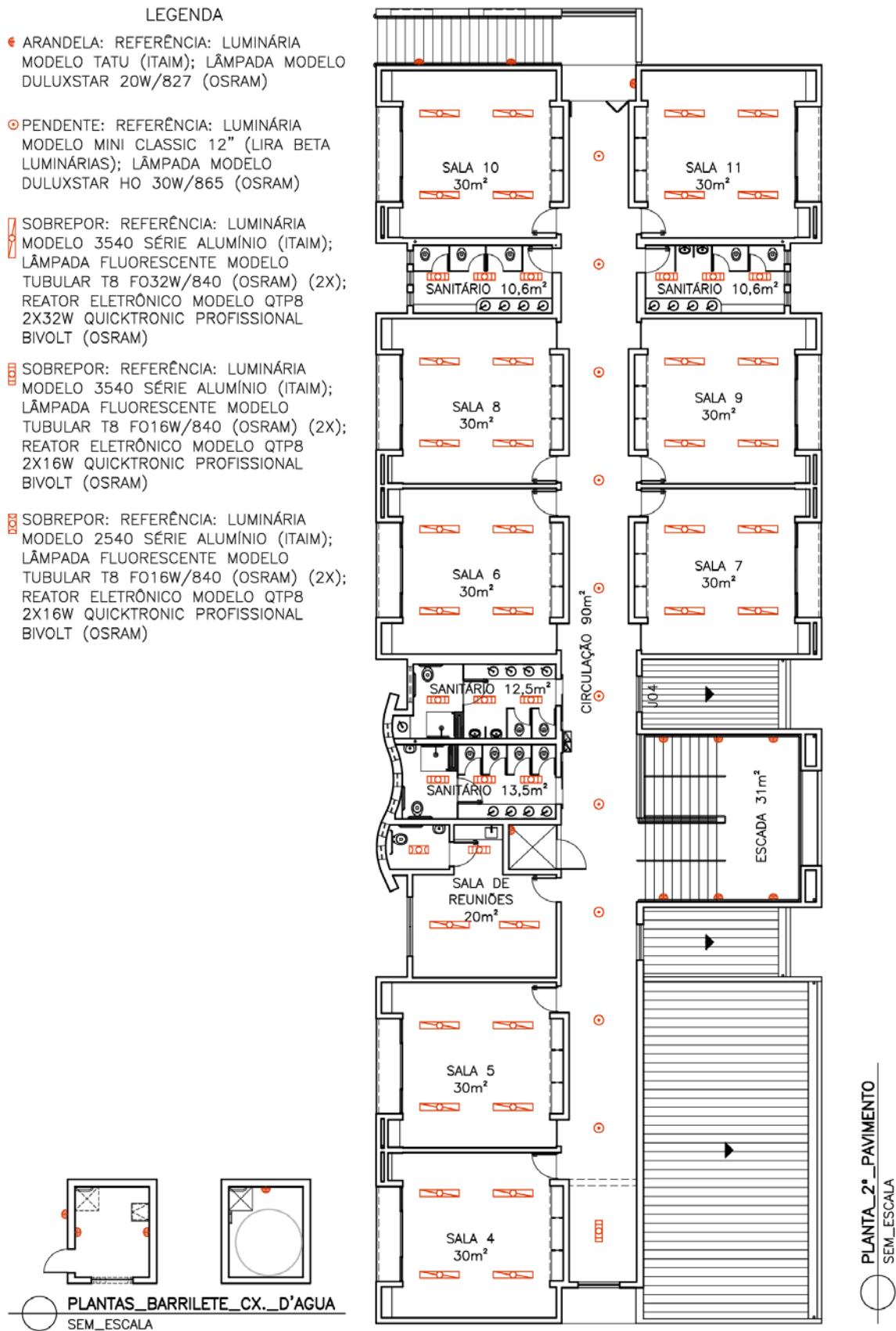
As características da edificação e das especificações das luminárias, lâmpadas e reatores do sistema de iluminação estão representadas na Figura 2 e na Figura 3 por meio de plantas esquemáticas dos dois pavimentos, do barrilete e da caixa d'água.

Figura 2 - Planta esquemática da iluminação do 1º pavimento



Fonte: Adaptado de SUDECAP (2016).

Figura 3 - Plantas esquemáticas da iluminação do 2º pavimento, do barrilete e da caixa d'água



Fonte: Adaptado de SUDECAP (2016).

