



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM ARQUITETURA E URBANISMO

MESTRADO ACADÊMICO

ADRIANA FATIMA DUSSEL DOS SANTOS

**ANÁLISE E ADEQUAÇÃO DE AMBIENTE ESCOLAR EM
CUIABÁ-MT PARA OBTENÇÃO DA CLASSE “A” DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA PELA APLICAÇÃO DA INI-C**

VÁRZEA GRANDE

2022

ADRIANA FATIMA DUSSEL DOS SANTOS

***ANÁLISE E ADEQUAÇÃO DE AMBIENTE ESCOLAR EM CUIABÁ-
MT PARA OBTENÇÃO DA CLASSE “A” DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA PELA APLICAÇÃO DA INI-C***

Dissertação apresentada Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Arquitetura e Urbanismo do Mestrado Acadêmico em associação com a PUC Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção de título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo na linha de pesquisa Ambiente Construído e Sustentabilidade.

ORIENTADORA DRA. MAÍRA VIEIRA DIAS

VÁRZEA GRANDE

2022

Dedico este trabalho ao meu esposo. Obrigada por me fazer sentir amada incondicionalmente.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao meu esposo, Juseli e ao meu filho, Marcelo Dussel.

À minha Orientadora, Dra. Maíra Vieira Dias, por acreditar que este trabalho poderia ser realizado em um tempo menor, sempre motivando através de suas vivências pessoais.

À gestão e ao conselho da Escola Presbiteriana de Cuiabá pela confiança.

À coordenadora do curso de mestrado em Arquitetura e Urbanismo do UNIVAG, Dr.^a Jeane Aparecida Rombi de Godoy Rosin, por suas experiências compartilhadas, sempre incansável na motivação aos alunos. Ao Dr. Ângelo Palmisano pela demonstração de comprometimento com a docência, por colaborar com sua experiência profissional e pessoal.

Aos professores do UNIVAG e da PUC/Campinas.

A professora Dra. Rosana Ravache e ao professor Dr. Humberto Metello por serem exemplos de vida e longevidade no ambiente de trabalho.

Aos coordenadores M.^a Carmelina Suquerê e Dr. Leandro Luetkmeyer. Recomeçar só foi possível com a ajuda de vocês.

Aos meus colegas de mestrado.

Ao UNIVAG, que me proporciona orgulho em ser aluna e colaboradora.

Aos meus alunos que, com todo carinho a mim demonstrado, motivam-me a querer permanecer na docência. Sim, chegou minha vez de homenageá-los.

“Muitos homens devem a grandeza da sua vida aos obstáculos que tiveram que vencer.”

C. H. Spurgeon

RESUMO

O fenômeno do aquecimento global tem cada vez mais alterado os regimes hídricos e aumentado o consumo de energia para fins de resfriamento dos ambientes edificados, impactando a atmosfera com o aumento dos níveis de CO₂. Para limitar tais impactos, é imprescindível que haja a constante revisão das normativas de eficiência energética, a exemplo da Instrução Normativa Inmetro (INI), para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), aprovada em 2021, que aprimora a regulamentação no país. Visando aplicar a nova normativa, esta pesquisa objetivou avaliar a eficiência energética do Bloco Infantil da Escola Presbiteriana de Cuiabá (EPC) segundo o método simplificado da INI-C e propor, por meio de *retrofit*, diretrizes projetuais que visam o alcance de um ambiente escolar com classe “A” de eficiência. Para isso, foram realizadas medições *in loco* para o levantamento iconográfico e físico dos ambientes, bem como as aferições das iluminâncias. Com base nestes dados, foi realizada a modelagem tridimensional de dois modelos no *software* DIALux evo, sendo um para a condição atual dos ambientes (modelo real) e outro indicando as melhorias de eficiência energética com base na INI-C (modelo hipotético), visando à classe “A” e então inserir a energia local renovável e a neutralidade de carbono. Na sequência, foram feitas simulações com *software* DIALux evo, dos modelos real e hipotético, buscando uma maior integração entre a luz natural e a elétrica. Como resultado, foi possível elevar esta integração de 11% para 27% permitindo que o sistema de iluminação reduzisse a emissão de 86,9% de CO₂. Por meio da redução do consumo de energia elétrica e utilizando a geração de energia elétrica através de painéis solares, houve uma diminuição nas emissões de CO₂ de 6,63 tCO₂/ano. Mediante a aplicação da nova regulamentação do PBE Edifica, a nova INI-C, foi possível a mitigação dos impactos ambientais em uma das capitais mais quentes do país.

Palavras-chave: eficiência energética; etiquetagem em edificações; geração solar; INI-C; iluminação escolar.

ABSTRACT

The phenomenon of global warming has increasingly changed water regimes and increased energy consumption for cooling purposes in built environments, impacting the atmosphere with increased CO₂ levels. In order to limit such impacts, it is imperative that there is a constant review of energy efficiency regulations, such as the Inmetro Normative Instruction (INI), for the Energy Efficiency Class of Commercial, Services and Public Buildings (INI-C), approved in 2021, which improves regulations in the country. In order to apply the new regulations, this research aimed to evaluate the energy efficiency of the Children's Block of the Presbyterian School of Cuiabá (EPC) according to the simplified method of INI-C and to propose, through retrofit, design guidelines that aim to achieve a school environment with efficiency class "A". For this, measurements were carried out in loco for the iconographic and physical survey of the environments, as well as the measurements of illuminance. Based on these data, a three-dimensional modeling of two models was carried out in the DIALux evo software, one for the current condition of the environments (real model) and the other indicating energy efficiency improvements based on the INI-C (hypothetical model), targeting the "A" class and then inserting local renewable energy and carbon neutrality. Then, simulations were made with DIALux evo software, of the real and hypothetical models, seeking a greater integration between natural and eléctrica light. As a result, it was possible to increase this integration from 11% to 27%, allowing the lighting system to reduce the emission of 86.9% of CO₂. By reducing electricity consumption and using electricity generation through solar panels, there was a decrease in CO₂ emissions of 6.63 tCO₂/year. Through the application of the new regulation of PBE Edifica, the new INI-C, it was possible to mitigate the environmental impacts in one of the hottest capitals in the country.

Keywords: energy efficiency; labeling in buildings; solar Generation; INI-C; school lighting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cronologia da eficiência energética no Brasil.	25
Figura 2: Redes neurais artificiais.....	26
Figura 3: Cadeia de transformação de energia elétrica.	27
Figura 4: Países que usam a energia primária e a energia final nas normas de etiquetagem.....	28
Figura 5: Escala para a distribuição de eficiência energética.....	31
Figura 6: Primeira página da ENCE: a) Geral b) Parcial e c) Declarada.....	31
Figura 7: Histórico dos preços de células de silício.	40
Figura 8: Depressão cuiabana.	42
Figura 9: Vista aérea da localização do complexo da EPC.....	43
Figura 10: Localização da EPC em relação à Av. Tenente Coronel Duarte.....	43
Figura 11: Fluxograma das etapas da pesquisa.....	44
Figura 12: Implantação da EPC - em destaque o Bloco Infantil e o estacionamento.	45
Figura 13: Acesso ao Bloco Infantil da EPC.	46
Figura 14: Quadra poliesportiva e <i>playground</i> Bloco Infantil da EPC.	46
Figura 15: Planta baixa do térreo e do pavimento superior.	47
Figura 16: Ambiente virtual que ilustra o ambiente real da sala 01 com obstrução permanente e Sala 02 sem janela.	47
Figura 17: Ambiente virtual que ilustra o ambiente real das salas com orientação para o Sul.....	48
Figura 18: Luxímetro digital modelo MLM-1011.....	49
Figura 19: Posição do luxímetro sobre os pontos da malha.	50
Figura 20: Planta das salas com malha de pontos de medição (iluminação natural).	52
Figura 21: Marcação dos pontos medidos com luxímetro.....	53
Figura 22: Ambiente com fontes de iluminação simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras.	53
Figura 23: Planta das salas com malha de pontos de medição (iluminação elétrica).....	54
Figura 24: Obstrução permanente das janelas da sala 01 representado em planta baixa (esquerda) e em modelagem 3D (direita).	59
Figura 25: Janela da sala 02 no levantamento iconográfico (esquerda) e em modelagem 3D (direita).	60
Figura 26: Iluminação natural em plano translúcido de 60cmx60cm da sala 05. Levantamento iconográfico (esquerda) e Modelagem 3D (direita).....	60

Figura 27: Fator de Projeção (FP).....	61
Figura 28: Áreas de Permanências Transitórias iluminadas por luz elétrica.....	62
Figura 29: O estacionamento (direita) e o posicionamento das vagas (esquerda).	62
Figura 30: a) Fachada da guarita; b) Lâmpadas no poste; c) Luminárias de jardim d) Luminárias decorativas.	63
Figura 31: Zonas térmicas de análise.	65
Figura 32: Isolamento térmico de tubulações.	68
Figura 33: Fluxo de trabalho de aplicação do Anexo D.....	71
Figura 34: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural através das janelas altas.....	73
Figura 35: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural no inverno com prateleiras de luz às 16h – Sala 05.....	73
Figura 36: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural no solstício de inverno às 9h (modelo real) – Sala 05.....	74
Figura 37: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural no solstício de verão 16h (modelo real) – Sala 05.....	75
Figura 38: Mobiliários presentes na sala da coordenação.....	76
Figura 39: Configuração do ambiente para a simulação da IASP (sala 05), solstício de verão às 9h....	76
Figura 40: Configuração do ambiente para a simulação da luz elétrica na sala 05.	77
Figura 41: Mobiliário das salas de aula (esquerda) e sala do maternal (direita).	80
Figura 42: a) Brilho intenso no quadro (esquerda). b) Incidência direta da luz nas carteiras (direita). 81	
Figura 43: a) Sala com janelas fechadas (esquerda). b) Sala com acionamento da luz elétrica (direita).	81
Figura 44: a) Local da sala 02 em retângulo vermelho (esquerda). b) Sala 02 com janela para o corredor (direita).....	82
Figura 45: a) Configuração do ambiente para a simulação do modelo 3D das aberturas da sala dos professores (esquerda). b) Foto das duas janelas laterais da sala dos professores (direita).	82
Figura 46: Configuração do ambiente para a simulação do modelo 3D indicando a posição da sala 05 (esquerda) e melhoria no brilho no quadro devido a tela solar (direita).	83
Figura 47: a) Configuração do ambiente para a simulação do modelo 3D da posição da sala 06 (esquerda). b) Janela da sala 06 com tela solar.	83
Figura 48: Lâmpadas queimadas: a) sala 03 (esquerda). b) sala 08 (direita).	83
Figura 49: Características da envoltória do Bloco Infantil (condição real).	84
Figura 50: a) Composição da parede externa. b) Telha termoacústica.	84
Figura 51: Planta das salas com distribuição das luminárias.	86
Figura 52: a) Corredor do térreo. b) Corredor do piso superior.	88

Figura 53: Janela voltada para o leste na sala dos professores.	90
Figura 54: Edificações educacionais: CRCgTTD-A com base no FF e grupo climático.	95
Figura 55: Classificação final da envoltória do modelo real.	96
Figura 56: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.	99
Figura 57: Percentual de redução da emissão de dióxido de carbono.	99
Figura 58: Simulação da sala 02, que possui obstrução permanente com céu claro solstício de verão, às 16h.	101
Figura 59: Simulação da sala 04 com céu claro solstício de verão, às 16h com baixa uniformidade.	101
Figura 60: Obstrução existente preservada no modelo real usado para a simulação sala 01.	102
Figura 61: Simulação Banheiros e o corredor do térreo com céu claro solstício de verão, às 9h.	102
Figura 62: Simulação Banheiros e o corredor do piso superior com céu claro solstício de verão, às 9h.	103
Figura 63: Simulação com céu claro para o solstício de verão, às 16h da sala 01 obstruída pelo muro.	105
Figura 64: Simulação com céu claro para o solstício de verão, às 16h da sala 01 desobstruída.	105
Figura 65: Simulação com céu claro para o solstício de verão, às 16h da sala 02 com as janelas altas.	106
Figura 66: Simulação às 20h mostrando a iluminância das Salas 05 com 09 lâmpadas.	107
Figura 67: Simulação às 20h mostrando a iluminância da sala com 08 lâmpadas com 237 lux.	107
Figura 68: Indicadores de desempenho visual da simulação do modelo hipotético da sala 05.	109
Figura 69: Superfícies de cálculo para a verificação do índice de ofuscamento.	109
Figura 70: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para o sistema de iluminação de universidade/escola.	110
Figura 71: Simulação para o solstício de verão às 16h na sala 05 com a luz elétrica e a luz natural.	110
Figura 72: a) Salas 01 e 02 sem aberturas . b) Salas 01 e 02 com aberturas.	111
Figura 73: Cálculo do CSPF e IDRS por meio do arquivo climático (EPW) para o clima de Cuiabá.	114
Figura 74: Percentual de redução da emissão de dióxido de carbono.	115
Figura 75: Classificação geral de eficiência energética - modelo hipotético.	115
Figura 76: Simulação do telhado do Bloco Infantil com os painéis solares (área ocupada em azul).	116
Figura 77: Simulação de uma abertura voltada para fachada Oeste para o solstício de verão às 9h.	119
Figura 78: Simulação de prateleiras de luz na Sala 05 (Norte) para o solstício de verão às 16h.	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índice do local (K).	51
Tabela 2: Número de pontos necessários para a medição.	52
Tabela 3: Classificação de eficiência pretendida - método do edifício completo.....	58
Tabela 4: Áreas do Bloco Infantil.....	58
Tabela 5: Cálculo da eficiência luminosa.....	87
Tabela 6: Potência de Iluminação em Uso PIU (W) do Bloco Infantil.	87
Tabela 7: Média das iluminâncias iluminação natural.	88
Tabela 8: Média das iluminâncias iluminação elétrica.....	89
Tabela 9: Média das iluminâncias iluminação natural e IASP.	90
Tabela 10: Tabela resumo das iluminâncias com demarcação das medições que não atingiram 300lx.	91
Tabela 11: Potencial de Integração (PI) entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível.....	92
Tabela 12: Total da carga para a climatização do Bloco Infantil.	96
Tabela 13: RedCEP (Percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e condição de referência).	98
Tabela 14: Iluminância do modelo real com obstrução permanente.....	100
Tabela 15: Simulação para o modelo hipotético.....	104
Tabela 16: Redução da potência de iluminação elétrica em uso.....	108
Tabela 17: Simulação do modelo hipotético.....	111
Tabela 18: Potencial de integração entre a luz natural e a elétrica do modelo hipotético.....	112
Tabela 19: Carga instalada da classe D (modelo real) e da classe A (modelo hipotético).	113
Tabela 20: Percentual de redução nas emissões de CO2. a) Sistema de iluminação. b) Sistema de condicionamento de ar.	116
Tabela 21: Quantidade de painéis para o modelo real.	117
Tabela 22: Quantidade de painéis para o modelo hipotético.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Limitações do método prescritivo do RTQ-C.	25
Quadro 2: Diferença em escopo e cálculo entre os regulamentos RTQ-C e INI-C.	29
Quadro 3: Mudanças da INI-C conforme Rodrigues e Souza (2020).	30
Quadro 4: <i>Retrofit</i> de sistemas de iluminação.	37
Quadro 5: Iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor das APTs.	55
Quadro 6: Especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.	56
Quadro 7: Limites dos intervalos das classificações de eficiência do sistema de iluminação.	64
Quadro 8: Limites dos parâmetros da envoltória atendidos pelo método simplificado.	66
Quadro 9: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.	67
Quadro 10: Espessura mínima (mm) de isolamento térmico de tubulações.	68
Quadro 11: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.	71
Quadro 12: Classificação geral da edificação.	79
Quadro 13: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para escola.	93
Quadro 14: Envoltória em sua condição real e de referência.	94
Quadro 15: Consumo/eficiência energética de condicionadores de ar.	97
Quadro 16: Classificação final do sistema de condicionamento de ar.	97
Quadro 17: Consumo/eficiência energética dos condicionadores de ar (modelo hipotético).	113
Quadro 18: Classificação final do sistema de condicionamento de ar do modelo hipotético.	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
α COB	Absortância da cobertura
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento
AI	Área Iluminada
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
AOV	Ângulo de obstrução vertical
α PAR	Absortância da parede
APP	Área de Permanência Prolongada
APT	Área de Permanência Transitória
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CEER	Coefficiente de Eficiência Energética do Sistema de Condicionamento de Ar para refrigeração
CEE, real	Consumo Total de Energia Elétrica da Edificação Real
CEPT, real	Consumo de Energia Primária Total da Edificação Real
CET, real	Consumo Total de Energia Térmica da Edificação Real
CgTR	Carga Térmica de Refrigeração Anual
CgTRreal	Carga Térmica de Refrigeração Anual para a condição real
CgTRref	Carga Térmica de Refrigeração Anual para a condição de referência
CgTT	Carga Térmica Total Anual da Edificação
CgTTREAL	Carga Térmica Total Anual da Edificação na Condição Real
CgTTREF	Carga Térmica Total Anual da Edificação na Condição de Referência
CO ₂	Dióxido de carbono
COP	Conferência das Partes
COP	Coefficiente de Performance
COPR	Coefficiente de Performance para Refrigeração
CRCEPD-A	Coefficiente de Redução do Consumo de Energia Primária da Classificação D para a Classificação A
CRGgTTD-A	Coefficiente de Redução de Carga Térmica Total anual da Classificação D para a A
CR,real	Consumo de Refrigeração da Edificação Real
CR,ref	Consumo de Refrigeração da Edificação na Condição de Referência
CSPF	<i>Cooling Seasonal Performance Factor</i>

CTcob	Capacidade térmica da cobertura
CTpar	Capacidade térmica da parede externa
DPE	Densidade de potência de equipamentos
DPI	Densidade de potência de iluminação
DPIL	Densidade de Potência de Iluminação Limite
ECO _{2,real}	Emissão Total de Dióxido de Carbono da Edificação Real
EEP	Edificação de Energia Positiva
EEZ	Edificação de Energia Zero
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPC	Escola Presbiteriana de Cuiabá
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPS	Poliestireno Expandido
FAP	Fator de Ajuste de Potência
FCE	Fator de Conversão de Energia Elétrica em Energia Primária
FCT	Fator de Conversão de Energia Térmica em Energia Primária.
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
FF	Fator Forma
FS	Fator Solar
FP	Fator de Projeção
GEE	Gases de Efeito Estufa
HSP	Horas de Sol Pleno
HV	Altura da Verga
IASP	Iluminação Elétrica Suplementar Permanente
IASPI	Iluminação Elétrica Suplementar Permanente para Interiores
IDRS	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal
INI-C	Instrução Normativa Inmetro – Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas Globais
IRC	Índice de Reprodução de Cor
ISO	Organização Internacional de Normatização
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LED	Diodo Emissor de Luz
MME	Ministério de Minas e Energia