4 Apresentação e análise dos resultados

Neste capítulo, estão contidos os dados referentes à classificação da eficiência energética do projeto do seu sistema de iluminação, bem como as recomendações de alteração no projeto para atendimento às exigências do INI-C para a obtenção da ENCE com classificação “A”.

4.1 Consumo total da edificação real

O projeto prevê 6 diferentes arranjos de equipamentos de iluminação, entre luminárias, lâmpadas e reatores. Para atingir o objetivo desse estudo, o tipo de luminária não influencia no consumo, pois a avaliação não envolve parâmetros qualitativos do projeto luminotécnico, como ofuscamento, uniformidade, etc. Dessa forma, foi feito o levantamento dos equipamentos de iluminação que interferem no consumo de energia elétrica.

Os equipamentos apresentados na Tabela 6 foram quantificados a partir da análise da documentação do projeto: desenhos técnicos e memorial descritivo. Foram especificados 4 tipos de lâmpadas e 2 tipos de reatores. O consumo dos reatores eletrônicos é irrelevante, sendo considerado 0.

Tabela 6 - Potência instalada dos equipamentos de iluminação do projeto

EQUIPAMENTOS DE ILUMINAÇÃO	QUANT.	POTÊNCIA	POTÊNCIA INSTALADA
Lâmpada modelo Duluxstar 20W/827 (Osram)	40	20W	800W
Lâmpada modelo Duluxstar HO 30W/865 (Osram)	14	30W	420W
Lâmpada fluorescente tubular T8 FO32W/840 (Osram)	152	32W	4864W
Reator eletrônico modelo QTP8 2x32W quicktronic profissional bivolt (Osram)	76	0	0
Lâmpada fluorescente tubular T8 FO16W/840 (Osram)	106	16W	1696W
Reator eletrônico modelo QTP8 2x16W quicktronic profissional bivolt (Osram)	53	0	0
CONSUMO TOTAL DO SISTEMA			7.780W

Fonte: Elaboração própria.

Considerando a Equação 2, apresentada anteriormente, determinou-se o consumo anual do sistema de iluminação da edificação ($C_{IL,real}$):

$$C_{IL,real} = (7780 \times 8 \times 200) / 1000 = 12.448 \text{ kWh/ano.}$$

4.2 Cálculo da potência de iluminação limite

A densidade da potência de iluminação instalada por ambiente é um dos parâmetros necessários para determinar a potência de iluminação limite. Considerando os valores apresentados na Tabela 4 e a área dos ambientes/atividades existentes da edificação real, foram determinados os limites da potência de iluminação limite para a classificação “D”, que é a condição de referência, e para a classificação “A”. Os valores estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 7 - Potência de iluminação limite da edificação

AMBIENTES/ATIVIDADES	ÁREA (m²)	PI_L CLAS. A (W)	PI_L CLAS. D (W)
Área de serviço	15,00	69,75	156
Banheiros	65,70	601,15	902,06
Casa de máquina	17,60	81,84	168,96
Circulação	182,00	1.292,20	2.067,52
Coordenação	14,00	140,00	266,56
Cozinha	23,00	262,20	297,91
Depósito	22,00	108,90	176,00
Despensas	17,00	126,67	277,44
Escada	31,00	193,75	367,04
Fraldário	7,30	66,79	100,23
Recreio coberto	27,00	203,85	259,20
Refeitório	49,00	374,85	752,64
Repouso	25,00	166,25	261,75
Sala de atividades	30,00	345,00	571,20
Sala multiuso	35,00	402,50	666,40
Sala de reuniões	20,00	230,00	380,40
Salas de aula	330,00	3.267,00	5.385,60
Secretaria	15,00	150,00	285,60
Vestiário	6,00	30,90	77,76
POTÊNCIAS LIMITES TOTAIS		8.113,60	13.420,27

Fonte: Elaboração própria.

4.3 Consumos de referência

Com base nos valores de potência limite da edificação, é possível determinar o consumo do sistema de iluminação da edificação de referência

(classificação “D”) ($C_{IL,refD}$) e a referência equivalente à classificação “A” ($C_{IL,refA}$), conforme a Equação 4, apresentada anteriormente. Dessa forma, têm-se:

$$C_{IL,refA} = (8.113,60 \times 8 \times 200) / 1000 = 12.981,76 \text{ kWh/ano}$$

$$C_{IL,refD} = (13.420,27 \times 8 \times 200) / 1000 = 21.472,43 \text{ kWh/ano}$$

4.4 Classificação da eficiência energética do sistema de iluminação

A última etapa para determinar a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação da edificação consiste na definição das classes intermediárias, conforme apresentado na Tabela 8.