NBR	Norma Brasileira
NDC	Contribuições Nacionalmente Determinadas
NHO	Norma de Higiene Ocupacional
NZEB	Edificação de Energia quase Zero
PAF	Percentual de Área de Abertura na Fachada
PASP	Potência de Ambientes Sem Projeto
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PBE Edifica	Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações
PCO ₂	Percentual de Redução ou Acréscimo de Dióxido de Carbono
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PGE	Potencial de Geração de Energia
PI	Potencial de Integração
PI	Potência Instalada de Iluminação
PIL	Potência de Iluminação Limite
PILA	Potência de Iluminação Limite da Classificação A
PIT	Potência Instalada Total
PITreal	Potência de Iluminação Total Real
PIU	Potência Instalada em Uso
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROCEL Edifica	Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações
PVC	Policloreto de Vinila
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações
RBC	Rede Brasileira de Calibração
RedCEP	Redução do Consumo de Energia Primária
RedCR	Redução do Consumo de Refrigeração
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais
SCOP	Coeficiente Sazonal de Performance
SIN	Sistema Interligado Nacional
TD	Taxa de Desempenho
TRY	<i>Test Reference Year</i>
UCOB	Transmitância da cobertura

UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UHE	Usinas hidrelétricas
UPAR	Transmitância da parede externa
UVID	Transmitância do vidro
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Objetivos	21
1.1.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>21</i>
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>21</i>
1.2	Estrutura da dissertação	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1	Contexto Histórico da Eficiência Energética até a publicação INI-C	22
2.1.1	<i>Avaliação do sistema de iluminação e da envoltória.....</i>	<i>32</i>
2.2	Retrofit Energético	34
2.3	Energia on-site renovável.....	38
2.4	Caracterização da área de estudo.....	41
3	METODOLOGIA.....	43
3.1	Etapa 1: Procedimentos Iniciais e Definição do Objeto de Estudo	44
3.1.1	<i>Definição do Objeto de Estudo.....</i>	<i>45</i>
3.1.2	<i>Caracterização do Bloco Infantil</i>	<i>46</i>
3.2	Etapa 2: Aspectos Qualitativo e Quantitativo	48
3.2.1	<i>Fase 1: Levantamento dos Aspectos Qualitativos.....</i>	<i>48</i>
3.2.1.1	<i>Fase 2: Levantamento dos Aspectos Quantitativos</i>	<i>49</i>
3.2.1.2	<i>Aferição 1: Iluminação Natural</i>	<i>50</i>
3.2.1.3	<i>Aferição 2: Iluminação Elétrica.....</i>	<i>53</i>
3.2.1.4	<i>Aferição 3: Iluminação IASP</i>	<i>56</i>
3.3	Etapa 3: Classificação Energética pela INI-C (modelo real).....	56
3.3.1	<i>Classificação do Sistema de Iluminação (modelo real)</i>	<i>57</i>
3.3.2	<i>Classificação da Envoltória (modelo real)</i>	<i>64</i>
3.3.3	<i>Classificação do Sistema de Condicionamento de Ar (modelo real)</i>	<i>67</i>
3.3.4	<i>Classificação Geral da Eficiência Energética do modelo real</i>	<i>70</i>
3.3.5	<i>Energia on-site e emissão de CO₂ do modelo real.....</i>	<i>71</i>
3.4	Etapa 4: Simulações dos modelos tridimensionais	72
3.4.1	<i>Simulação 1: Iluminação Natural (modelo real).....</i>	<i>74</i>
3.4.2	<i>Simulação 2: Iluminação Elétrica (modelo real).....</i>	<i>75</i>
3.4.3	<i>Simulação 3: Iluminação Natural e IASP (modelo real).....</i>	<i>76</i>
3.4.4	<i>Simulação 4: Iluminação Natural (modelo hipotético).....</i>	<i>77</i>
3.4.5	<i>Simulação 6: Iluminação Elétrica (modelo hipotético).....</i>	<i>77</i>

3.4.6	<i>Simulação 6: Iluminação Natural e IASP (modelo hipotético)</i>	78
3.5	Etapa 5: Classificação Energética pela INI-C do modelo hipotético.....	78
3.5.1	<i>Energia on-site de Energia Renovável para o modelo hipotético e emissão de CO₂</i> ...	79
3.6	Etapa 6: Diagnóstico.....	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4.1	Aspectos Qualitativos.....	80
4.1.1	<i>Levantamento Físico e Iconográfico dos Ambientes</i>	80
4.2	Aspectos Quantitativos	86
4.2.1	<i>Aferição 1: Iluminação Natural</i>	88
4.2.2	<i>Aferição 2: Iluminação Elétrica</i>	89
4.2.3	<i>Aferição 3: Iluminação Natural e IASP</i>	90
4.3	Classificação Energética do modelo real.....	91
4.3.1	<i>Sistema de Iluminação Real</i>	92
4.3.2	<i>Envoltória</i>	93
4.3.3	<i>Sistema de Condicionamento de Ar</i>	96
4.3.4	<i>Classificação da Eficiência Energética – modelo real</i>	98
4.3.5	<i>Análise da Energia on-site e das Emissões de CO₂ do modelo real</i>	99
4.4	Simulações dos modelos tridimensionais	100
4.4.1	<i>Sistema de Iluminação Natural Real</i>	100
4.4.2	<i>Sistema de Iluminação Natural Hipotético</i>	103
4.4.3	<i>Sistema de Iluminação Elétrica do modelo real</i>	106
4.4.4	<i>Sistema de Iluminação Elétrica modelo hipotético</i>	108
4.4.5	<i>Sistema de Iluminação IASP modelo real</i>	110
4.4.6	<i>Sistema de Iluminação IASP modelo hipotético</i>	110
4.5	Classificação Energética pela INI-C do modelo hipotético.....	112
4.5.1	<i>Sistema de Condicionamento de Ar modelo hipotético</i>	112
4.5.2	<i>Classificação da Eficiência Energética Geral do modelo hipotético do Bloco Infantil</i>	115
4.5.3	<i>Energia on-site e Emissões de Dióxido de Carbono do modelo hipotético</i>	115
4.5.4	<i>Diagnóstico para auxílio de projetistas</i>	118
5	CONCLUSÃO	120
5.1	Recomendações para Trabalhos Futuros.....	122
6	REFERÊNCIAS	122

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica consumida no mundo é proveniente, principalmente, da queima de combustíveis fósseis como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo. Em função de tal situação, 75% da matriz elétrica mundial é originária de fontes não renováveis de energia, que são as maiores responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE) (EPE, 2020a).

Neste cenário, o Brasil se destaca por já possuir uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis, ou seja, de baixo carbono. As emissões de GEE por unidade de energia consumida no Brasil são pequenas (0,6%) quando comparadas a outros países, como a China (27,2%) e os Estados Unidos (17,8%) (EPE, 2021). Todavia, essa condição não minimiza esforços para que haja uma redução ainda maior de tais emissões (EPE, 2016).

No que se refere à geração de energia elétrica no país, conforme divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a matriz elétrica nacional no ano de 2019 foi predominantemente baseada em uma fonte de energia renovável que não emite GEE, com grande participação do setor hídrico (EPE, 2020a). Tal setor foi responsável pela geração de 63,1% da energia elétrica gerada no país.

Assim, em 2015 o Brasil aderiu ao Acordo de Paris, firmado na 21ª Conferência das Partes (COP21) em Paris e em vigor desde 2016, cujo objetivo central é reduzir emissões de GEE e limitar o aumento da temperatura média global em 1,5°C (UNFCCC, 2016). Em suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis registrados em 2005 até o ano de 2025 e em 43% até 2030.

Porém, o sistema de geração de energia elétrica nacional necessita ser ampliado devido a previsão do aumento do consumo de energia elétrica nas próximas décadas, tanto pelo crescimento populacional quanto pelo surgimento de novos elementos consumidores, como o carro elétrico. Segundo a EPE (2020b), espera-se também que a partir de uma perspectiva de crescimento econômico sustentável a longo prazo, associada à redução do nível de pobreza, haja um aumento do consumo energético per capita (EPE, 2020b). Nesse sentido, a eficientização das cargas elétricas é necessária para se alcançar as metas propostas no Plano Nacional de Eficiência, que almeja economizar 10% no consumo desse bem até 2030 (EPE, 2020b).

A energia solar é uma fonte alternativa de energia elétrica, que possui como vantagem o baixo impacto ambiental gerado para a sua captação e também manter nossa matriz renovável. Ao contrário das usinas hidrelétricas, que necessitam de grandes áreas alagadas para constituir os reservatórios de água, a energia solar pode ser obtida através da instalação de placas solares e células fotovoltaicas em projetos residenciais e comerciais, por exemplo. Além disso, a geração solar é a fonte que mais cresce a cada ano no mundo, em função tanto da queda de preços como do uso desta tecnologia em projetos

bem-sucedidos em muitos países. Desta forma, torna-se imprescindível aliar a eficiência energética à energia *on-site* de energia elétrica para manter a matriz energética renovável e conscientizar e incentivar a população quanto aos benefícios do uso da luz do sol como fonte de energia elétrica.

Tal situação se torna mais evidente quando se analisa o consumo de eletricidade no Brasil pelo setor de edificações no ano de 2021, visto que os edifícios residenciais, comerciais e públicos foram responsáveis por 50% desse consumo. Esse índice é um indicativo de que este seria o segmento com maior potencial para a economia de energia (EPE, 2021). Assim, faz-se necessário conciliar a eficiência energética à energia *on-site* de energia elétrica.

Outro ponto a ser destacado diz respeito aos impactos potenciais sobre a demanda na ponta do sistema elétrico brasileiro (EPE, 2016). As medidas restritivas impostas à população durante a maior crise sanitária do país devido à COVID-19 levaram a um aumento no consumo de energia elétrica no início de 2021. Em janeiro de 2021 houve um aumento de 1,4% do consumo em relação ao mesmo período em 2020. Para o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2030, o impacto global da COVID-19 se traduz em uma nova dinâmica social e, neste contexto, a eficiência energética se fortalece como um recurso relevante para o planejamento energético de médio e longo prazos (BRASIL, 2021a).

Ao analisarem o consumo energético em edifícios municipais na cidade de Florianópolis/SC durante a pandemia, por meio de 289 contas de energia elétrica referentes aos anos de 2018, 2019 e 2020, Gerald *et al.* (2021) obtiveram resultados inesperados, uma vez que os edifícios não estavam funcionando devido às medidas restritivas impostas pela COVID-19. Os pesquisadores constataram que as escolas de ensino fundamental e médio tiveram uma redução de apenas cerca de 50% durante o fechamento, ao invés de apresentarem um consumo de quase energia quase nulo.

Tais resultados sugerem que uma parcela significativa do uso de energia não é necessariamente impulsionada pela presença de ocupantes. Diante disso, Gerald *et al.* (2021) indicam o monitoramento das edificações públicas, pois os resultados podem constituir possíveis padrões de desperdício. Nos edifícios escolares analisados, grande parte do consumo observado foi atribuído a geladeiras e tomadas em *stand-by*. Também foi identificado o acionamento da iluminação de segurança, principalmente nas áreas externas.

Além dos equipamentos acionados de maneira desnecessária, existe no Brasil outro tipo de desperdício de energia elétrica, que é a utilizada para resfriamento elétrica de ambientes com pouco isolamento térmico, ou seja, utiliza-se energia para o resfriamento elétrica sem o controle da eficiência da envoltória. O uso excessivo do condicionamento elétrica do ar também está relacionado à formação das ilhas de calor, que são caracterizadas pelo aumento da temperatura do ar, provocado pelo adensamento excessivo dos centros urbanos, em relação à temperatura do entorno não urbanizado da cidade (LAMBERTS *et al.*, 2016). O aquecimento global tem contribuído para a formação de ondas

de calor, com verões intensos e cada vez mais duradouros, em que condicionadores de ar se torna um item indispensável. Como resultado, esse equipamento consumidor é considerado uma das principais causas do crescimento da demanda de eletricidade em residências, comércios e prédios públicos (COSTA *et al.*, 2019).

Ainda neste contexto o aquecimento global provocará o aumento da temperatura em todo o país, segundo o novo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas Globais (IPCC). A previsão é de que a Região Centro-Oeste registre o maior aumento na temperatura, bem como uma elevação na frequência e na intensidade das ondas de calor. Em relação ao regime de chuvas, a região central do país e o leste da Amazônia se tornarão mais secas, com queda de 10% a 20% na precipitação (MASSON-DELMOTTE *et al.*, 2021).

Guarda, Durante e Callejas (2018) previram um aumento da temperatura para a cidade de Cuiabá/MT de 13,85% até o ano de 2050, e também uma redução da umidade relativa do ar de 14,4%. A média anual da umidade relativa do ar é hoje de 70,63% e para 2050 esse valor deverá reduzir para 60,41%.

Além da necessidade da avaliação da envoltória e do sistema de condicionadores de ar, estudos relacionados à viabilidade de *retrofits* do sistema de iluminação em edificações já comprovaram que o consumo de energia elétrica pode ser mitigado de forma substancial, como se observa por meio dos resultados relacionados ao tema. Diferentemente das substituições dos equipamentos de condicionadores de ar ou da intervenção na envoltória que possuem um custo maior, Fernandes (2015) verificou em *retrofit* de edifícios não residenciais que os sistemas de iluminação são uma opção comum por ser uma intervenção relativamente fácil de fazer, de baixo custo e de rápido retorno financeiro. O setor educacional merece uma atenção especial de tais intervenções, já que deverá haver redução no consumo de 2 kWh/m² até o ano 2030 (EPE, 2019).

O setor educacional, inserido na classe de consumo comercial e público, é responsável por 27% (EPE, 2021) do consumo total da energia elétrica nacional. No ano de 2019, antes da pandemia, o consumo de energia elétrica do setor foi de 92.075 GWh (EPE, 2021) e em 2020 houve uma redução de 9.553 GWh devido ao período restritivo imposto pela COVID-19.

Desta forma, para alcançar as metas de eficiência e contribuir para a transição energética desta classe de consumo, as normativas têm sido aprimoradas. Como resultado, em fevereiro de 2021 foi aprovada a Instrução Normativa Inmetro (INI) para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) (INMETRO, 2021a), que tem como objetivo aperfeiçoar o Requisito Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) até então em vigor. A INI-C especifica os critérios e os métodos para que edificações já existentes e que foram construídas em décadas anteriores possam passar por revisões

projetuais, que contemplem estratégias passivas de projeto. A normativa é também destinada para edificações construídas recentemente e que não contam com tais soluções.

Este é o caso do Bloco Infantil da Escola Presbiteriana de Cuiabá (EPC), construído em 2016, que, antes da pandemia, apresentava constantes queimas de equipamentos condicionadores de ar e queixas de desconforto térmico. Portanto, há um grande consumo de energia elétrica devido à utilização destes equipamentos. Frente a esta condição, justifica-se essa pesquisa visando mitigar o alto dispêndio energético do edifício.

Diante do exposto, nesta pesquisa foi realizado um *retrofit* energético dos sistemas de iluminação e sistema de ar condicionado do Bloco Infantil da EPC. Desse modo, buscou-se elevar os índices de eficiência geral da edificação atual para obter um desempenho energético da edificação por meio de parâmetros normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e pela INI-C. Além de tornar eficiente o sistema de iluminação, também foram realizadas simulações computacionais para atingir os níveis de iluminação normatizados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência energética do Bloco Infantil da Escola Presbiteriana de Cuiabá (EPC) pela aplicação do método simplificado da INI-C e propor, por meio de *retrofit*, diretrizes projetuais que visam o alcance de um ambiente escolar com classe “A” de eficiência.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar oportunidades para a melhoria do desempenho energético da edificação através de *retrofit*;
- b) Examinar alternativas técnicas de substituição e instalação de materiais e equipamentos que contribuem para um ambiente escolar com máxima eficiência energética;
- c) Verificar possíveis ganhos ambientais da edificação real e da edificação pós-*retrofit*.

1.2 Estrutura da dissertação

Esta Dissertação está dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 diz respeito à Introdução, Justificativa e Objetivos. O capítulo 2 traz a Revisão Bibliográfica da pesquisa, sobre o contexto histórico da eficiência energética, *retrofit* energético, atualização no programa brasileiro de etiquetagem de edificações comerciais e de energia renovável *on-site*. No capítulo 3, referente ao processo metodológico utilizado, serão apresentados dois modelos para a edificação, um com características reais da edificação (modelo real) para a verificação do desempenho energético e atendimento as normativas de e outro com melhorias de eficiência energética (modelo hipotético). No capítulo 4 são apresentados os Resultados obtidos e a Discussão dos dados coletados, das classificações energéticas e das simulações que contribuíram para que no capítulo 5 sejam apresentadas as Conclusões.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto Histórico da Eficiência Energética até a publicação INI-C

A eficiência energética pode ser entendida como a obtenção de um serviço com baixo dispêndio de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Um edifício é mais eficiente energeticamente que o outro quando proporciona as mesmas condições ambientais de conforto com menor consumo energético. Desta forma, evitar o desperdício de energia elétrica por meio de vedações e equipamentos eficientes, que mantenham o conforto dos usuários, torna-se uma medida prioritária para a eficiência energética das edificações. Conseqüentemente, evitar desperdício de energia significa a preservação dos recursos naturais, visto que existe uma grande demanda reprimida por energia (PESSOA; GHISI; LAMBERTS, 2013).

Essa demanda reprimida se deve à centralidade de uma única fonte de energia, iniciada em 1934, no governo de Getúlio Vargas, com a promulgação da Lei das Águas, que tornou as águas federais de propriedade pública e transferiu a permissão para a sua utilização na geração de energia elétrica. Durante a Ditadura Militar no país (1964-1985) houve uma expansão do setor energético, que pode ser observada com a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira no estado de São Paulo, em 1965. Segundo Nogueira e Bertussi (2019), a desestabilização mundial causada pelo protagonismo do petróleo como fonte geradora de energia fez com que o governo investisse na hidrelétrica. Assim, em 1973 a Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira começou a operar e hoje faz parte do sexto maior complexo

hidrelétrico do mundo. Em 1975 foi iniciada a construção da Usina Hidrelétrica de Tucuruí e da Usina Hidrelétrica de Itaipu (GALBIATTI, 2018), sendo esta última inaugurada em 1984. A Usina Hidrelétrica de Itaipu é atualmente a segunda maior geradora hídrica do mundo.

Com a industrialização e a urbanização, o setor elétrico passou a necessitar de um volume cada vez maior de recursos para os grandes projetos de usinas geradoras. Diante dessa situação, Srour (2005) discute o papel do Estado como grande investidor, porém, até a década de 1980, o investimento do governo em geração, transmissão e distribuição de energia perdeu seu dinamismo inicial devido à falta de crédito externo, inflação e alto endividamento do setor público.

No ano de 1985, foi criado pelo Governo Federal, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), para promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício (PROCEL INFO, 2021).

A partir de 1998 o PROCEL ampliou suas atividades para estimular a eficiência energética, expandindo o escopo de atividades, incorporando ações de educação nas escolas, a conscientização dos consumidores para utilizarem a energia de forma mais racional e redução de perdas no sistema elétrico, entre outras. A eficiência energética também foi estimulada por meio de parcerias com profissionais que elaboram projetos, construtoras e com fabricantes de equipamentos elétricos, a fim de tornarem prédios, instalações, máquinas e equipamentos mais eficientes (MENKES, 2004).

Neste mesmo ano, devido à falta de investimento por parte das empresas privadas de energia elétrica, foi iniciada uma fase de “declínio” do setor elétrico. Segundo Menkes (2004), após as privatizações ocorreu a suspensão da expansão da geração de energia elétrica, o que culminou na crise de energia elétrica no ano de 2001, conhecida como a “crise do apagão”. Para Leite (2020), essa crise, somada aos reflexos da Agenda 21 e aos dados alarmantes do consumo de energia monitorados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), justificou um novo foco no início da década de 2000: a eficiência energética de edificações.

De acordo com o PROCEL INFO (2014), ainda em 2001 o Brasil ganhou um importante instrumento para a indução da eficiência energética: a Lei nº 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética, que determina a existência de níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como de edificações construídas de forma compulsória.

Em 2003, a ELETROBRAS/PROCEL instituiu o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA), com o objetivo de incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações, reduzindo os desperdícios e os impactos no meio ambiente (PBE EDIFICA, 2021a).

No ano de 2009, o PBE Edifica lançou a primeira versão do seu regulamento, que foi atualizada em 2010. O regulamento designa os Requisitos Técnicos de Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), bem como para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) e seus documentos complementares, como os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RACs) e os Manuais para aplicação do RTQ-C e do RTQ-R (PBE EDIFICA, 2021b).

O RTQ-C surgiu como uma ferramenta para estimular o emprego de técnicas de projeto e estratégias bioclimáticas, para a criação de soluções arquitetônicas mais adequadas ao ambiente climático em que estão inseridas. Fossati e Lamberts (2010) ressaltam que o objetivo do RTQ-C não era de fixar parâmetros e sim estimular que os projetistas difundissem medidas combinadas para maior eficiência das edificações.

Conforme Bavaresco *et al.* (2017a), a implementação do regulamento RTQ-C marcou o processo de melhoria da eficiência energética das edificações brasileiras e a classificação poderia ser obtida por meio do método prescritivo ou do método de simulação computacional. Para este cálculo eram atribuídos os pesos de 30% para a envoltória, 30% para o sistema de iluminação e 40% para o sistema de condicionamento de ar. Desde a publicação do RTQ-C em 2009 até setembro de 2019, foram emitidas 99 etiquetas de edificações construídas e 135 etiquetas de projeto para a modalidade comercial, de serviço e pública (LOPER; KRÜGER; WONG, 2019).

Cabe ressaltar que nestes cálculos eram consideradas as 8 zonas bioclimáticas¹ e a energia *on-site* presente avaliada como bonificação, possibilitando alterar o nível de eficiência da classificação geral (LOPER; KRÜGER; WONG, 2019). Segundo o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) (BRASIL, 2010), as bonificações são iniciativas que aumentam a eficiência da edificação e que poderão receber até um ponto na classificação geral. Tais bonificações compreendem a energia *on-site* de energia, sistemas ou equipamentos que racionalizem água, energia solar para aquecimento de água, elevadores que atinjam nível “A” e inovações técnicas. Porém, essas iniciativas deverão ser justificadas e a economia gerada deve ser comprovada.

Fossati e Lamberts (2010), ao analisarem as variáveis construtivas de dez edifícios de escritórios de Florianópolis/SC, por meio do método prescritivo do RTQ-C, observaram que alguns parâmetros estavam sendo desconsiderados, como o fator solar dos vidros.

Segundo Bavaresco *et al.* (2017a) verificou-se que o método prescritivo do regulamento RTQ-C possuía diversas limitações e críticas. O Quadro 1 evidencia algumas destas limitações.

¹ A norma da ABNT, ainda em vigor, que institui as 8 zonas bioclimáticas é a NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho.

Quadro 1: Limitações do método prescritivo do RTQ-C.

Limitações do Método Prescritivo	
Carlo e Lamberts (2010)	O método prescritivo não abrangia todas as soluções possíveis de existir em um edifício e muitos casos só poderiam ser avaliados pela simulação. As limitações mais relevantes foram: a necessidade de simular a ventilação natural, os limites do uso de diferentes volumetrias da envoltória e da pequena precisão dos vidros de elevado desempenho em grandes aberturas envidraçadas.
Melo <i>et al.</i> (2011)	O método prescritivo indica nível de eficiência inferior ao calculado com o método de simulação. Difere largamente dos resultados obtidos pelo método de simulação, podendo indicar que o método estatístico empregado na construção do modelo simplificado foi incapaz de capturar adequadamente a relação entre os dados de entrada e o resultado pretendido.
Lopes, Cóstola e Labaki (2015)	A avaliação dos edifícios mostrou que o método prescritivo não é preciso na determinação de eficiência energética, pois nos casos com desempenho energético e características construtivas bem distintas o método apresentou níveis próximos na etiqueta final.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O regulamento vigente oferecia um metamodelo baseado em uma regressão linear múltipla para avaliação da envoltória de edificações, mas possuía diversas limitações e críticas como as apresentadas.

Segundo Pimentel e Barbosa (2020), inicialmente a aplicação do RTQ-C teve caráter voluntário, mas em 2014 tornou-se obrigatória a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nível “A” tanto para os projetos como para as edificações destinadas aos órgãos públicos federais, seja por meio de *retrofit* ou de construções novas.

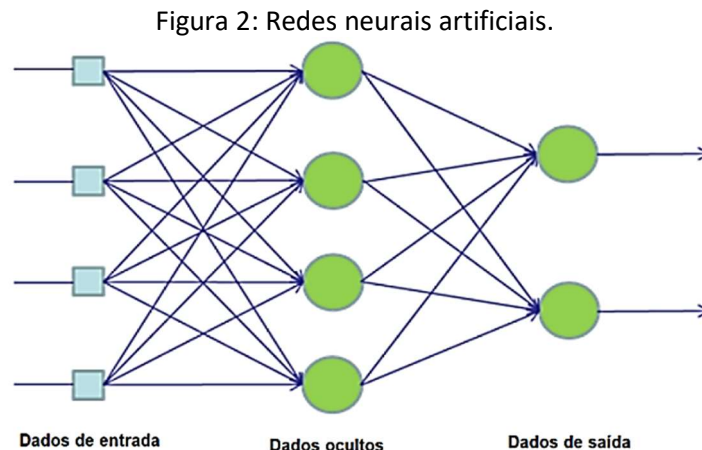
Com o objetivo de aperfeiçoar o RTQ-C e também o substituir, foi aprovada em 09 de março de 2021 a INI-C (INMETRO, 2021). Na Figura 1, é possível verificar as principais ações que antecederam a nova INI-C, incluindo a primeira versão do Manual de aplicação da INI-C lançado em junho de 2021 (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021). O INMETRO (2021c), por meio do seu artigo 4º, está interagindo com entidades que manifestaram interesse no assunto, para que possam indicar representantes em discussões posteriores com o objetivo de consolidar o texto final dos RACs.

Figura 1: Cronologia da eficiência energética no Brasil.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Para superar isso foi proposto um novo metamodelo, baseado em uma rede neural elétrica (Figura 2), treinada a partir de casos simulados, que originou um novo regulamento (BAVARESCO *et al.*, 2017a). Para Fonseca (2015), o metamodelo baseado em uma rede neural elétrica é passível de ser aplicado em todo o território nacional para auxiliar projetistas e contribuir para códigos e normas locais. Analogamente, o método simplificado resultou em erros inferiores a 5%, valor este considerado baixo quando comparado à simulação computacional.



Fonte: CB3E (2017).

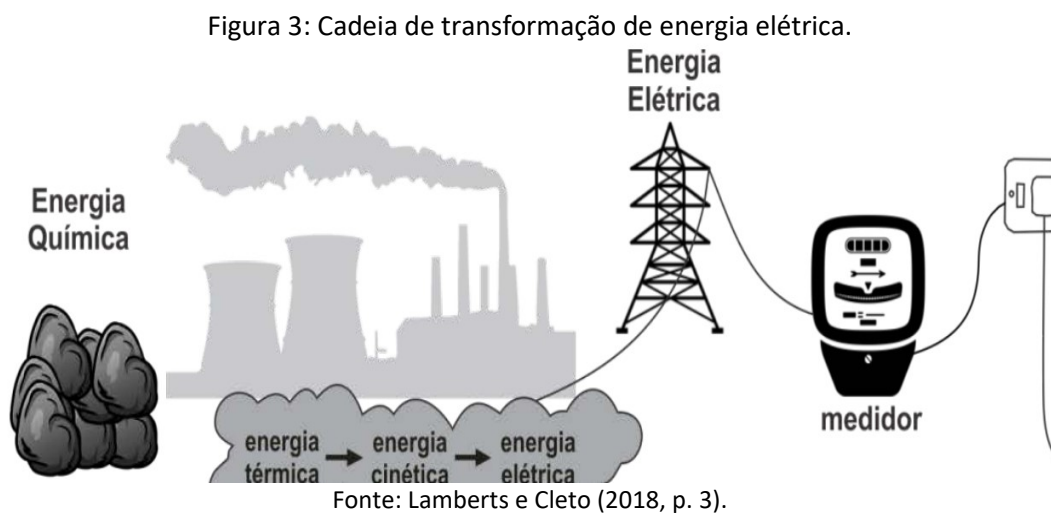
Segundo Leite (2020), a INI-C segue parâmetros similares ao RTQ-C para o desempenho térmico e mantém os mesmos tipos de etiquetas, mas se baseia na proposta de atualização do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Pesquisas, como a proposta por Roriz (2014a), mostram que a divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas é questionável, sendo possível observar que mesmo em duas cidades pertencendo à mesma zona bioclimática, as edificações desempenham comportamentos térmicos distintos, uma vez que as realidades climáticas são diferentes. Tal fato levou ao desenvolvimento da proposta de um novo zoneamento (RORIZ, 2014b), que divide o Brasil em 24 grupos, sendo o Grupo 1 designado para representar a zona climática mais fria e o Grupo 24, a mais quente.

Além da divisão em 24 grupos de zonas climáticas, o metamodelo baseado em uma rede neural elétrica da nova INI-C se dispõe a trazer novas informações complementares, como a quantificação das emissões de dióxido de carbono. Portanto, para mensurar essas emissões de CO₂ em relação ao consumo de eletricidade, como as edificações operam conectadas ao SIN (Sistema Interligado Nacional), o fator de emissão a ser utilizado na etiquetagem é aquele que corresponde à média da operação SIN atualizada a cada 5 anos (RUPP; LAMBERTS, 2017).

A INI-C contempla também projetos novos e ainda a ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) de Edificação Construída para edificações existentes. Para esses fins, considera a envoltória

(vedações, aberturas, cobertura) o principal aspecto de avaliação, pois ela deve ser projetada de forma a otimizar a carga térmica no interior da edificação. À vista disso, para a efficientização das edificações, a envoltória é medida prioritária e obrigatória pela normativa INI-C. Essa prioridade ocorre pois, ao se estabelecer e implantar critérios mínimos para a envoltória durante a concepção do projeto, evitam-se altos custos para remodelagem dela.

Outra mudança, de acordo com o INMETRO (LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME, 2021), é que a classificação energética realizada pela INI-C é baseada no consumo de energia primária, como o carvão por exemplo (Figura 3) que é usado como matéria prima para as termoelétricas, ou seja, é considerada a eficiência de toda a cadeia de transformação, desde a fonte de energia primária até a energia final (LAMBERTS; CLETO, 2018).



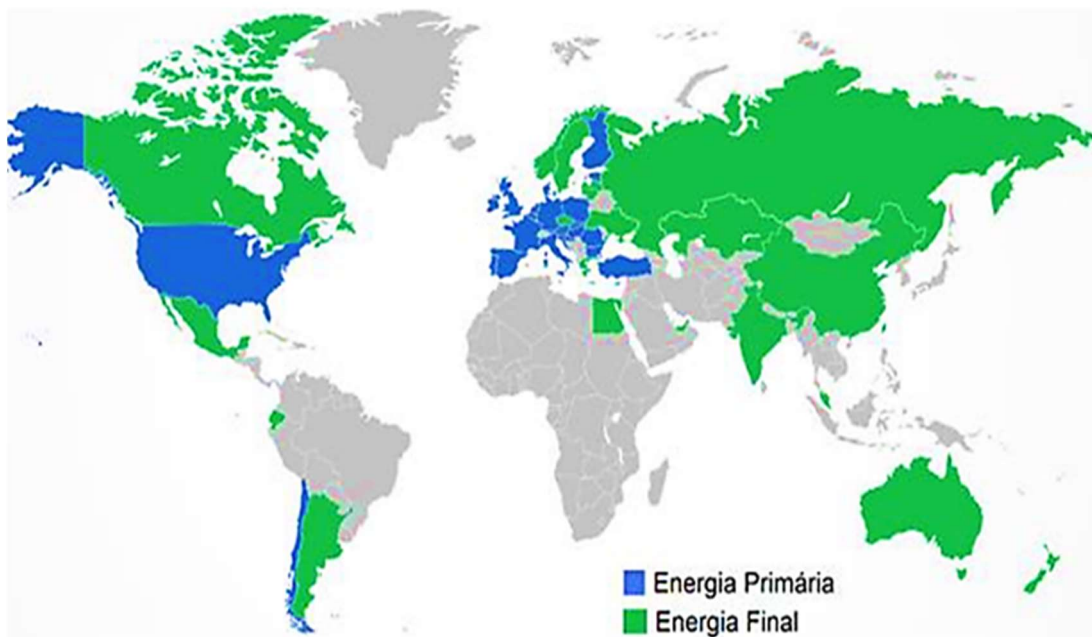
Desta forma, a classificação da INI-C aprimora o RTQ-C porque é realizada com base no consumo de energia primária, comparando o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência², equivalente à classificação D (INMETRO, 2021c). Além disso, a energia *on-site* de energia limpa e renovável passa a ser integrante do cálculo da classificação geral da edificação e as emissões de CO₂ passam a ser descritas na etiqueta, em caráter informativo, sem alterar a classificação de eficiência energética da edificação (LOPER; KRÜGER; WONG, 2019).

Ao trazer esta nova proposta, a INI-C faz com que o país se equipare a países cujas normas são mais antigas e que já adotam a energia primária nos cálculos. Como pode ser observado na Figura 4,

² Condição de referência é o termo usado para designar as características construtivas típicas de determinada tipologia arquitetônica em função de diferentes usos. A condição de referência possui a mesma forma, orientação solar e pé-direito da edificação avaliada; todavia, as demais características construtivas são determinadas em função do uso, de modo que esta seja equivalente à classificação D de eficiência energética (LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME, 2021).

os países em azul utilizam a energia primária para as etiquetas de certificação: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chile, Chipre, Croácia, Dinamarca, Escócia, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, EUA, Estônia, Finlândia, França, Holanda, Hungria, Inglaterra, Irlanda, Irlanda do Norte, Itália, Japão, Luxemburgo, Malta, País de Gales, Polônia, Portugal, Singapura e Turquia (BAVARESCO; GHISI, 2016).

Figura 4: Países que usam a energia primária e a energia final nas normas de etiquetagem.



Fonte: Bavaresco e Ghisi (2016, p. 116).

Ainda no contexto internacional, as normas ISO 16343 *Energy performance of buildings. Methods for energy performance and for energy certification of buildings* de 2013 e a ISO 16346 *Energy performance of buildings. Assessment of overall energy performance* de 2011 padronizam a certificação de edifícios, deixando alguns tópicos em aberto e passíveis de mudanças, conforme a realidade de cada nação (BAVARESCO; GHISI, 2016).

Após a análise de 53 regulamentos de certificação energética, Bavaresco e Ghisi (2016) concluíram que cada país precisaria desenvolver seu próprio sistema de etiquetagem e criar melhorias a partir das falhas encontradas ao longo de sua execução. Para os pesquisadores, as certificações energéticas devem ser de melhoria contínua, ou seja, a reformulação da etiquetagem de eficiência energética das edificações brasileiras deve continuar buscando melhorias com base em experiências locais. Como síntese das mudanças da INI-C, foi reproduzido o quadro de Wong *et al.* (2020) (Quadro 2), que distingue a diferença em escopo e cálculo entre os regulamentos de classificação RTQ-C e INI-C.

Quadro 2: Diferença em escopo e cálculo entre os regulamentos RTQ-C e INI-C.