Para isso, é utilizada a Equação 6, apresentada anteriormente, tendo-se o seguinte resultado:

$$i = \{[(21.472,43 - 12.981,76) / 21.472,43] \times 100\} / 3 = 13,18\%$$

Tabela 8 - Intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de iluminação

Red _{C_{IL}} (%)				
A	B	C	D	E
Red _{C_{IL}} > 39,54%	39,54% ≥ Red _{C_{IL}} > 26,36%	26,36% ≥ Red _{C_{IL}} > 13,18%	13,18% ≥ Red _{C_{IL}} ≥ 0	Red _{C_{IL}} < 0

FONTE: Baseado em INMETRO, 2022.

De posse dos valores de referência, parte-se para estabelecer o percentual de redução do consumo do sistema de iluminação da edificação real em relação à classificação “D” (Red_{C_{IL}}), conforme a Equação 1, apresentada anteriormente:

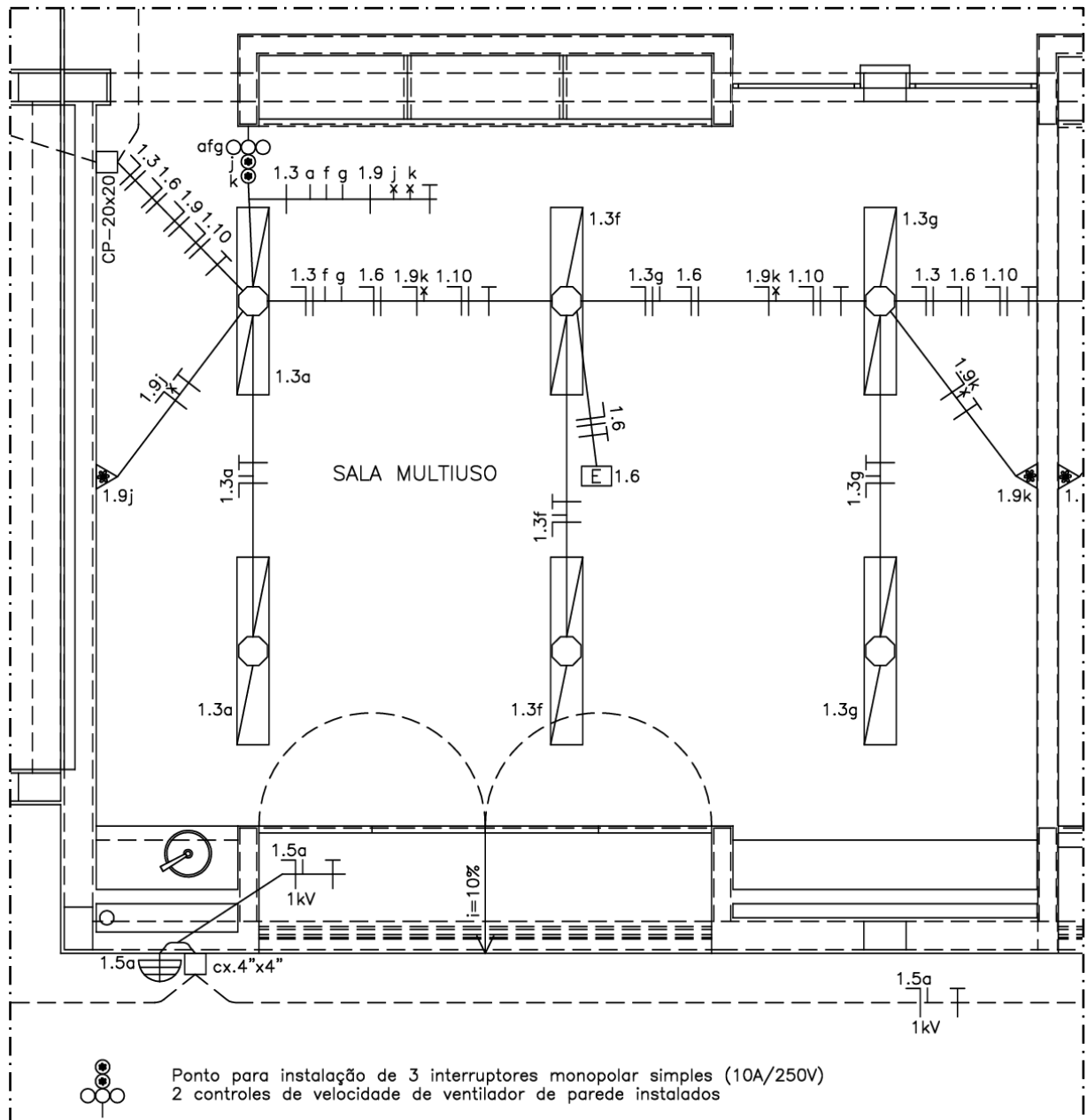
$$\text{Red}_{C_{IL}} = [(21.472,43 - 12.448,00) / 21.472,43] \times 100 = 42,03\%$$