Descrições	RTQ-C	INI-C
Status	Implementado	Em vigor
Métodos de avaliação	Prescritivo e simulação	Simplificado e simulação
Escopo de avaliação	Envolvente de construção (30%)	Envelope de construção
	Sistema HVAC (30%)	Sistema HVAC
	Sistema de iluminação (40%)	Sistema de iluminação
		Equipamento elétrico
		Sistema de aquecimento de água
Como são medidos	Ponderação definida	Consumo de energia
Pré-requisitos	Sim	Não
Certificação parcial	Sim	Sim
Zonas bioclimáticas	8	24
Condições de referência para várias construções	Não especificado	8
Sistema de classificação	AE	AE
Indicador	Ponto (PT)	Consumo (kWh/ano)
Consideração de construção adjacente	Ângulo de acesso solar	Condição adjacente da fachada do edifício
Parâmetros	Fator de forma	Fator de forma
	Abertura da fachada	Carga térmica para resfriamento
	Ângulo de sombreamento	Volume de construção
	Coefficiente de ganho de calor solar	Densidade de carga interna, DCI (W/m ²)
	Indicador de consumo	Densidade de potência de iluminação, DPI (W/m ²)
	Densidade de potência de iluminação	Densidade de potência do equipamento, DPE (W/m ²)
	Índice de ambiente	Consumo de energia primária (kWh/ano)
	Nível de eficiência do sistema de iluminação	
Classificação	Definir para todos os edifícios	Calculado usando coeficiente de redução; varia para diferentes tipos de edifícios
Edifício de referência	Não	Sim
Consideração de energias renováveis	Sim (apenas bônus)	Sim

Fonte: Wong *et al.* (2020, p. 39-40).

Em complementação, Rodrigues e Souza (2020) demonstraram, ao estudar uma edificação educacional em Belo Horizonte/MG, que a nova INI-C teve um melhor desempenho quanto às tomadas de decisões quando comparada com o RTQ-C. Foi possível verificar que o maior consumo ficou a cargo do sistema de condicionamento de ar, que representou 44% do consumo total previsto, seguido pelo sistema de iluminação com 30% e de equipamentos com 26%. Outras mudanças observadas pelas pesquisadoras foram reunidas no Quadro 3 a seguir:

Quadro 3: Mudanças da INI-C conforme Rodrigues e Souza (2020).

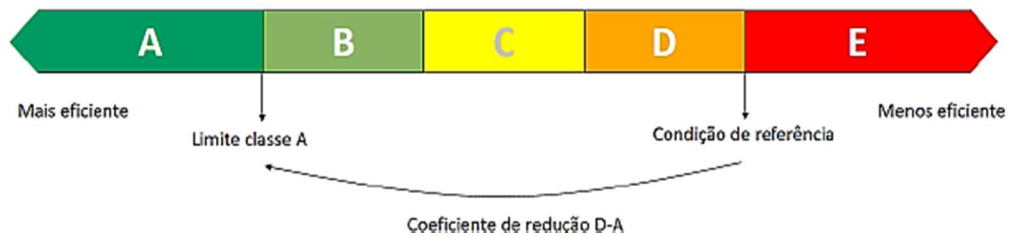
Item	Descrição	Observação
Sistema de envoltória	Ao dividir a edificação em zonas térmicas e considerar seus parâmetros no metamodelo disponibilizado, deixa-se de adotar valores ponderados para o edifício como um todo e tem-se uma análise com mais representatividade do modelo.	O procedimento elevou o tempo de análise quando comparado ao RTQ-C.
Novas tipologias de edificações	Como escritórios, educacionais, hospedagem, hospitalar, comercial. Com isso a INI-C permitiu maior representatividade com tabelas de informações típicas do uso para cada tipo de edificação.	O entorno passou a ser considerado através do ângulo de obstrução vizinho.
Clima	Tornou-se mais condizente com a localização do edifício, uma vez que o metamodelo adota dados climáticos para avaliação com a divisão do país em 24 grupos climáticos e não mais 08 zonas bioclimáticas.	Mesmo a norma
Tempo para realização das avaliações	Apresentou um acréscimo de 41% na avaliação do método presente na INI-C em relação ao método de avaliação do RTQ-C.	Devido ao método e aplicação no sistema de envoltória, que passa a englobar mais dados de entrada para maior representatividade do modelo.
Avaliação da INI-C a partir dos consumos individuais dos sistemas	Identifica qual sistema demanda mais energia e usa essa informação para melhores tomadas de decisões.	Devido a avaliação individual de cada sistema.
A interface disponibilizada da Web Redes através de redes neurais artificiais	Ainda não apresenta opção de salvamento dos dados inseridos nem dos resultados.	Para analisar uma situação distinta com a modificação das variáveis, é necessário inserir todos os dados novamente.

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A primeira versão do Manual de aplicação da INI-C INMETRO (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021) fornece a classificação de eficiência energética de edificações, que possui cinco classes de eficiência (Figura 5). Essa classificação considera o consumo

de energia dos quatro sistemas que podem ser avaliados: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água. A classe A é a mais elevada e, portanto, não possui limite superior. Já a classe D, é considerada referência pela INI-C, na qual os resultados das edificações reais são comparados e, então, classificados (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

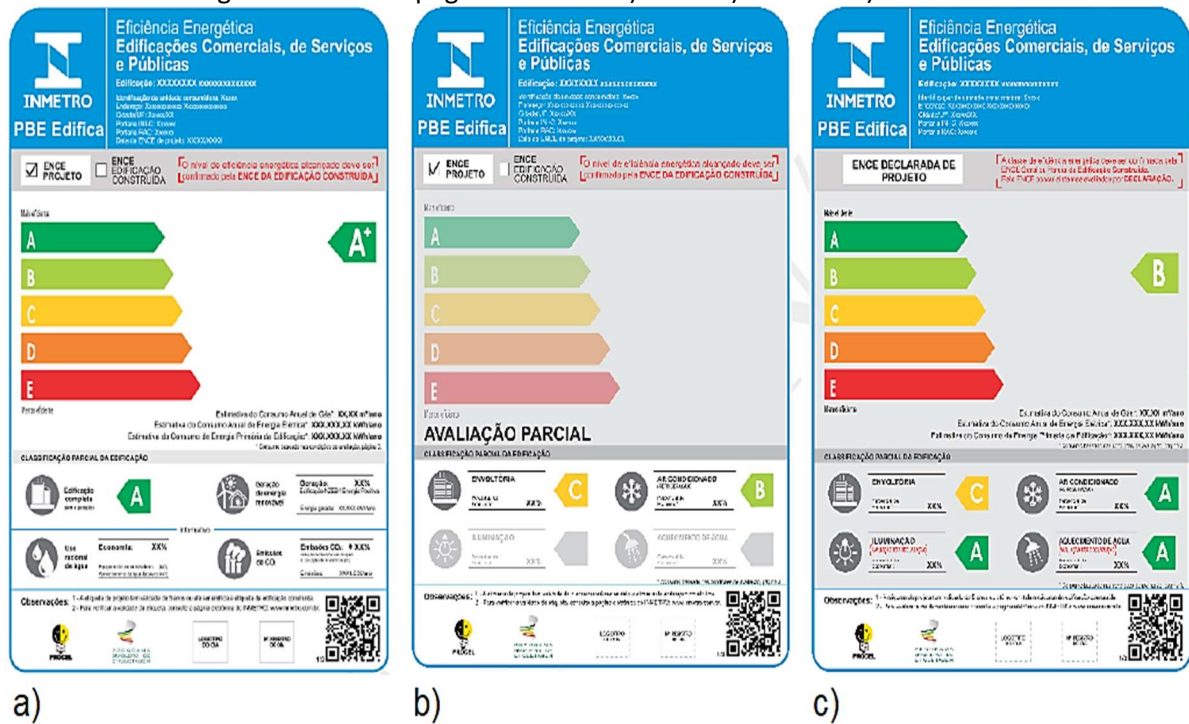
Figura 5: Escala para a distribuição de eficiência energética.



Fonte: LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME (2021, p. 08).

No mesmo manual pode-se verificar que a ENCE possui três configurações: a ENCE Geral (para o projeto e edificação construída), a ENCE Parcial (para projeto e edificação construída) e a ENCE Declarada (somente para projeto) (Figura 6) (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021). Portanto, por meio da avaliação da nova INI-C é possível avaliar, classificar e obter uma ENCE para cada sistema separadamente, incluindo o projeto, o que não era possível com o RTQ-C.

Figura 6: Primeira página da ENCE: a) Geral b) Parcial e c) Declarada.



Fonte: LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME (2021, p. 36).

Cabe destacar que o ano de 2021 foi marcado pela maior crise hídrica desde 1931. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio da Resolução ANA nº. 77, de 1º de junho de 2021, declarou situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos na Região Hidrográfica do Paraná. Esta região é a que responde por mais de 50% da capacidade de armazenamento de água para geração hidrelétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e abrange os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná (BRASIL, 2021b).

Como resultado, após a aprovação dos RACs, a INI-C irá contribuir para que haja a descentralização da matriz hídrica a fim de evitar grandes oscilações no preço da energia elétrica por causa das baixas nos reservatórios. Isto se torna possível porque a nova INI-C se propõe a avaliar a energia *on-site* de energia limpa e renovável como mais um item integrante da classificação geral da edificação.

2.1.1 Avaliação do sistema de iluminação e da envoltória

A avaliação do sistema de iluminação pela INI-C se aplica às edificações comerciais, públicas e de serviços em áreas internas da edificação iluminadas eletricamente e em áreas cobertas externas da edificação iluminadas eletricamente, tal como marquises (RUPP; LAMBERTS, 2017).

O sistema de iluminação pode ser avaliado pelo método simplificado e de simulação. A determinação da potência de iluminação limite pelo método simplificado deve ser realizada por meio de um dos seguintes métodos: a) método do edifício completo ou b) método das atividades do edifício (INMETRO, 2021a).

O método do edifício completo é de aplicação mais rápida e considera as edificações que abrigam somente uma atividade principal (escola por exemplo). Já o método das atividades do edifício, é indicado para os edifícios de múltiplos proprietários, que solicitam a etiqueta parcial do sistema (INMETRO, 2021a). Segundo o INMETRO (2021a), a classificação parcial da edificação é possível, desde que seja sempre levada em consideração a obrigatoriedade da envoltória completa (INMETRO, 2021a).

Todos os sistemas podem ser avaliados pelo método simplificado ou de simulação, com exceção do sistema de aquecimento de água, que deve ser avaliado apenas pelo método simplificado. No que diz respeito à iluminação natural, o método de simulação de iluminação natural aplica-se a todas as edificações nas quais se deseja computar o aproveitamento da iluminação natural com maior precisão (INMETRO, 2021a). Já no método simplificado, a edificação é avaliada sob duas condições: a condição real, com as características reais da edificação; e a condição de referência, com as características listadas nas tabelas do anexo A da INI-C (INMETRO, 2021a). De acordo com a norma, devido à necessidade de implementar a avaliação do consumo por meio da energia primária, a classe

D é considerada referência pela INI-C, na qual os resultados das edificações reais são comparados e, então, classificados (INMETRO, 2021a).

Já a classificação da envoltória, dá-se por meio da comparação dos valores preditos de carga térmica total anual para refrigeração da edificação nas condições real e de referência, equivalente à classificação D. A utilização do método simplificado para a avaliação da envoltória para as edificações condicionadas eletricamente é restrita às edificações que tenham os seus parâmetros construtivos compreendidos entre os intervalos utilizados na proposição do método (tais dados serão mostrados no capítulo em que serão apresentados os resultados e a discussão).

As revisões dos métodos de avaliação da eficiência energética de edificações para etiquetagem no âmbito do PBE Edifica são medidas para a implementação da etiquetagem compulsória. Segundo a EPE (2020b, p. 25), a etiquetagem compulsória tem como objetivo: “Tornar obrigatória a etiquetagem de novas construções e reformas de edificações comerciais, residenciais e públicas, visando à obrigatoriedade de toda nova edificação e reforma, em obter o nível ‘A’ do PBE Edifica após 2035” (EPE, 2020b, p. 25).

Para que as etiquetagens compulsórias sejam implementadas até 2035 serão realizadas etapas de transição da obrigatoriedade da etiquetagem para cada tipologia de edifícios (EPE, 2020b, p. 25). Na etapa 01, para o ano de 2025, será obrigatório para os edifícios comerciais novos ou reformados, com área construída maior que 2.000m² o nível mínimo de eficiência energética da classe “C”. Na etapa 02, em 2030, todos estes edifícios deverão ser no mínimo “B”. Finalmente na etapa 03, em 2035, todos os edifícios novos ou reformados deverão ter eficiência energética “A” (EPE, 2020b, p. 27).

Portanto, para que esta transição seja possível, as normativas estão se aprimorando. Pesquisas comparando o RTQ-C com a INI-C demonstraram que não houve alterações significativas para os dois métodos em relação aos sistemas de iluminação, porém, a metodologia simplificada da INI-C é mais completa que a prescritiva do RTQ-C. Ao analisar 72 agências bancárias em Curitiba, Loper, Krüger e Wong (2019) verificaram a alta correlação entre os níveis de eficiência do sistema de iluminação elétrica, calculados pelo RTQ-C e pelo INI-C.

Já Pimentel e Barbosa (2020), ao compararem os regulamentos do RTQ-C e da INI-C, concluíram que a metodologia simplificada da INI-C é mais completa que a prescritiva do RTQ-C para a avaliação de todos os sistemas da edificação (envoltória, iluminação e sistema de condicionadores de ar). Contudo, os resultados também demonstraram que os pré-requisitos para etiquetagem nível “A” do sistema de iluminação na INI-C são os mesmos do RTQ-C: divisão dos comandos de iluminação para cada ambiente, aproveitamento da luz natural e desligamento automático.

Ao analisarem cidades em grupos climáticos diferentes, Cella *et al.* (2020) concluíram que os percentuais de redução do consumo de energia primária, em relação à condição de referência, foram

de 52% em Cuiabá/MT, de 63% em São Paulo/SP e de 62% em Urubici/SC. Ou seja, os maiores valores de redução ocorrem em cidades com climas amenos.

Tambosi e Hackenberg (2020) obtiveram a classificação de nível A ao analisarem e classificarem a envoltória de uma edificação de serviços públicos localizada na cidade de Joinville-SC pela INI-C. Os pesquisadores identificaram as áreas nas quais existe maior necessidade de refrigeração elétrica, porém, sofrem compensações e se regularizam ao entrar em contato com as demais áreas, resultando em uma edificação confortável para seus usuários.

Ao compararem a classificação da envoltória na cidade de Joinville-SC pelo RTQ-C e pela INI-C, Leite e Hackenberg (2020) relataram que a INI-C se mostrou uma ferramenta útil não apenas para classificar a eficiência da envoltória, mas também para auxiliar no desenvolvimento de projetos que visem ao dimensionamento de aberturas e elementos de sombreamento, bem como na adoção de materiais que sejam apropriados ao clima local e na concepção de edificações mais eficientes. As pesquisadoras concluíram que a INI-C demonstrou ser um instrumento de melhoria para a aplicação da certificação com mais parâmetros de entrada para avaliação. Porém, apontaram deficiências por não aplicarem o critério de desempenho da cobertura de ambos os métodos.

2.2 *Retrofit* Energético

Para atingir os novos padrões de eficiência energética exigidos por normas e certificações, Pimenta (2020, p. 19) notou um crescente interesse por estudos de *retrofit* com foco em economia potencial de energia, especialmente para edifícios comerciais, tendo em vista o apoio a políticas energéticas.

De acordo com a NBR 15575-1 Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos gerais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2021, p. 14), o *retrofit* é a “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional e energética”.

Desta forma, *retrofits* de eficiência energética consistem na substituição de lâmpadas e equipamentos elétricos por outros mais eficientes, de menor consumo de energia elétrica (BRASIL, 2014), isto é, a necessidade de *retrofit* surge especialmente quando uma instalação chega ao fim de sua vida útil, apresentando altos custos de operação e manutenção. Em geral, quanto mais antiga a edificação, mais caro e crítico o *retrofit*. O Selo PROCEL tem como finalidade ser uma ferramenta simples e eficaz, que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia (PROCEL INFO, 2021).

A NBR ISO/CIE 8995-1 Iluminação em ambientes de trabalho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) considera que a prática de fornecer uma boa iluminação no ambiente de trabalho é mais do que apenas proporcionar uma boa visualização da tarefa. É essencial que as tarefas sejam realizadas facilmente e com conforto. A norma também menciona que uma iluminação deve assegurar:

- Conforto visual, dando aos trabalhadores uma sensação de bem-estar;
- Desempenho visual, ficando os trabalhadores capacitados a realizar suas tarefas visuais, rápida e precisamente, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos;
- Segurança visual, ao olhar ao redor e detectar perigos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 2).

Para garantir o conforto visual, a norma destaca os benefícios da utilização da luz natural nos projetos de arquitetura, visto que as aberturas também fornecem o contato visual com o mundo exterior, o qual é preferido pela maioria das pessoas. Para que isso ocorra sem a presença de contraste excessivo, a norma recomenda o acionamento automático ou manual e/ou um sistema de dimerização para garantir uma integração apropriada entre a luz elétrica e a luz natural (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Todavia, a NBR ISO/CIE 8995-1 adverte que é importante não comprometer os aspectos visuais simplesmente para reduzir o consumo de energia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Uma boa iluminação propicia a visualização do ambiente, permitindo que as pessoas vejam, movam-se com segurança e desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, precisa e segura, sem causar fadiga visual e desconforto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013). Esta norma considera também que, além de fornecer uma boa visualização da tarefa, uma iluminação deve assegurar: sensação de bem-estar; desempenho visual, mesmo sob circunstâncias difíceis e durante longos períodos; segurança visual, ao olhar ao redor e detectar perigos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

A iluminância dos ambientes escolares deve obedecer à NBR ISO/CIE 8995-1 e à Norma de Higiene Ocupacional (NHO 11) de 2018, porém, além de cumprir as normativas que são os princípios da legalidade, como apontam Martau e Scarazzato (2009), o ambiente visual necessita estimular melhor as condições de saúde e bem-estar às pessoas e é inegável que os ritmos biológicos são essencialmente controlados pelas qualidades dinâmicas e pelo ritmo da iluminação, e que qualquer desvio deste ritmo pode influenciar consideravelmente a saúde e bem-estar dos seres humanos.

Bortolan, Ferreira e Tezza (2019) mencionam que o uso eficiente da luz na arquitetura está condicionado ao estudo da qualidade da iluminação, à saúde e bem-estar daqueles que utilizam e

usufruem do espaço. Apontam também que o conforto visual depende das características físicas do ambiente, da qualidade da iluminação e seu efeito no desempenho da atividade. Kowaltowski (2011) faz referência a parâmetros de projetos escolares nos quais a iluminação natural, desde que adequadamente projetada (seja por janelas, claraboias, prateleiras ou túneis de luz), tem um papel fundamental na qualidade do aprendizado de alunos. A autora destaca ainda os seguintes aspectos: a luz natural apoia a eficiência energética de uma edificação; dispositivos de sombreamento são essenciais, projetados para cada situação: latitude, clima, orientação das aberturas, vegetação ou prédios próximos; placas fotovoltaicas devem ser incorporadas para aproveitar a energia solar no ambiente escolar.

A iluminação natural e elétrica precisa ser usada de modo combinado, para oferecer um ambiente condizente com o tipo de atividade de aprendizado (KOWALTOWSKI, 2011). Boyce (2003), ao comparar um ambiente com vista externa com outro sem, conclui que a vista externa é muito desejada e pode reduzir o estresse, tornando o indivíduo mais satisfeito. Isso se comparado a outros que não possuem acesso à iluminação natural. Em termos de economia de energia, o *retrofit* de edifícios não residenciais é uma opção viável, pois intervenções nos sistemas de iluminação são relativamente fáceis de fazer, de baixo custo e de rápido retorno financeiro. Tal fato está relacionado à difusão dos Diodos Emissores de Luz (LEDs) no século XXI, o que consistiu, segundo França, Fonseca e Pereira (2020), um importante avanço para a eficiência energética das edificações.

Pesquisas sobre LEDs têm mostrado sua maior eficiência e este ganho depende da área do estabelecimento, do tipo de lâmpadas já instaladas, como as fluorescentes, halógenas e incandescentes, bem como sua eficiência e outros. Quando comparadas às lâmpadas fluorescentes, apresentam redução de mais de 50% no consumo de energia elétrica em iluminação (BECK; PEREIRA; LAMBERTS, 2016). Krasnhak (2019) aponta uma redução de 47% no consumo energético do sistema de iluminação de uma universidade na cidade de Curitiba-PR, por meio da substituição de lâmpadas tubulares fluorescentes de 69 W por lâmpadas tubulares equivalentes que adotam a tecnologia LED, de 36 W. Rudnicki e Schmidt (2020) realizaram a substituição das lâmpadas instaladas (fluorescentes, halógenas palito e incandescentes) por lâmpadas de tecnologia LED em um prédio público em Cascavel-PR e obtiveram uma economia mensal de 434,26 kWh, o que correspondeu a 58% do consumo de iluminação. Além disso, o aumento da vida útil das lâmpadas foi de 32%.

Como já exposto, é comum encontrar pesquisas sobre *retrofit* de iluminação, nas quais lâmpadas comuns ou fluorescentes têm sido substituídas por LEDs, por isso foram selecionados alguns trabalhos (Quadro 4) a partir do ano de 2016, que obtiveram uma redução no consumo de no mínimo 35,5%.

Quadro 4: *Retrofit* de sistemas de iluminação.

Título da pesquisa	Redução	Autores
Desempenho luminoso e energético de LEDs para reformas de sistemas de iluminação de ambientes de escritório	36%	Beck, Pereira e Lamberts (2016)
Proposta de <i>retrofit</i> para o sistema de iluminação de uma edificação pública federal	45%	Sfeir <i>et al.</i> (2016).
Proposta de <i>retrofit</i> no sistema de iluminação e estudo de geração fotovoltaica em um dos blocos da UTFPR em Curitiba	39,50%	Krasnhak e Urbanetz Junior (2018).
Análise dos impactos da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LEDs em navios militares	56,40%	Fortes <i>et al.</i> (2018).
Análise da viabilidade econômica da implantação de tecnologia LED na iluminação interna de uma escola pública	35,50%	Marques (2020).
Análise de viabilidade econômica da substituição de lâmpadas comuns por econômicas e tecnologia LED em residências	67,80%	Souza, Rocca e Ferreira (2017).
Análise de viabilidade de substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED em um supermercado	52,50%	Santos, Felice e Santos (2020).
Proposta de melhoria no desempenho energético: estudo de caso em uma instituição de ensino básico e superior em Itajubá	57,30%	Almeida (2019)

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Quando há integração entre a luz natural e a elétrica, estudos, como o de Rupp e Ghisi (2013), sugerem que, para ambientes operando com sistema de condicionadores de ar e utilizando tal integração, o valor da redução no consumo total de energia elétrica seria de 50,5% em relação a edifícios com iluminação elétrica e condicionamento elétrica.

Desta forma, Krüger e Mori (2012) já apontavam que classificar o desempenho energético das edificações é um aspecto de extrema importância para o edifício em operação. Para os pesquisadores, essa classificação ajuda a identificar os edifícios que consomem muita energia, fornecendo, então, oportunidades para que medidas de conservação energética possam ser tomadas.

Ao classificar uma edificação escolar no interior da Bahia para posteriormente realizar um *retrofit*, Machado *et al.* (2016) propuseram soluções simples como pintar a parede com uma cor mais clara, trocar as telhas, permitir o acionamento independente das luminárias próximas às janelas de

todos os ambientes e isolar as tubulações dos ares condicionados, para que houvesse redução do consumo de energia elétrica. Já Chepp e Gasparin (2019) realizaram simulações em uma edificação em Porto Alegre/RS com a adição de isolante térmico no forro da cobertura e como implicação obtiveram uma redução de 60,7% no consumo anual de climatização e o *payback* (tempo de retorno do investimento) foi de 7 anos.

Conforme Borges (2020), os fatores que mais impactam o consumo de energia elétrica de uma edificação são a localização e o clima em que a edificação está inserida; os materiais construtivos utilizados; o tipo do edifício, se residencial ou comercial, público ou privado; os hábitos de uso da energia pelos ocupantes; e a eficiência dos equipamentos.

A cidade de Cuiabá/MT merece um destaque especial no consumo de energia elétrica, devido à sua localização e clima, além do aumento nas horas de desconforto em função do aquecimento global. Segundo Guarda, Durante e Callejas (2018), as previsões indicam elevação do consumo energético para manutenção da habitabilidade, sendo, portanto, necessário elevar a resiliência das edificações para abrandar os impactos das mudanças climáticas.

Para Cella *et al.* (2020), devido às mudanças climáticas, as cidades inseridas em região de clima tropical com temperaturas elevadas durante quase todo o ano, com exceção de Belém, apresentarão elevação do consumo energético e, portanto, torna-se necessário, tanto em projetos como também nos *retrofits*, a utilização de energias renováveis, uso de equipamentos eficientes e a melhoria das envoltórias das edificações para proporcionar condições apropriadas de habitabilidade.

2.3 Energia *on-site* renovável

Para Moreira (2017), as dificuldades de se trazer energia de longas distâncias para os grandes centros de consumo no Brasil e a de se ter usinas com grandes reservatórios devido a pressões ambientais e sociais, levou o país a diversificar sua matriz de energia elétrica. Segundo o pesquisador, o Brasil passa por uma mudança de paradigma no setor elétrico, pois ocorre a mudança de um sistema centralizado, com grandes blocos de energia distantes dos centros de consumo, para um modelo descentralizado e mais próximo da carga, o que caracteriza a geração distribuída ou edificação de energia quase zero (NZEB).³

Atualmente existem várias definições para edificações que adotam o conceito de energia zero. Para este trabalho foi adotado o conceito proposto por Torcellini, Pless e Deru (2006), para quem uma

³ Uma NZEB deve ter 50%, ou mais, de sua demanda energética anual abastecida por energia renovável gerada localmente (INMETRO, 2021a).

edificação de energia zero (EEZ) compreende um edifício residencial ou comercial com necessidades de consumo de energia consideravelmente reduzidas por meio de ganhos de eficiência energética, de tal forma que o consumo anual de energia possa ser coberto com a geração de energia renovável. Apesar da adoção deste conceito, foi utilizado o termo NZEB ao invés de EEZ, visto que a INI-C permite que somente parte da demanda seja atendida pela energia local. Além disso, a utilização do termo NZEB deve-se ao fato de que não será prevista a geração para toda a EPC, mas somente para o Bloco Infantil.

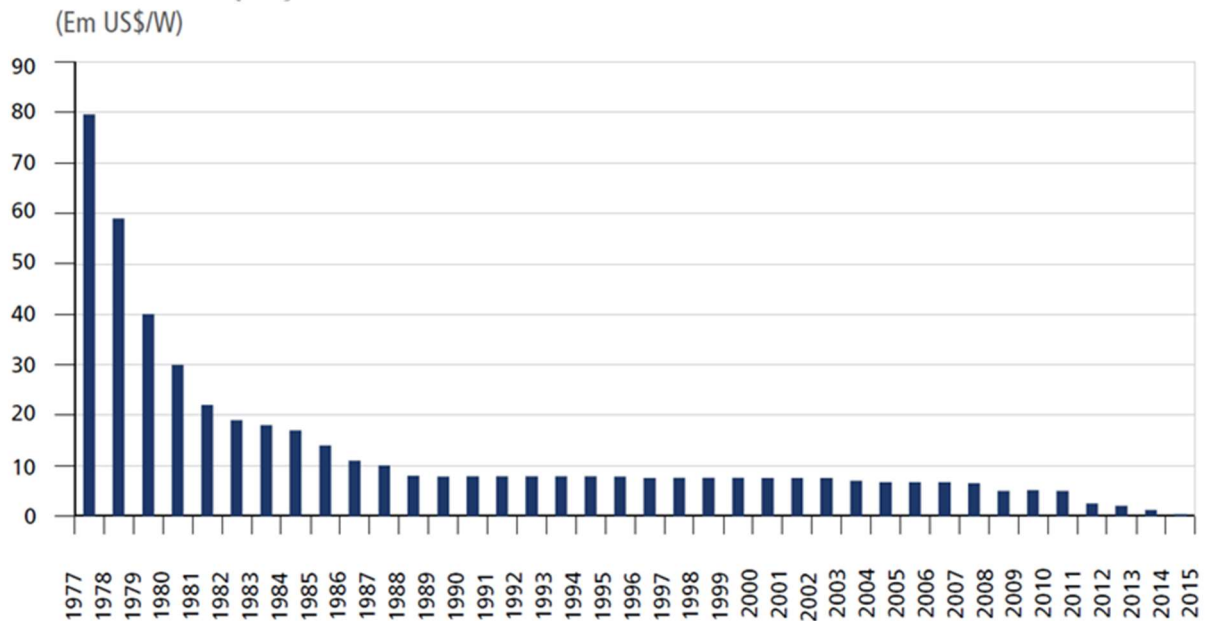
A energia *on-site*, além de possuir a vantagem de não necessitar dos grandes reservatórios das usinas hidrelétricas, também dispensa os sistemas de transmissão e distribuição, que seriam necessários para o transporte de energia elétrica para os consumidores. Esta geração pode ser realizada através da energia solar que não emite GEE, mas o fator térmico torna-se um redutor da eficiência das placas, conforme o processo de conversão:

A conversão da energia solar diretamente em eletricidade ocorre devido ao chamado 'efeito fotovoltaico' e é realizada pelos dispositivos fotovoltaicos (FV). Essa conversão ocorre de modo silencioso, sem emissão de gases, sendo desnecessária a assistência de operador para o sistema. É importante ressaltar que somente a componente luminosa da energia solar (fótons) é útil para a conversão fotovoltaica. (LAMBERTS *et al.*, 2010, p. 49).

Desta forma, os edifícios comerciais que apresentam os maiores potenciais de se tornarem NZEBs, por meio da geração fotovoltaica local, são armazéns não refrigerados, escolas (aquelas predominantemente horizontais) e lojas de varejo, enquanto os com os menores potenciais são hospitais, hotéis, restaurantes e laboratórios (LIMA, 2012). A análise para a viabilidade desta geração é baseada na disponibilidade de espaço para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Ainda que a maioria das edificações que abrigam hospitais e laboratórios sejam horizontais, essas tipologias requerem uma alta carga instalada e, conseqüentemente, demandam muitos módulos fotovoltaicos. Já os hotéis e edificações verticalizadas, estão sujeitos à falta de espaço para instalação de sistemas para a geração de energia solar na cobertura.

De acordo com Dantas e Pompermayer (2018), os avanços tecnológicos recentes na área de semicondutores e o aumento da produção de células solares reduziram o preço de sistemas fotovoltaicos (Figura 7). Com isso, a geração solar tem se tornado cada vez mais atrativa a todas as classes de consumo nos últimos anos, favorecendo a redução do seu preço e sua popularização.

Figura 7: Histórico dos preços de células de silício.



Fonte: Dantas e Pompermayer (2018, p. 08).

A esse respeito, Bajay *et al.* (2018) ressaltam que um aumento significativo da geração distribuída por meio da tecnologia fotovoltaica é aguardado para os próximos anos, porém, é preciso avaliar os impactos que essa geração pode causar no sistema elétrico, bem como discutir as suas desvantagens:

Aqueles que não geram a própria energia poderão pagar mais caro pela eletricidade adquirida da rede e esses aspectos devem ser considerados ao se estabelecer mecanismos de incentivo. O efeito do aumento de tensão, que pode limitar a quantidade de geração distribuída ou a capacidade adicional conectada à rede; questões relacionadas à qualidade de energia, como variação de tensão e harmônicos; e problemas de estabilidade da rede, uma vez que a rede de distribuição não foi tradicionalmente construída para considerar tais aspectos. (BAJAY *et al.*, 2018, p. 200).

Para Gnecco *et al.* (2020), mesmo com a não obrigatoriedade da geração de energia por meio de fontes renováveis, este item irá contribuir para incentivar a implementação de EEZ depois da análise de eficiência da edificação pela nova INI-C. Para os pesquisadores, em vários países as EEZs já são aplicadas, inclusive com metas para que sejam de implementação obrigatória tanto para novas construções como para *retrofits*, como é o caso dos Estados Unidos desde 2007 e da União Europeia desde 2010.

Antes de se tornar um NZEB a edificação deve ser energeticamente eficiente, comprovada pela obtenção da classificação A de eficiência energética. Além disso as avaliações do uso de sistemas de geração de energia local renovável devem ser realizadas, desde que este sistema esteja instalado na

edificação avaliada ou no mesmo lote em que ela se encontra. Portanto, os sistemas devem estar conectados ao dispositivo medidor de energia da edificação ou parcela da edificação a qual atende (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

Magalhães *et al.* (2019) analisaram o potencial da utilização da energia solar na região central da cidade de Cuiabá/MT, onde há uma conglomeração de prédios públicos. Os pesquisadores concluíram que mesmo a cidade não estando localizada na região do país que recebe a maior parcela da radiação, ela possui grande potencial para a implantação de energia solar fotovoltaica em função dos dias majoritariamente ensolarados cuja insolação é da ordem de 5,364 kWh/m².dia.

Porém, cabe ressaltar que o painel solar perde eficiência em altas temperaturas em decorrência da degradação das células solares. Fossati *et al.* (2021), ao analisarem o decaimento desta eficiência, concluíram que após os 25 anos de vida útil dos painéis, a demanda foi menor que 3,92% em São Paulo, 4,74% em Manaus e 6,45% em Cuiabá. Portanto, mesmo possuindo grande potencial para energia solar fotovoltaica há a necessidade de prever este decréscimo da eficiência dos painéis.

2.4 Caracterização da área de estudo

Segundo Teobaldo (2019), Cuiabá é nacionalmente conhecida como uma das cidades mais quentes do país e com pouca ventilação. De acordo com Peel, Finlayson e McMahon (2007), o clima é classificado como Aw, ou seja, clima tropical chuvoso com duas estações bem definidas, uma quente-seca (outono-inverno) e uma quente-úmida (primavera-verão).

Os ventos fracos que predominam têm índices médios de 1,5 m/s (5,4 km/h) (MAITELLI, 2005) e aliados ao clima quente são ineficientes para amenizar o desconforto térmico. O período de transição entre o inverno e a primavera, ou seja, de julho a outubro, é marcado pelas altas temperaturas associadas a índices desérticos de umidade relativa do ar e ocorrências de queimadas (TEOBALDO, 2019).

Em relatório elaborado com dados horários do *Test Reference Year* (TRY) no ano de 2007, Leão (2007) concluiu que Cuiabá apresenta 19,5% de horas de conforto e 80,5% de desconforto anual, em um total de 294 dias avaliados. Desse percentual de horas de desconforto, 75,9% correspondem ao calor e 4,54% ao desconforto por frio. Devido a essas propriedades, e conforme já mencionado, segundo a norma em vigor da ABNT NBR 15575-1:2013 Edificações habitacionais: Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, a cidade de Cuiabá/MT pertence à Zona Bioclimática 7, mas com esta nova classificação da Cuiabá pertence ao Grupo 24, segundo Roriz (2014b). Nessa classificação, o Grupo 1 representa a zona climática mais fria e o Grupo 24 a mais quente.

Estas características climáticas ocorrem em função da localização da cidade, visto que Cuiabá está inserida em um relevo de baixas altitudes, no compartimento geomorfológico denominado

depressão cuiabana (Figura 8). De acordo com Teobaldo (2019), na Depressão Cuiabana predominam baixas altitudes, que são responsáveis pelas elevadas temperaturas. Por outro lado, Cuiabá está na posição geocêntrica na América do Sul, ou seja, está distante da influência das massas de ar marítimas, o que também contribui para a elevação da temperatura.

Figura 8: Depressão cuiabana.



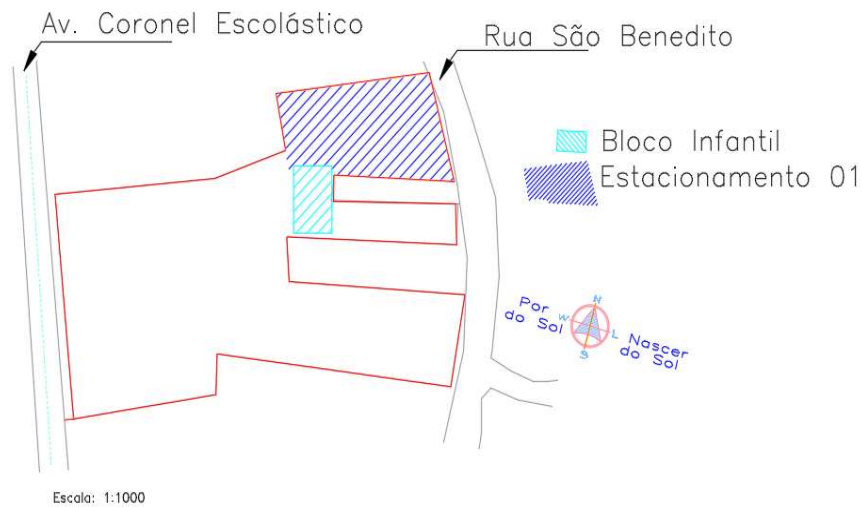
Fonte: Fronteiras da Geografia (2011).