Como o projeto do sistema de iluminação da tipologia 3B da EMEI apresentou redução de 42,03% do consumo de energia elétrica em relação à edificação de referência (classificação “D”), sua classificação de eficiência energética atende ao valor para a classificação “A”. Porém, o projeto não atende ao primeiro critério apresentado no tópico “3.1.1 Condições de elegibilidade para a classificação “A””, que se refere à contribuição da luz natural, dessa forma a classificação da edificação é “B”.

Na maior parte dos ambientes da edificação, o acionamento das luminárias do ambiente é feito por meio de um interruptor de uma seção, ou seja, todas as luminárias do ambiente são acionadas simultaneamente, como pode-se perceber na Figura 4.

acesso ao exterior, pois o conjunto de luminárias mais próximo da abertura não pode ser acionado de forma independente do conjunto de luminárias mais distantes da abertura.

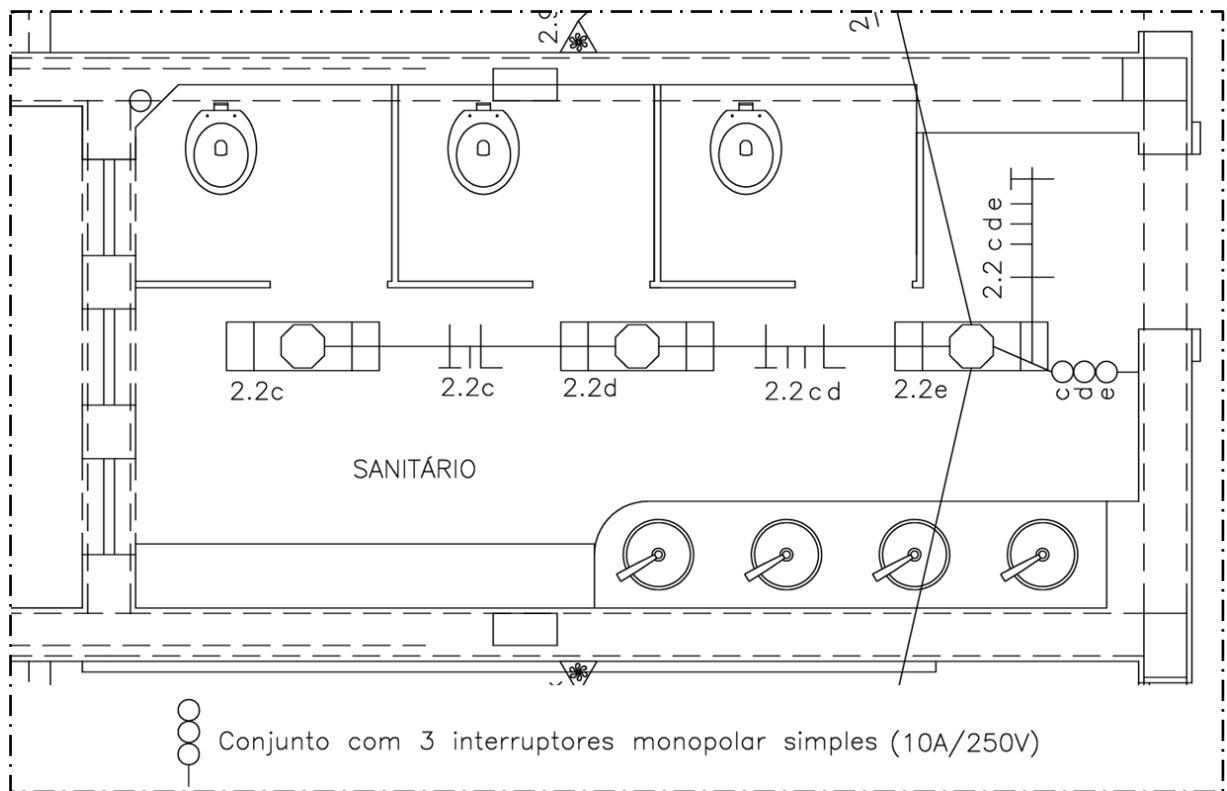
Figura 5 - Detalhe esquemático da instalação elétrica da sala multiuso da edificação



Fonte: Adaptado de SUDECAP (2016).