Além disso, a intensa urbanização da cidade tem contribuído para que a paisagem natural seja substituída por edifícios em concreto e vias largas e pavimentadas, que possuem um maior índice de absorção da radiação solar. Outro fator agravante foi a retirada dos indivíduos arbóreos dos canteiros centrais das avenidas principais do centro da cidade para a implantação do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) para a Copa do Mundo em 2014. Em seu estudo, Latorraca Netto e Ugeda Júnior (2020) contabilizaram a retirada de aproximadamente 1.330 indivíduos arbóreos, o que contribuiu para o aumento da temperatura na região. Também, em 30 de setembro 2020 a cidade de Cuiabá registrou $43,7^{\circ}\text{C}^4$ em sua estação meteorológica, sendo essa a temperatura mais alta dos últimos 108 anos, desde que o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) faz essa medição (INMET, 2021).

Nesta região, onde foram retiradas as árvores que está localizada a EPC (Escola Presbiteriana de Cuiabá). A escola surgiu posteriormente à instalação da Igreja Presbiteriana do Areão na Avenida Coronel Escolástico, onde permanece até hoje. Esta avenida está localizada no centro urbano comercial de Cuiabá e ao longo dos anos a EPC foi adquirindo terrenos para ampliação, dos quais dois são destinados a estacionamentos, sendo um para o Ensino Fundamental e outro para o Bloco Infantil (estacionamento 01), construindo assim um complexo escolar composto por vários terrenos de tamanhos diferentes, conforme mostrado na Figura 9 a seguir.

⁴ Esse registro é realizado na sombra, com os termômetros inseridos em abrigos de madeira pintada na cor branca. Como os termômetros de rua estão expostos à radiação solar direta, as temperaturas registradas por esses equipamentos são mais altas.

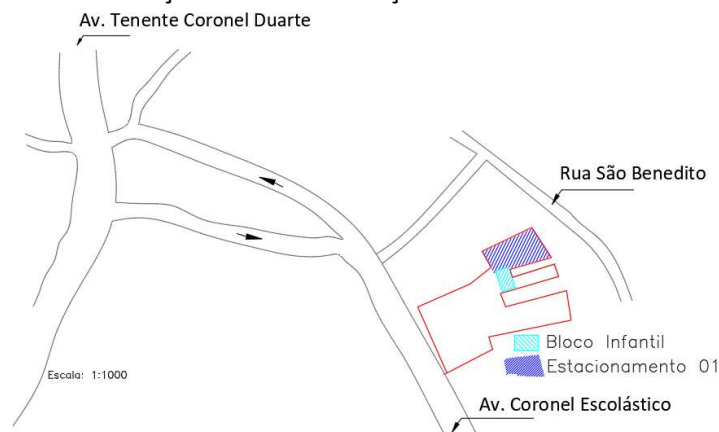
Figura 9: Vista aérea da localização do complexo da EPC.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Essa região do centro urbano comercial é uma das mais quentes de Cuiabá, classificada por Teobaldo (2019) como pertencente aos setores de alto índice de vulnerabilidade ao calor. Também é um local de baixa altitude da região urbana, que por sua vez é uma das cidades mais quentes do país. Sua localização está a três quarteirões de distância das margens do córrego Prainha, atualmente canalizado e transformado na Av. Tenente Coronel Duarte (Figura 10). Este é o local de menor altitude da região urbana.

Figura 10: Localização da EPC em relação à Av. Tenente Coronel Duarte.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois busca traçar o cenário real em uma escola em Cuiabá e, a partir daí outro cenário com aplicação de conceitos de *retrofit* energético. Foi utilizado o método

misto, que possui características concorrentes de forma complementar na apresentação dos resultados. A pesquisa qualitativa foi realizada por meio do levantamento físico e iconográfico da escola, enquanto a abordagem quantitativa compreendeu medições padronizadas e sistemáticas *in loco*. Seus objetivos são de caráter exploratório, pois buscou coletar dados numéricos em um ambiente escolar voltado para a educação infantil e seus procedimentos são experimentais, mediante a manipulação padronizada de equipamentos de medições e *software* para simulações, por meio de normas técnicas, para executar as aferições e observar os dados de saída.

Para realizar um *retrofit* energético dos sistemas de iluminação e condicionadores de ar associado aos ganhos ambientais e com energia *on-site* do Bloco Infantil da EPC, a pesquisa foi dividida em 5 etapas, conforme fluxograma a seguir (Figura 11).



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3.1 Etapa 1: Procedimentos Iniciais e Definição do Objeto de Estudo

Nesta etapa foi definida a temática do estudo e teve início a busca pelo referencial teórico em livros, periódicos, anais de congressos, simpósios e conferências, teses e dissertações sobre eficiência energética, emissões de CO₂, *retrofits* energéticos, energia *on-site* de energia elétrica, entre outros.

Na sequência, pesquisadas as normativas referentes à iluminação natural e elétrica. Foi feito ainda o levantamento de normativas nacionais vigentes sobre eficiência energética, como é o caso da ABNT NBR 16819:2020 Instalações elétricas de baixa tensão: Eficiência energética, na busca pela compreensão da nova INI-C, em vigor desde 24 de fevereiro de 2021. Contudo, cabe destacar que a proposta de texto da Portaria Definitiva para os RACs para a eficiência energética de edificações, que

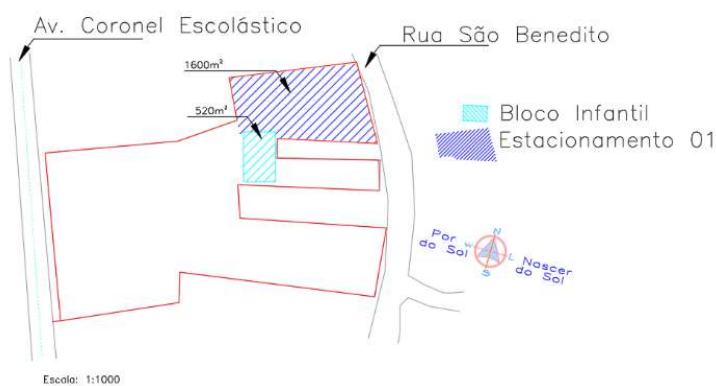
se aplica às edificações comerciais, de serviços e públicas, ficou em consulta pública até o final do mês de abril de 2021 (INMETRO, 2021c). Esta consulta pública foi destinada à apresentação de sugestões e críticas referentes ao texto proposto e após as manifestações o INMETRO irá redigir o texto final, conforme consta no seu artigo 4º. Até a conclusão deste trabalho, o texto da Portaria Definitiva para os RACs não havia sido publicado.

3.1.1 Definição do Objeto de Estudo

A pesquisa foi realizada no Bloco Infantil da EPC, que foi fundada em 23 de junho de 1992 e o Bloco Infantil teve sua construção no ano de 2016. A escolha pelo local foi motivada pela facilidade de acesso aos dados necessários para este trabalho e a opção pelo Bloco Infantil deve-se à construção recente, ou seja, após a vigência da NBR ISO/CIE 8995:1 Iluminação em ambientes de trabalho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Em janeiro de 2016 foi inaugurado o anexo da educação infantil, com capacidade de atendimento a 180 crianças de 02 a 07 anos, funcionando nos períodos matutino e vespertino. O Bloco Infantil (em destaque na cor azul claro da Figura 12) totaliza uma área construída de 520 m², mais o estacionamento 01 (área em azul escuro), que possui 1.600m², sendo essa área equivalente à área iluminada.⁵

Figura 12: Implantação da EPC - em destaque o Bloco Infantil e o estacionamento.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A EPC é uma instituição civil sem fins lucrativos e todos os recursos são reinvestidos na operação e melhorias da própria escola. Até março de 2020, antes da pandemia, a escola atendia cerca de 800 alunos de 02 a 14 anos nos períodos matutino e vespertino.

⁵ Área iluminada – AI (m²): Área de piso dos ambientes internos e externos que são iluminados artificialmente (INMETRO, 2021a).

3.1.2 Caracterização do Bloco Infantil

Além do estacionamento, o Bloco Infantil (Figura 13) possui dois pavimentos, sendo que cada um deles abriga 04 salas de aula, com aproximadamente 40m² cada sala, totalizando 08 salas de aula no bloco. Há somente uma entrada de acesso no térreo e a comunicação com o piso superior é feita através da escada ou pelo elevador.

Figura 13: Acesso ao Bloco Infantil da EPC.



Fonte: Acervo da autora (2021).

O Bloco conta ainda com uma quadra poliesportiva e *playground* (Figura 14). A quadra poliesportiva foi inaugurada dia 30 de março de 2022, no retorno dos alunos às atividades presenciais.

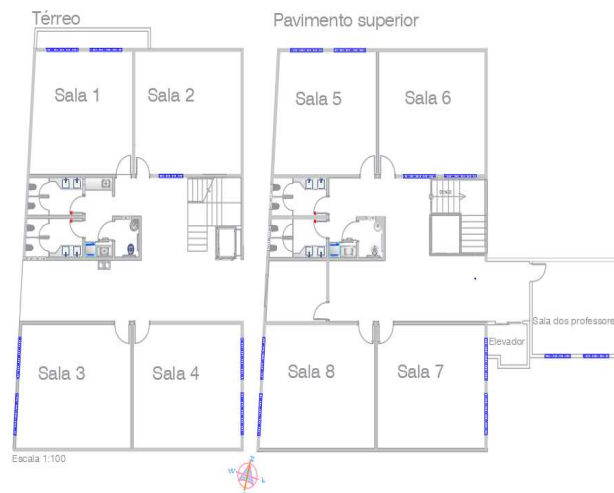
Figura 14: Quadra poliesportiva e *playground* Bloco Infantil da EPC.



Fonte: Acervo da autora (2022).

No pavimento superior há ainda 01 sala de professores e 01 sala para a coordenação (Figura 15). Sob a escada há um almoxarifado e a edificação possui um pé-direito de 2,60m de altura. Ambos os pisos possuem banheiros masculinos, femininos e também destinados à pessoa com deficiência (PCD). No piso térreo há ainda um trocador para o berçário. O *playground* fica em baixo da sala dos professores e a incompatibilidade de informações entre o térreo e o pavimento superior ocorre porque a escola não possui as *Biults*.

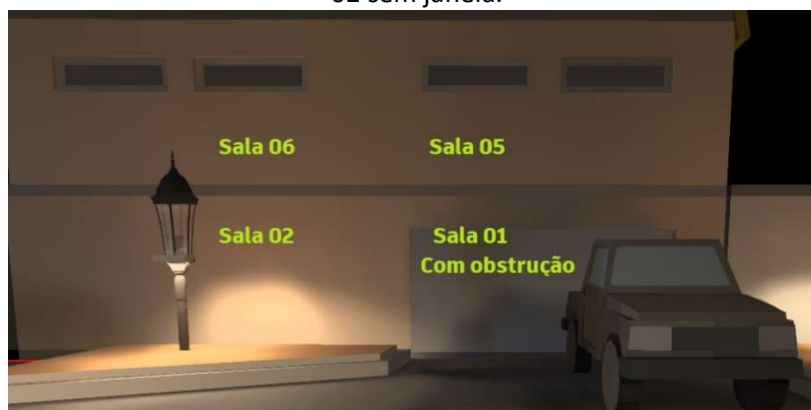
Figura 15: Planta baixa do térreo e do pavimento superior.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Conforme mencionado, visando à sua ampliação, a EPC foi adquirindo vários terrenos de tamanhos diferentes. Em função disto, as salas de aula 01 e 02 (Figura 16), não possuem janelas com vistas ao exterior da edificação, somente as salas 05 e 06 possuem tais aberturas voltadas para o Norte. Desta forma, as janelas destas salas são voltadas para o estacionamento, com exceção da sala 02, cuja janela é voltada para o corredor.

Figura 16: Ambiente virtual que ilustra o ambiente real da sala 01 com obstrução permanente e Sala 02 sem janela.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

As salas 04, 08 (Figura 17) e da coordenação estão voltadas para o Sul. A entrada da edificação também fica voltada para esta orientação.

Figura 17: Ambiente virtual que ilustra o ambiente real das salas com orientação para o Sul.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.2 Etapa 2: Aspectos Qualitativo e Quantitativo

A etapa 2 foi dividida em duas fases, sendo a fase 1 destinada ao levantamento dos aspectos qualitativos da envoltória, do sistema de iluminação e de condicionadores de ar, e fase 2 para o levantamento do aspecto quantitativos destes sistemas e as aferições dos níveis de Iluminância *in loco*.

3.2.1 Fase 1: Levantamento dos Aspectos Qualitativos

Nesta fase foi realizado o levantamento físico e iconográfico dos ambientes. Foram observados os aspectos qualitativos do ambiente, a fim de verificar as cores das paredes, pisos e tetos, a presença de figuras nas paredes, as cores dos mobiliários e os materiais utilizados.

Em relação aos sistemas de iluminação natural e elétrica, foram examinados: o tipo de lâmpada usada e a seu Índice de Reprodução de Cor (IRC), a temperatura de cor, a falta de iluminação por lâmpadas queimadas, a presença de sujidade nas lâmpadas e/ou vedação das aberturas, ocorrência de áreas de sombra e ofuscamento, dimensionamento e posição das aberturas, possíveis interferências externas para a captação da luz natural e a ausência da luz solar no ambiente.

Quanto aos aspectos qualitativos da envoltória, foram verificados o pé-direito da edificação, a dimensão das aberturas, os materiais construtivos e os tipos de vidros, a orientação solar, a existência de obstrução nas janelas e aberturas suplementares. Outros aspectos necessários para a caracterização da envoltória, como ocupação (m^2 /pessoa), horas de ocupação, dias de ocupação, tipologia do piso, paredes e cobertura, foram obtidos com os gestores da escola. Para o sistema de condicionadores de ar foi verificada a classe de eficiência energética destes equipamentos.

3.2.1.1 Fase 2: Levantamento dos Aspectos Quantitativos

Na fase 2 foram quantificadas as lâmpadas instaladas, seus tipos, a potência, o fluxo luminoso e o Índice de Reprodução de Cor (IRC). Como a escola já mantinha um registro do fluxo luminoso e das potências das lâmpadas, bem como do tipo de lâmpada usado (fluorescentes compactas e LEDs), esses dados foram consultados e inseridos em planilhas para o cálculo da eficiência luminosa das lâmpadas. Foram ainda registrados os tipos de acionamento utilizados.

Além disso, foram aferidos os níveis de iluminância *in loco*, sendo a primeira aferição correspondente à iluminação natural, a segunda referente à iluminação elétrica e a terceira à iluminação natural em conjunto com a Iluminação Elétrica Suplementar Permanente para Interiores (IASP). Para o registro das iluminâncias foi utilizado um luxímetro digital modelo MLM-1011 (Minipa) calibrado⁶ (Figura 18), que abrange uma faixa de 1 lux a 100.000 lux. Foram atendidas as recomendações do fabricante quanto ao posicionamento na horizontal e a uma distância segura do sensor para evitar sombra sobre ele.

Figura 18: Luxímetro digital modelo MLM-1011.



Fonte: Acervo da autora (2021).

⁶ O luxímetro MLM-1011 (Minipa) possui Certificado de Calibração número 54104, da Rede Brasileira de Calibração – RBC L0075/2019, com a data da calibração em 18/01/2021 e válida por 12 meses, ou seja, com validade até 18/01/2022.

O luxímetro foi posicionado no plano de trabalho (Figura 19), ou seja, nas mesas do maternal a 50 cm de altura e para as demais salas de aula a 60cm, que são os padrões das mesas das salas de aula do Bloco Infantil e também coincidindo com os pontos marcados no chão. Para a sala da coordenação e para a sala dos professores, o sensor foi posicionado a 75 cm do piso acabado.

Figura 19: Posição do luxímetro sobre os pontos da malha.



Fonte: Acervo da autora (2021).

Foi utilizada a escala de 20.000 lux para aferição da iluminação natural e para a primeira leitura foi respeitado o tempo de estabilização que o instrumento necessita toda vez que for iniciado.

Nesta fase também foi realizado o levantamento da quantidade de condicionadores de ar, sendo que os dados e as secções das tubulações desses equipamentos foram levantados junto à empresa que realiza a instalação e a manutenção do sistema de refrigeração na EPC.

3.2.1.2 Aferição 1: Iluminação Natural

Foi realizado o levantamento *in loco* das condições de iluminação natural no Bloco Infantil nos dias 13, 15 e 16 de fevereiro de 2021⁷, das 9h às 11h e das 14h30 às 17h, sob condição de céu claro. As coletas nas Áreas de Permanências Transitórias (APT), como corredores, *halls* e banheiros foram realizadas dia 1º de abril de 2021, das 9h às 11h e das 14h30 às 16h, também sob condição de céu claro.

⁷ Devido à pandemia pela COVID-19 e disponibilidade da escola, tais medições não foram realizadas nos períodos normatizados.

Para a medição da iluminação natural adotou-se o procedimento estabelecido na NBR 15215-4: Iluminação natural. Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - método de medição (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). Desta forma, para determinar o número mínimo de pontos necessários para verificação do nível de iluminação natural foi determinado o índice do local (K), por meio da Equação 1 estabelecida pela norma, cuja unidade é adimensional.

$$K = \frac{C \times L}{Hm \times (C + L)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

L é a largura do ambiente, em metros;

C é o comprimento do ambiente, em metros;

Hm é a distância vertical, em metros, entre a superfície de trabalho e o topo da janela, em metros.

Após a definição dos valores de K, foi elaborada a Tabela 1 a seguir. Como os peitoris das salas 01, 05 e 06 são de 1,6m, e das salas 03, 04, 07 e 08 são de 1,2m, o Hm calculado foi equivalente a 1,6m para todas as salas, com exceção da sala 01, que foi de 1,7m (devido às mesas terem 50cm de altura).

Tabela 1: Índice do local (K).

Salas	K	C	L	H
Coordenação	0,96	3,50	3,00	1,68
Sala dos professores	1,24	4,80	3,70	1,68
Sala 01	1,80	6,41	5,86	1,70
Sala 02	1,85	6,60	5,85	1,68
Sala 03	1,86	6,70	5,88	1,68
Sala 04	1,93	7,18	5,90	1,68
Sala 05	1,76	6,00	5,86	1,68
Sala 06	1,85	6,60	5,85	1,68
Sala 07	1,86	6,70	5,88	1,68
Sala 08	1,93	7,18	5,90	1,68

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Uma vez definido o K, verificou-se a quantidade de pontos a serem medidos nas salas de aula do Bloco Infantil. Segundo a Tabela 2 a seguir, extraída da NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

NORMAS TÉCNICAS, 2005a), são necessários no mínimo 16 pontos para as salas de aula e a sala dos professores. Já para a sala da coordenação, são necessários 9 pontos.

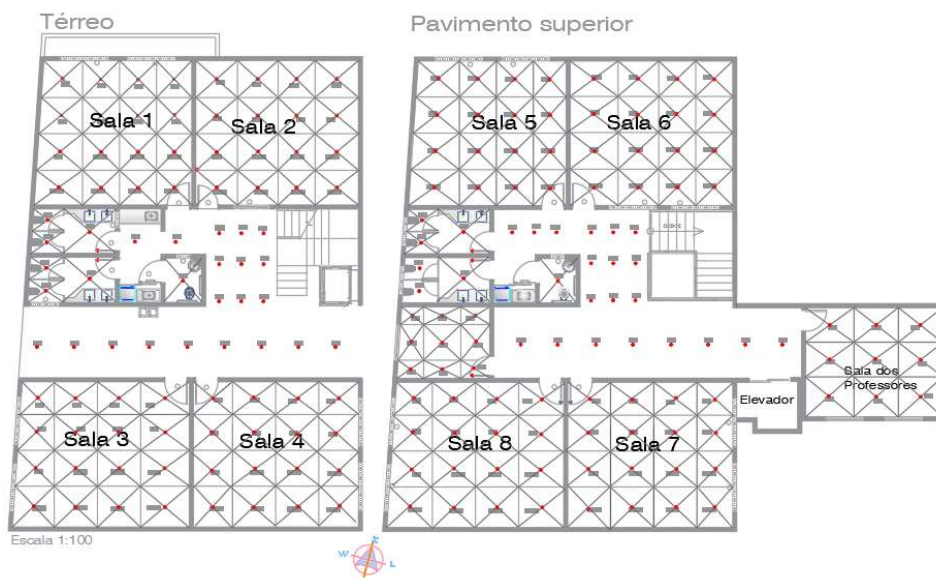
Tabela 2: Número de pontos necessários para a medição.

K	Nº de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005a).

Na sequência, foi elaborada uma malha de pontos (Figura 20) para as medições de todos os ambientes do Bloco Infantil, incluindo a sala dos professores, a coordenação e as APTs. Os ambientes internos foram divididos em áreas iguais, com formato próximo ou igual a um quadrado. A iluminação E foi medida no centro de cada área, conforme o exigido pela NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). Adotou-se um afastamento mínimo de 0,50m das paredes, de modo a evitar que os pontos ficassem muito próximos destas.

Figura 20: Planta das salas com malha de pontos de medição (iluminação natural).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Para facilitar a aferição *in loco* e a organização dos registros fotográficos referentes a cada levantamento, foram utilizados *post it* de cores diferentes para cada dia e período. A marcação dos

pontos (Figura 21) foi determinada por meio de uma trena e as aferições foram feitas com as janelas abertas e a iluminação elétrica desligada. As iluminâncias obtidas com o luxímetro foram registradas em um caderno de campo.

Figura 21: Marcação dos pontos medidos com luxímetro.



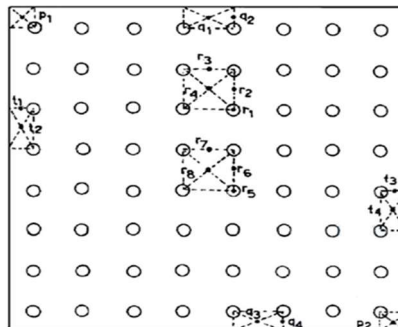
Fonte: Acervo da autora (2021).

3.2.1.3 Aferição 2: Iluminação Elétrica

Para aferição dos níveis de iluminância correspondentes à iluminação elétrica, foi utilizado o Procedimento Técnico do Anexo I da Norma de Higiene Ocupacional (NHO 11). O Bloco Infantil se enquadra no item ambiente de trabalho de área retangular, iluminado com fontes de iluminação com padrão regular, simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras (FUNDACENTRO, 2018).

Desta forma, foram efetuadas as medições nos pontos recomendados pela norma, ou seja, nos pontos r1 a r8; q1 a q4; t1 a t4 e também nos pontos p1 e p2, totalizando 18 pontos distintos (FUNDACENTRO, 2018). Para cada conjunto de letras (r, q, t e p) foi calculada a média das iluminâncias. Estes pontos estão indicados na Figura 22.

Figura 22: Ambiente com fontes de iluminação simetricamente espaçadas em duas ou mais fileiras.

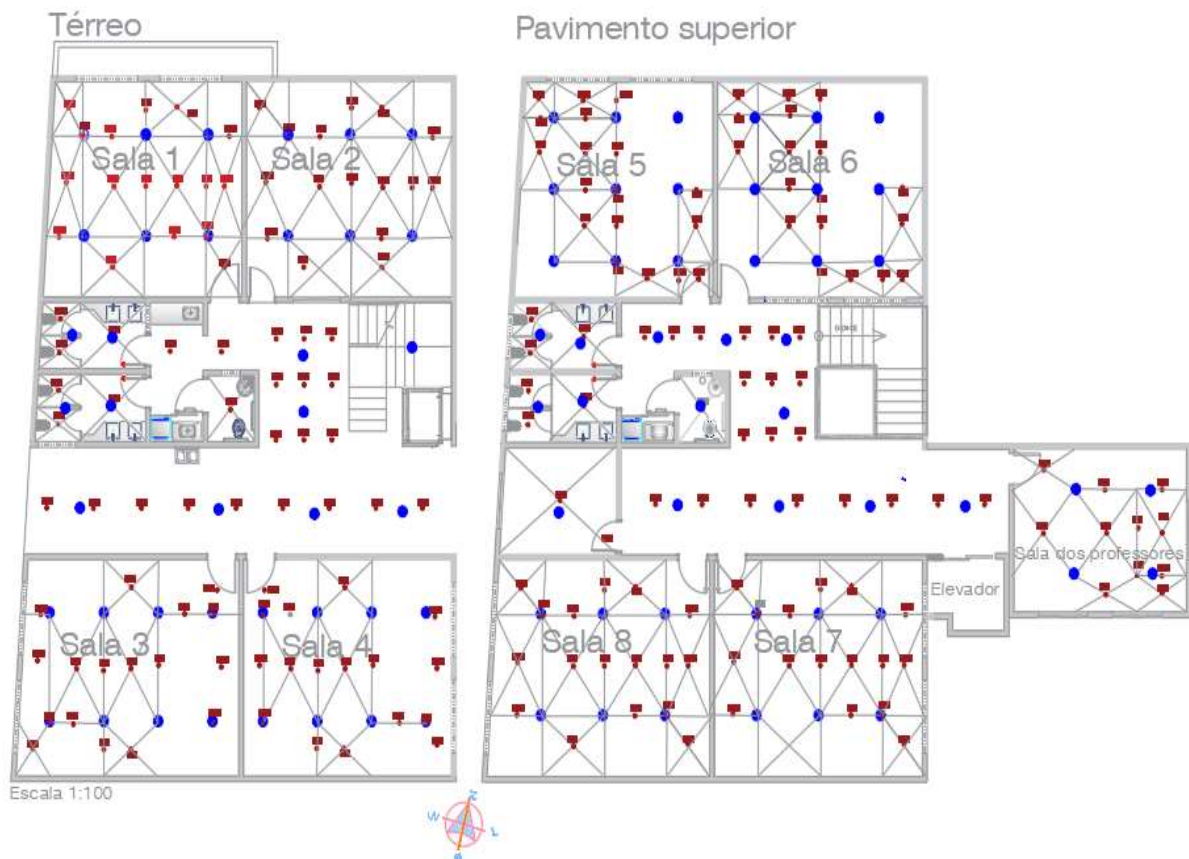


Fonte: Fundacentro (2018, p. 46).

Mesmo as salas de aula possuindo áreas aproximadamente iguais, as luminárias foram dispostas de formas distintas. As salas 01, 02, 07 e 08 possuem 06 luminárias em duas fileiras, enquanto as salas 03 e 04 têm 08 luminárias em duas fileiras e as salas 05 e 06 possuem 09 luminárias distribuídas em 03 fileiras. Na sala da coordenação, cuja área é 11 m², há somente 01 lâmpada central. Na sala dos professores, de área igual a 35m², estão instaladas 04 lâmpadas espaçadas uniformemente.

Em função disto, foram elaboradas malhas diferentes (Figura 23) e para a realização destas aferições as janelas foram fechadas. As medições ocorreram nos dias 15 de fevereiro, das 14h30 às 17h, e 1º de abril de 2021, das 9h às 12h e das 13h às 16h. Estas aferições não foram feitas à noite, porque o Bloco Infantil funciona somente no período diurno, mas durante o dia há necessidade de acionar a luz elétrica.

Figura 23: Planta das salas com malha de pontos de medição (iluminação elétrica).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Como a INI-C entrou em vigor apenas em março de 2021, houve necessidade de adequar a malha de 18 pontos inicialmente estabelecida para atingir os 25 pontos de medição determinados pelo novo regulamento. Como o regulamento não exige uma malha própria para a medição dos 25 pontos,

foram utilizados os pontos aferidos não coincidentes estabelecidos nas malhas das medições da iluminação natural e da elétrica.

Nas APTs foram feitas as aferições de 09 pontos em cada área, visto que o índice K foi menor que 1, conforme já mostrado na figura 13. Assim como nas salas de aula, os pontos foram marcados no local com o auxílio de uma trena para ficarem equidistantes e, conforme estabelecido pela a NHO11 (FUNDACENTRO, 2018), a iluminância foi aferida no nível do piso.

Como parâmetro para a medição, foi utilizada a NBR ISO 8995: Iluminação em ambientes de trabalho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), que indica não somente a iluminância mínima, mas também o ofuscamento e o IRC para áreas de circulação, banheiros e escadas, conforme o Quadro 5 a seguir.

Quadro 5: Iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor das APTs.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	UG RL	Ra	Observações
Áreas de circulação e corredores	100	28	40	Nas entradas e saídas, estabelecer uma zona de transição, a fim de evitar mudanças bruscas.
Escadas, escadas rolantes e esteiras	150	25	40	
Vestiários, banheiros, toaletes	200	25	80	

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013).

A iluminância média foi obtida pela Equação 2 da NHO11 (FUNDACENTRO, 2018):

$$I = \frac{R \times N(M-1) + Q \times N + T(M-1) + P}{M(N+1)} \tag{Equação 2}$$

Onde:

N = quantidade de luminárias por fila;

M = número de filas.

Conforme estabelecido pela NHO11 (FUNDACENTRO, 2018), a iluminância média não pode estar abaixo dos valores dados no Quadro 6, cujo valor indicado para salas de aulas particulares, coordenação e sala dos professores é de 300 lux (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Quadro 6: Especificação da iluminância, limitação de ofuscamento e qualidade da cor.

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	Em lux	UGRL	Ra	Observações
Salas de aula, salas de aulas particulares	300	19	80	
Salas dos professores	300	22	80	Recomenda-se que a iluminação seja controlável.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

3.2.1.4 Aferição 3: Iluminação IASP

Foi realizado o levantamento *in loco* das condições de iluminação natural em conjunto com a IASP no Bloco Infantil nos dias 13, 15 e 16 de fevereiro de 2021, das 9h às 11h e das 14h30 às 17h, sob condição de céu claro. As coletas nas APTs, como corredores, *halls* e banheiros foram realizadas dia 1º de abril de 2021, das 9h às 11h e das 14h30 às 16h, também sob condição de céu claro.

Para esta aferição as janelas permaneceram abertas e a iluminação elétrica foi acionada. Tal procedimento foi baseado na NBR 15215-4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a), ou seja, foi utilizada a mesma malha da aferição 01, referente à iluminação natural apresentada anteriormente. Portanto, foram repetidos os critérios utilizados para aferição da iluminação natural quanto à posição, estabilização e escala do luxímetro, bem como o afastamento mínimo das paredes.

3.3 Etapa 3: Classificação Energética pela INI-C (modelo real)

Na etapa 03 foram realizados os procedimentos para a determinação da classificação de eficiência energética geral do Bloco Infantil, por meio da comparação do consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D, conforme condição imposta pela norma.

Segundo a normativa, a estimativa do consumo de energia pode ser avaliada pela combinação entre o método simplificado e o método de simulação, baseada no manual item 5 Visão Geral da INI-C (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021). De acordo com tal item, tanto o sistema de iluminação como o de condicionamento de ar do Bloco Infantil podem ser avaliados por ambos os métodos, todavia, para esta pesquisa, optou-se pelo método simplificado por ser mais simples.

É importante destacar que, além da classificação energética do sistema de iluminação, também serão realizadas simulações para a melhoria da qualidade da luz, porém, as simulações não envolvem análises termoenergéticas.

De acordo com a INI-C (LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME, 2021), para a edificação ser elegível à classificação geral A de eficiência energética, todas as condições dos sistemas individuais (sistema de condicionamento de ar, de iluminação e de aquecimento de água), descritas pela norma e já mencionadas na dissertação, devem ser atendidas, quando possíveis.

Como o Bloco Infantil não possui sistema de aquecimento de água, este foi desconsiderado. A norma define ainda que a determinação da classificação da eficiência energética geral da edificação deve ser feita com base no percentual de redução do consumo de energia primária (RedCEP) da edificação real em comparação com a mesma edificação em sua condição de referência, equivalente à classificação D (Equação 3). A condição de referência deve ser adotada conforme a tipologia da edificação e as suas respectivas características.

$$RedCep = \frac{(Cep,ref - Cep,real)}{Cep,ref} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

RedCEP é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência;

CEP, ref é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

CEP, real é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano).

3.3.1 Classificação do Sistema de Iluminação (modelo real)

Para classificar o sistema de iluminação do Bloco Infantil foi adotado o método do edifício completo, pois, como mencionado anteriormente, este método apresenta uma aplicação mais rápida e é indicado para edificações que possuem somente uma atividade principal (escola, por exemplo).

Segundo a INI-C (LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME, 2021), este método somente é aplicável caso a parcela avaliada represente uma das atividades listadas na tabela B.III.2 da referida norma, reproduzida na Tabela 3 a seguir, na qual o Bloco Infantil segue os requisitos indicados para escola/universidade. Estabelece também o limite máximo aceitável de Densidade de Potência de Iluminação Limite (DPIL) de 8,7 W/m² para a classe A e 15,5 W/m² para a classe D.

Tabela 3: Classificação de eficiência pretendida - método do edifício completo.

Função do edifício	DPIL Classif. A (W/m ²)	DPIL Classif. D (W/m ²)
Comércio	11,4	21,9
Correios	7,2	13,6
Venda e locação de veículos	7,6	12,8
Escola/universidade	8,7	15,5

Fonte: LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021.

A EPC possui uma área de aproximadamente 7.590 m² e o Bloco Infantil tem 2.746 m², ambas as áreas já incluindo o estacionamento, conforme mostrado na Tabela 4. Em consonância com a INI-C (LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021), se for realizada a avaliação de uma parcela da edificação, esta deverá ter no mínimo 30% da área da edificação completa.

Tabela 4: Áreas do Bloco Infantil.

Nº	Descrição	Área m ²
1	Térreo	261
2	1º Pavimento	261
3	<i>Playground (coberto)</i>	81
4	Quadra mirim	212
5	Portaria	51
6	Estacionamento	1.600
7	Jardim	280
Total de área do Bloco Infantil		2.746
Total de área da EPC		7.590

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Conforme calculado por meio da Equação 4 (LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021), a parcela da edificação correspondente ao Bloco Infantil é de 36% do total da edificação da EPC, sendo, portanto, superior ao exigido pelo método do edifício completo.

$$\text{Parcela da edificação} = \frac{\text{Total de área do Bloco Infantil}}{\text{Total de área da EPC}} \quad (\text{Equação 4})$$

Foi ainda calculado o Potencial de Integração (PI) entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível, conforme Equação 5 deduzida do item 7.2.1 da INI-C (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021). O PI é informativo e não possui restrições quanto aos valores máximos ou mínimos a serem atingidos. No entanto, sua determinação é obrigatória para a classificação A do sistema (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

$$P (\text{Integração}) = \frac{\text{Soma de todas as zonas primárias de luz natural}}{\text{Total de área do Bloco Infantil}} \quad (\text{Equação 5})$$

Para o cálculo das zonas primárias⁸ de iluminação natural, que consideram as aberturas laterais, foram desconsideradas as salas 01 e 02. A sala 01 encontra-se atrás de uma obstrução permanente, indicada na cor vermelha na Figura 24, que é um anexo à edificação, com 2,6m de altura.

Figura 24: Obstrução permanente das janelas da sala 01 representado em planta baixa (esquerda) e em modelagem 3D (direita).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

⁸ Áreas da edificação substancialmente iluminadas pela luz do dia, seja por aberturas laterais ou aberturas zenitais (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

Já a sala 02, conta com uma obstrução permanente da luz natural, visto que está voltada para um corredor que não possui acesso à radiação solar (Figura 25 à esquerda). E a modelagem 3D a direita que mostra retrata o modelo real.

Figura 25: Janela da sala 02 no levantamento iconográfico (esquerda) e em modelagem 3D (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

É importante destacar que, como na sala 05 há iluminação natural suplementar através de uma abertura com vedação em elemento translúcido de 60cm por 60cm, essa abertura foi considerada no cálculo (Figura 26 à esquerda). E a modelagem 3D a direita que detalha o modelo real).