Apenas nos 6 sanitários, localizados nos dois pavimentos (representado na Figura 6), a divisão do acionamento das luminárias foi projetada de forma que as lâmpadas mais próximas às janelas possam não ser ligadas no horário em que a iluminação natural for suficiente.

Figura 6 - Detalhe esquemático da instalação elétrica dos sanitários da edificação



Fonte: Adaptado de SUDECAP (2016).

4.5 Potencial de integração entre as iluminações artificial e natural e propostas de alterações no projeto

Como apresentado anteriormente, o único impedimento para que o projeto do sistema de iluminação da tipologia 3B da EMEI obtenha a classificação “A” de eficiência energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem é possuir acionamento das luminárias que possibilite o aproveitamento da luz natural disponível, ou seja, que a iluminação artificial seja utilizada na edificação como complementar à iluminação natural nos ambientes.

Todos os ambientes de permanência prolongada da EMEI possuem aberturas para o exterior, por meio das quais é possível obter luz natural para a realização das atividades. Na Tabela 9, estão apresentadas as áreas das zonas primárias de iluminação natural dos ambientes da EMEI que possuem aberturas laterais para o exterior com áreas maior ou igual a 1,86m², conforme determinado pela INI-C (INMETRO, 2022).

Tabela 9 - Área zonas primárias de iluminação natural dos ambientes com abertura lateral

AMBIENTES/ATIVIDADES	ÁREA (m ²)
Área de serviços	6,50
Banheiro (pavimento 1)	3,00
Coordenação	8,89
Cozinha	11,60
Recreio coberto	10,40
Refeitório	23,31
Repouso	9,33
Salas de aulas e de atividades (12)	140,16
Sala multiuso	12,39
Sala de reuniões	20,00
Secretaria	8,89
Vestiário	5,31
ÁREA TOTAL	259,78

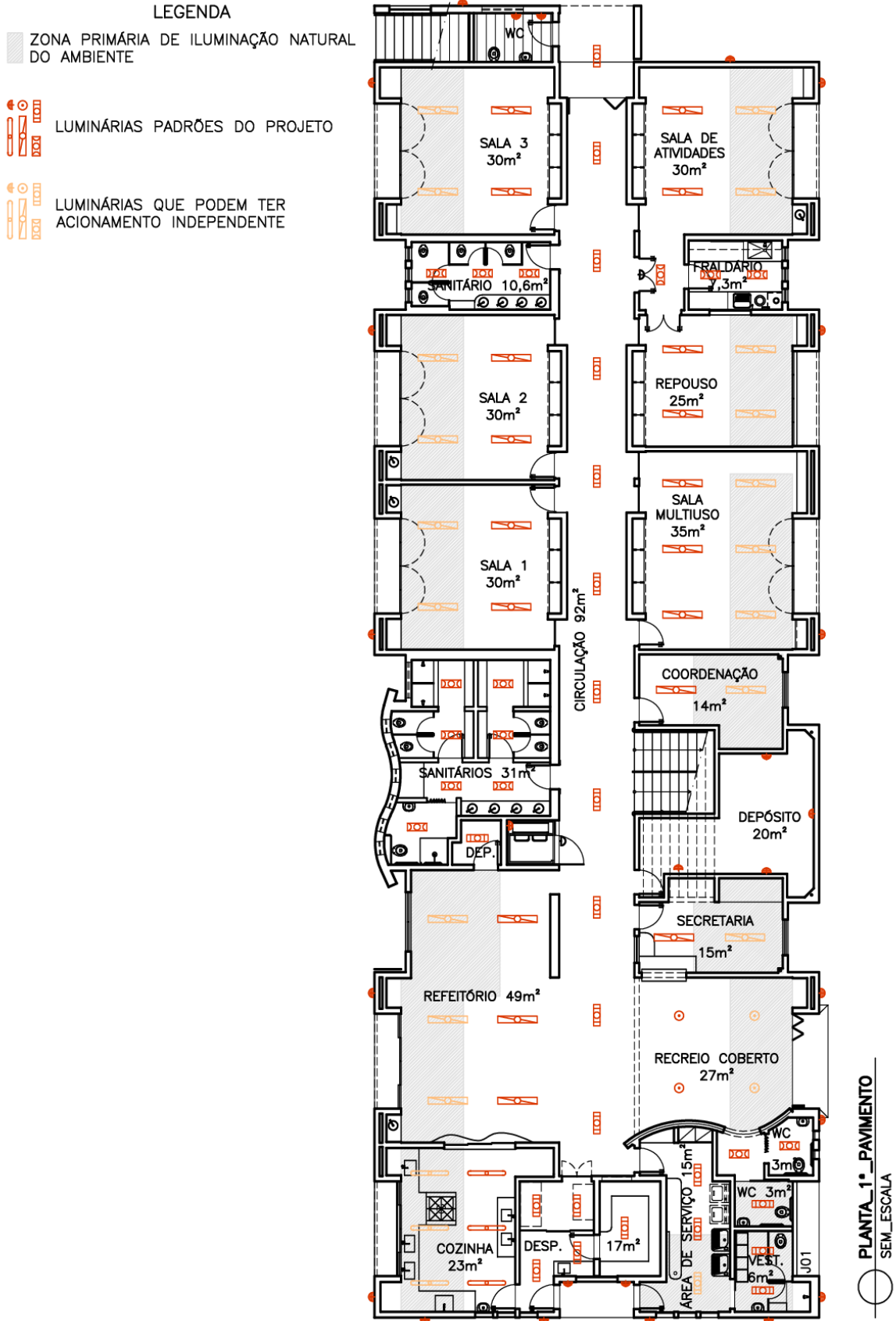
Fonte: Elaboração própria.

Considerando a área construída total da EMEI de 1.115,23 m², têm-se que a razão entre a soma de todas as zonas primárias de iluminação natural e a área total construída da edificação é 0,2328%, ou seja, o potencial de integração entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível equivale a 23,28%.

Nas zonas primárias de iluminação natural, é possível que a luz artificial não seja acionada durante o uso dos ambientes nos horários em que há luz natural disponível. Dessa forma, é possível atender ao primeiro requisito para que a edificação possa ser classificada com o selo A: haver o acionamento independente do conjunto de luminárias mais próximo das aberturas.

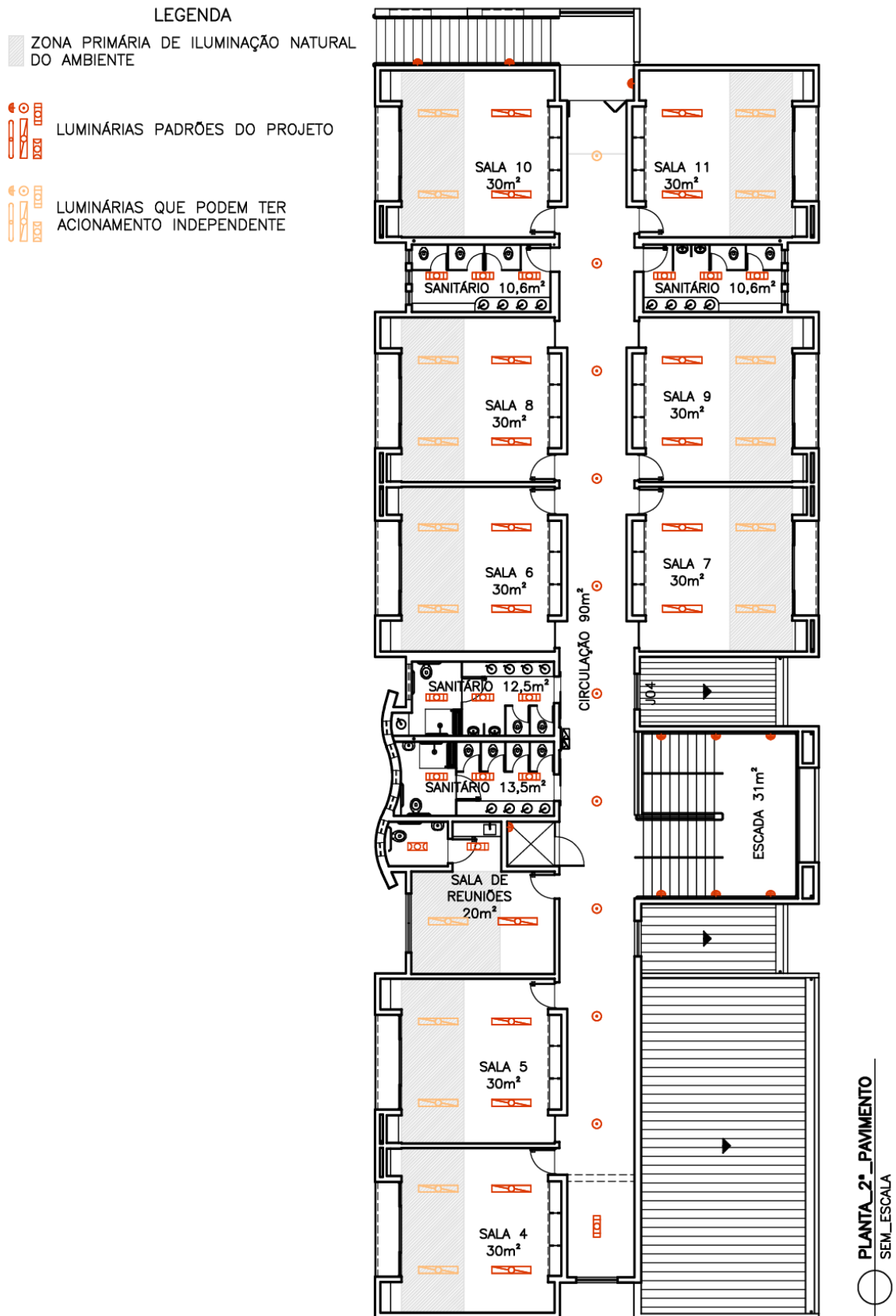
Na Figura 7 e na Figura 8, estão ilustradas todas as zonas primárias de iluminação natural dos ambientes que possuem aberturas laterais para o exterior e quais luminárias desses ambientes podem ter seu acionamento independente.

Figura 7 - Planta esquemática das zonas primárias de iluminação natural do 1º pavimento



Fonte: Adaptado de SUDECAP (2016).

Figura 8 - Planta esquemática das zonas primárias de iluminação natural do 2º pavimento



Fonte: Adaptado de SUDECAP (2016).

5 Considerações finais

A regulamentação e os programas públicos de certificação ambiental têm sido fundamentais para incentivar a adoção de práticas de eficiência energética, tanto de equipamentos quanto na indústria da construção civil. Nesse sentido, a nova INI-C apresenta-se como um instrumento bastante útil e prático.

O método simplificado definido pela INI-C mostrou-se bastante fácil e relativamente rápido para ser utilizado, sendo possível calcular em poucas horas as variáveis para determinar a classificação da eficiência energética do sistema de iluminação. Há que se fazer uma ressalva quanto à aplicabilidade desse método para a inspeção do sistema da envoltória, pois a exigência de que os ambientes da edificação tenham uma diferença máxima de 10% da área não parece razoável para empreendimentos escolares, pois apenas as salas de aula têm dimensões semelhantes, os demais ambientes administrativos e de serviços costumam ter tamanhos muito distintos.

O sistema de iluminação artificial da tipologia 3B da EMEI foi projetado em 2016 conforme as normas técnicas vigentes e foram adotadas as premissas adequadas aos usos dos espaços. O consumo total anual da edificação foi calculado em 12.448 kWh. Esse valor é menor que o limite determinado para a classificação nível "A" de eficiência energética (12.981,76 kWh/ano) e 42,03% a menos que valor determinado para o nível "D" de eficiência energética (21.472,43 kWh/ano). O resultado da inspeção do sistema, cuja classificação de eficiência energética é nível "B", era esperado uma vez que os requisitos para classificação nível "A" não eram exigências a época do projeto.

Todos os equipamentos especificados para o sistema de iluminação artificial da tipologia 3B da EMEI utilizam a tecnologia de lâmpadas fluorescentes. Acredita-se que há potencial para ter-se um consumo de energia elétrica ainda menor que o calculado caso o projeto seja revisado para a instalação de equipamentos com a tecnologia LED.

Para que o projeto do sistema seja apto à classificação "A" de eficiência energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem, ele deve ser revisado para que o acionamento das luminárias próximas às aberturas que proporcionam iluminação natural seja independente das luminárias mais distantes dessas aberturas.

Referências

AMORIM, M. O. **As Unidades Municipais de Educação Infantil em Belo Horizonte: Investigações sobre um padrão arquitetônico**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/RAAO-8CSLXS>. Acesso em: 14 ago. 2021.

ANIBOLETE, D. Belo Horizonte economizará R\$ 25 milhões por ano com nova iluminação. **Procel Info**, Rio de Janeiro, 12 ago. 2020. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B7B636B2A-D96D-4CE0-859A-F9C0C462ADB5%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em: 29 ago. 2021.

BELO HORIZONTE. Conselho Municipal do Meio Ambiente – COMAM. **Deliberação Normativa nº 66, de 29 de dezembro de 2009**. Institui o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental e estabelece medidas de sustentabilidade, combate às mudanças climáticas e gestão de emissões de gases de efeito estufa no âmbito da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte e dá outras providências. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/authenticated%2C%20editor_a_meio_ambiente/deliberacoes/comam/DN66-09.pdf. Acesso em 24 out. 2021.

BELO HORIZONTE. **Decreto nº 17.135, de 11 de julho de 2019**. Estabelece a Agenda 2030 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas como referência para o planejamento de médio e longo prazo das políticas públicas municipais. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto/17135/2019>. Acesso em: 24 out. 2021.

BELO HORIZONTE. **Decreto nº 17.556, de 02 de março de 2021**. Dispõe sobre a estrutura organizacional da Superintendência de Desenvolvimento da Capital. 2021a. Disponível em: <https://www.cmbh.mg.gov.br/atividade-legislativa/pesquisar-legislacao/decreto/17556/2021>. Acesso em: 24 out. 2021.

BELO HORIZONTE. **Relatório de acompanhamento dos objetivos de desenvolvimento sustentável de Belo Horizonte 2022**. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/planejamento/planejamento-e-orcamento/Relatorio_ODS_2022.pdf. Acesso em: 29 out. 2023.

BELO HORIZONTE. Secretaria Municipal de Educação. **Escolas municipais da rede própria**: atualizado em 08/07/2021. 2021b. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/educacao/escolas-municipais-da-rede-propria>. Acesso em: 31 ago. 2021.

BELO HORIZONTE. **Selo BH Sustentável**. Belo Horizonte: c2018. Disponível em: <https://cesa.pbh.gov.br/scsae/index.smma>. Acesso em: 29 out. 2023.

BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. 2001. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: 29 out. 2023.

ELETROBRAS. **Resultados PROCEL 2021: Ano Base 2020**. Rio de Janeiro: PROCEL, 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2021/>. Acesso em: 29 out. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021: Ano Base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf. Acesso em: 27 nov. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica EPE/DEA/SEE/007/2020 de agosto de 2020**. Ações para Promoção da Eficiência Energética nas Edificações Brasileiras: no Caminho da Transição Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022**. Aprova as Instruções Normativas e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética das Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas e Residenciais – Consolidado. Disponível em: <http://sistema-sil.inmetro.gov.br/rtac/RTAC002989.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL – INMETRO. **Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ). Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

LAMBERTS, R; DUTRA, L; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ELETROBRAS / PROCEL, 2014. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 23 jul. 2021.

LOMBARDO, L. L. B. **Eficiência energética nos edifícios e sustentabilidade no ambiente construído**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS / PROCEL, 2011. Disponível em: https://ambeefau.files.wordpress.com/2011/09/eee_sustentabilidade.pdf. Acesso em 29 out. 2023.

MACHADO, A. Q. (Coord.); CLARE, C. V; CARVALHO, F. G; SILVA FILHO, M. P; BLIACHERIS, M. W; FERREIRA, M. A. S. O; BARTH, M. L. B. G; SANTOS, M. L. F; GOMES, P. M; VILLAC, T. **Guia nacional de contratações sustentáveis**. 3. ed. Brasília: AGU, 2020.

MARQUES, H. F. M. **Belo Horizonte e autogeração de energia**: uma abordagem do impacto socioambiental positivo – usina escola, 2021. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em:
https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/39875/1/MARTINS_HUMBERTOREVISADO.pdf. Acesso em 08 jan. 2022.

OLIVEIRA, L. L. D. **Avaliação de pós-ocupação em duas Unidades Municipais De Educação Infantil** – UMEI Sol Nascente e UMEI Mangueiras. 2011. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-9ADKCS>. Acesso em: 14 ago. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Transformando nosso mundo**: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Tradução: Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Título original: *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Disponível em:
<https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.

PBE EDIFICA. **PBE Edifica**. c2020. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/>. Acesso em: 29 out. 2023.

PBH ATIVOS. **PPP Educação**. 2021. Disponível em: <https://pbhativos.com.br/concessoes-e-ppps-2/educacao/>. Acesso em: 31 ago. 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL – SUDECAP. **Projetos tipologia 3B EMEI**. Belo Horizonte, 2016. E-mail.