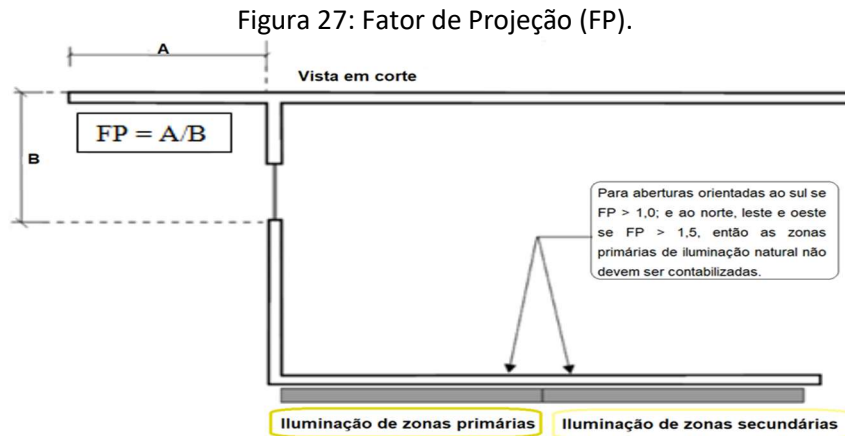
Figura 26: Iluminação natural em plano translúcido de 60cmx60cm da sala 05. Levantamento iconográfico (esquerda) e Modelagem 3D (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

A sala 04 tem suas aberturas laterais voltadas para o norte e conta com uma marquise de 2m (Figura 26), portanto, para determinar o cálculo do Fator de Projeção (FP) foi realizada a divisão entre o tamanho da marquise pela medida encontrada do peitoril da janela até a marquise. A INI-C

(LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021) estabelece que as aberturas voltadas para o norte e com FP menor que 1,5 devem ser consideradas. Como por meio do cálculo foi obtido um valor equivalente a 1,42, esta abertura foi contabilizada.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Por meio dos cálculos foi possível verificar que as alturas das vergas apresentaram uma constante de 2,10m e o cálculo do PI entre o sistema de iluminação e a luz natural foi apresentado em uma planilha.

Para o cálculo da Potência de Iluminação Total Real (PITreal) (Equação 6) foi considerada somente a potência referente de todos os conjuntos de lâmpadas instalados da edificação em sua condição real, pois no Bloco Infantil não há reatores nem dispositivos de controle automatizado e nem transformadores (LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021).

$$PI_{Treal} = \sum (PIU) + \sum (PI) + PASP \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

PI_{Treal} é a potência de iluminação total (W);

PIU é a potência de iluminação em uso (W);

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

PASP é a potência de iluminação de ambientes sem projeto luminotécnico, ou, sem sistema instalado no momento da inspeção em campo da edificação (W), quando aplicável.

Como a escola não possui projeto luminotécnico, ou seja, existe somente o projeto elétrico, foi necessária a utilização do fator de 1,5 da Potência de Iluminação Limite para a classificação D (PILD). Com este fator houve um acréscimo de 50% para o cálculo da Potência de Ambientes Sem Projeto (PASP) (Equação 7) (INMETRO, 2021a, p.93).

$$PASP = 1,5 \times PILD$$

(Equação 7)

Onde:

PASP é a potência de iluminação de ambientes sem projeto luminotécnico, ou sem sistema instalado no momento da inspeção em campo da edificação (W);

PILD é a potência de iluminação limite para a classificação D (W)

Para determinar o cálculo da Potência de Iluminação em Uso (W) (PIU), foram utilizados os dados coletados na fase 01, fornecidos pela escola e levantados *in loco*. No total do cálculo da PIU foram incluídas todas as áreas internas iluminadas eletricamente, incluindo Áreas de Permanências Prolongadas (APPs), APTs e as áreas externas cobertas da edificação iluminadas por luz elétrica, tais como marquises e a rampa mostrada na Figura 28 a seguir.

Figura 28: Áreas de Permanências Transitórias iluminadas por luz elétrica.



Fonte: Acervo da autora (2021).

Também foi considerado o estacionamento de 1600m². É possível verificar a dimensão do estacionamento e o posicionamento das vagas (Figura 29) onde há 2 elementos arbóreos de grande porte e o piso é de cimento.

Figura 29: O estacionamento (direita) e o posicionamento das vagas (esquerda).



Fonte: Acervo da autora (2021).

Todas as lâmpadas do estacionamento são LEDs, sendo que na fachada frontal da guarita (Figura 30a), para o controle do fluxo de pessoas e segurança diurna, há uma luminária de 30W. O

sistema conta ainda com 4 luminárias de 100W posicionadas a 5,7m de altura (Figura 30b), duas luminárias de jardim com lâmpadas de 25W (Figura 30c) do lado esquerdo do estacionamento e 04 arandelas tipo tartaruga de 18W no muro, duas luminárias decorativas de 15W nas árvores (Figura 29d) e uma lâmpada de 15W dentro da guarita.

Figura 30: a) Fachada da guarita; b) Lâmpadas no poste; c) Luminárias de jardim d) Luminária espeto.



Fonte: Acervo da autora (2022).

Para determinar a PITreal, foram utilizadas as Equações 6 e 7 (INMETRO, 2021a), resultando na Equação 8 (INMETRO, 2021a).⁹

$$PI_{TREAL} = \sum PIU + \sum PI + 1,5 PILD \quad (\text{Equação 8})$$

Para o cálculo da Potência de Iluminação Limite (PIL), foi utilizada a Equação 9 (INMETRO, 2021a). O procedimento foi realizado tanto para a condição equivalente à classificação D como à classificação A.

$$PIL = \sum_{i=1}^{n=3} (Ai \times DPIL) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

PIL é a potência de iluminação limite para cada classificação (A ou D) em W;

n é um número equivalente à quantidade de atividades principais da edificação, sendo de no máximo três atividades;

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

DPIL é a densidade de potência limite para cada uma das atividades, se houver mais de uma, em W/m².

⁹ Não foi necessário realizar a aplicação do Fator de Ajuste de Potência (FAP), bem como simular a redução do consumo de energia da edificação a partir do aproveitamento da iluminação natural por meio da instalação de fotossensores, porque o Bloco Infantil não possui nenhum dispositivo de controle automatizado.

No somatório foi considerado n igual a 1, porque a escola é classificada como uma atividade única. A área iluminada, considerando o térreo e o pavimento superior, é de 520m².

A determinação da classificação de eficiência energética do sistema de iluminação foi obtida com base na PIL, considerando a classificação A (PILA) e a classificação D (PILD). A definição das classes intermediárias da escala resulta da divisão do intervalo entre essas duas classes (A e D) em três partes “i”, conforme a Equação 10 (INMETRO, 2021a):

$$i = \frac{(PILD - PILA)}{3} \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classificações;

PILD é a potência de iluminação limite da classificação D (W);

PILA é a potência de iluminação limite da classificação A (W).

O coeficiente que representa os intervalos entre as classificações foi substituído no coeficiente “i” do Quadro 7 (INMETRO, 2021a) a seguir:

Quadro 7: Limites dos intervalos das classificações de eficiência do sistema de iluminação.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$> P_{ILD} - 3i$	$> P_{ILD} - 2i$	$> P_{ILD} - i$	$> P_{ILD}$
Limite inferior	$< P_{ILD} - 3i$	$\leq P_{ILD} - 2i$	$\leq P_{ILD} - i$	$\leq P_{ILD}$	-

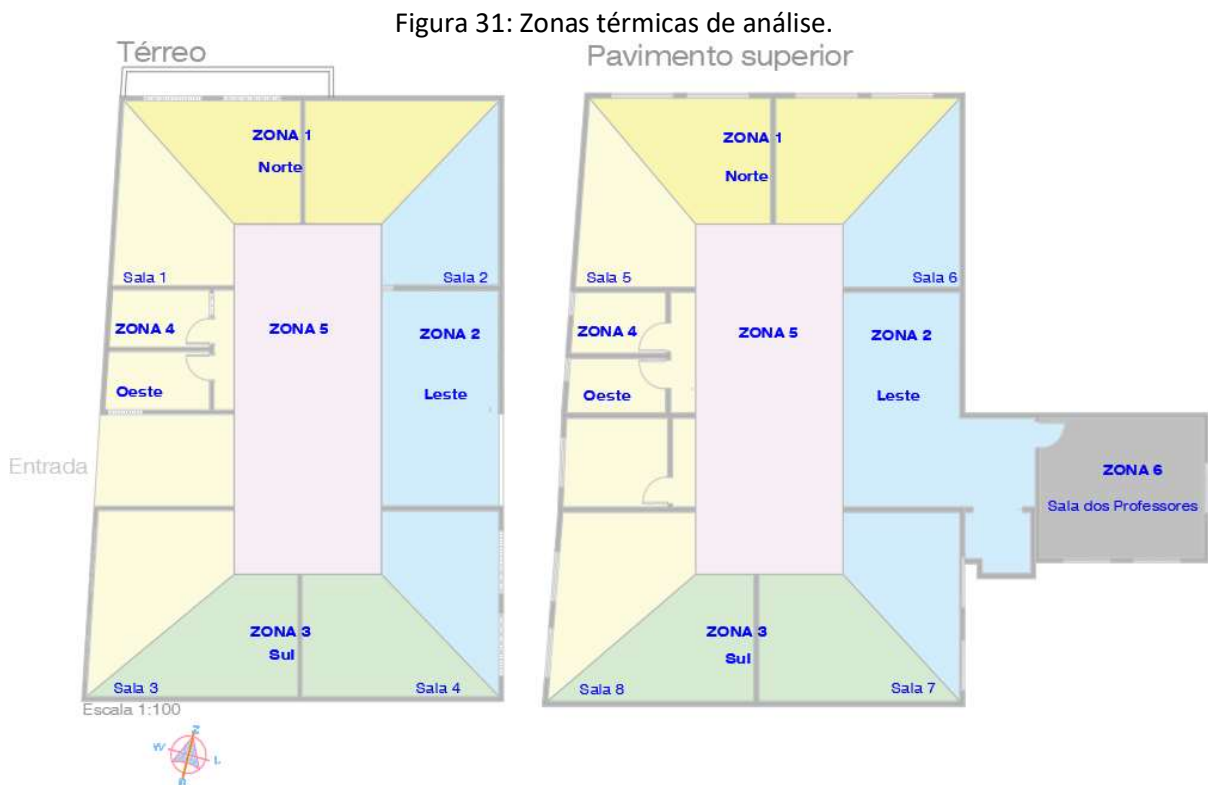
Fonte: INMETRO (2021a, p. 57).

Como resultado foi obtida uma tabela com os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética do sistema de iluminação, a partir da qual é possível observar o limite superior e inferior de eficiência e efetivamente obter a classificação do sistema de iluminação do Bloco Infantil.

3.3.2 Classificação da Envoltória (modelo real)

Para classificar a envoltória, o primeiro passo foi a determinação da Carga Térmica de Refrigeração Anual (CgTR), que foi obtida com base nos parâmetros construtivos físicos, geométricos e de carga interna da edificação. A partir da definição da tipologia da edificação, o Bloco Infantil foi dividido em dois tipos de zonas térmicas de análise, a interna e a perimetral (Figura 31), conforme o item B.1.2.2.1 da INI-C (INMETRO, 2021a). Segundo determinação da norma, cada zona foi associada a uma orientação de fachada. Para as zonas perimetrais foi considerada uma distância de até 4,5m da

parede externa e a partir dessa medida foi definida a área interna. No pavimento superior houve a necessidade de acrescentar uma sexta zona, pois a distância da parede externa até a área interna foi de 12,2m, ultrapassando o limite máximo estipulado de 5,5m. Desta forma, o piso térreo foi dividido em cinco zonas térmicas e o piso superior, em 6 zonas térmicas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Conforme a INI-C (INMETRO, 2021a), no caso das edificações onde as APPs são 100% condicionadas elétricamente, estas devem ser consideradas na avaliação. Todavia, se as APTs não forem condicionadas, estas devem ser desconsideradas. Desta forma, a zona 5 foi desprezada tanto do piso térreo quanto do superior.

Após a definição das zonas térmicas, foram estipulados os parâmetros de entrada a serem inseridos na interface *web* para a estimativa da carga térmica de resfriamento anual da envoltória do metamodelo comercial, disponível no *site* do PBE Edifica.¹⁰ Para tais parâmetros foi considerada a edificação em sua condição real, cujos dados foram obtidos junto à escola, e também em sua condição de referência, que foi alimentada conforme o item 6.1 da INI-C (INMETRO, 2021a) (Quadro 8). A interface *web* permitiu o cálculo da carga térmica de refrigeração anual para a condição real (CgTRreal)

¹⁰ http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#

e de referência (CgTRref) nas áreas condicionadas eletricamente. Para a avaliação da edificação em sua condição real, foram considerados os parâmetros do Anexo A da INI-C.

Quadro 8: Limites dos parâmetros da envoltória atendidos pelo método simplificado.

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (a_{cob})	0,2	0,8
Absortância solar da parede (a_{par})	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade térmica da cobertura (CT_{cob})	0,22 kJ/(m ² .K)	450 kJ/(m ² .K)
Capacidade térmica da parede externa (CT_{par})	0,22 kJ/(m ² .K)	450 kJ/(m ² .K)
Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Densidade de potência de equipamentos (DPE)	4 W/m ²	40 W/m ²
Densidade de potência de iluminação (DPI)	4 W/m ²	40 W/m ²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de área de cobertura da fachada (PAF)	0%	80%
Transmitância térmica da cobertura (U_{cob})	0,51 W/(m ² .K)	5,07 W/(m ² .K)
Transmitância térmica da parede externa (U_{par})	0,50 W/(m ² .K)	4,40 W/(m ² .K)
Transmitância térmica do vidro (U_{vid})	1,9 W/m ²	5,7 W/m ²

Fonte: INMETRO (2021a, p. 18).

Na sequência foi calculado o Fator de Forma (FF) da edificação por meio da Equação 11. Este cálculo foi necessário para se obter o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (CRCEPD-A) (INMETRO, 2021a).

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

FF é o Fator de Forma da edificação (m^2/m^3);

Aenv é a área da envoltória (m^2);

Vtot é o volume total construído da edificação (m^3).

O cálculo foi realizado após a consulta ao Anexo G da INI-C, que compreende uma lista simplificada de todos os grupos climáticos e suas principais cidades, na qual Cuiabá está inserida no grupo 24. A partir desse dado foi possível obter o CRCEPD-A. Foi ainda determinado o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCgTTD-A). Desta forma, foi possível determinar os intervalos de classificação do consumo de energia primária a partir da variável “i”, definida por meio da Equação 12.

$$i = \frac{CEO,ref \times CRCEPD-A}{3} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CEP,ref é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

CRCEPD-A é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a A.

Uma vez obtido o valor de “i”, este foi substituído no Quadro 9 abaixo, para determinar os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.

Quadro 9: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$> CgTTref - 3i$	$> CgTTref - 2i$	$> CgTTref - i$	$> CgTTref$
Limite inferior	$\leq CgTTref - 3i$	$\leq CgTTref - 2i$	$\leq CgTTref - i$	$\leq CgTTref$	-

Fonte: INMETRO (2021a, p. 48).

Para obter a classificação de eficiência da envoltória do Bloco Infantil, os limites baseados na CgT_{ref} encontrados foram comparados com o valor da CgT_{real} obtido pela interface *web* do metamodelo.

3.3.3 Classificação do Sistema de Condicionamento de Ar (modelo real)

Como o Bloco Infantil não possui aberturas zenitais, vidro em frente das paredes da fachada, fachadas ventiladas, ambientes de elevada geração de carga interna, dispositivos móveis de

sombreamento interno automatizados e vidros com comportamento dinâmico, a INI-C (INMETRO, 2021a) determina que não há necessidade de simulações termoenergéticas.

Diante disto, foi adotado o método simplificado para a avaliação das zonas térmicas condicionadas eletricamente. Para a obtenção da classificação A do sistema de condicionamento de ar do tipo *Split* menor que 19 kW¹¹, todos os equipamentos deverão ser *Split* e unitários, com eficiência mínima, cujo valor do Coeficiente Sazonal de Performance (SCOP)¹² é de 4,1 (INMETRO, 2021a).

Outro item para ser elegível à classificação A de eficiência energética, segundo a INI-C (INMETRO, 2021a), é que o sistema de condicionamento de ar deverá atender ao requisito do isolamento térmico de tubulações para a condução de fluidos. As tubulações do Bloco Infantil atendem a esse requisito, como pode ser visto na Figura 32, por meio da seta vermelha.

Figura 32: Isolamento térmico de tubulações.



Fonte: Acervo da autora (2021).

Como já citado, os dados das tubulações do Bloco Infantil foram levantados junto à empresa que realiza a instalação e a manutenção do sistema de refrigeração na EPC, e como as secções das tubulações variam de 12,7 mm a 16 mm (Quadro 10), tal requisito foi atendido.

Quadro 10: Espessura mínima (mm) de isolamento térmico de tubulações.

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento térmico		Diâmetro nominal da tubulação (mm)		
	Condutividade térmica (W/(m.K))	Temperatura de ensaio (°C)	d ≤ 10	10 < d ≤ 30	d > 30
0 < T < 16	0,032 a 0,040	20	0,9	1,3	1,9

Fonte: Adaptada de INMETRO (2021a).

¹¹ Todos os ares-condicionados do Bloco Infantil são menores que 10.55kW.

¹² Relação entre o perfil de carga térmica ou, a capacidade de retirada pelo sistema de condicionadores de ar, e o consumo de energia necessário para tanto (INMETRO, 2021a).

O valor do Coeficiente de Eficiência Energética do Sistema de Condicionamento de Ar para refrigeração (CEER) foi determinado com base no Coeficiente de Performance para Refrigeração do aparelho de Condicionamento de ar (COPR), que foi obtido junto ao fabricante e calculado através da Equação 13 (INMETRO, 2021a).

$$CEE_R = 1,062 \times COPR \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

CEER é o coeficiente de eficiência energética do condicionamento de ar;

COPR é o coeficiente de performance para refrigeração do aparelho de condicionamento de ar.

A classificação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar baseia-se no Percentual de Redução do Consumo de Refrigeração RedCR (Equação 14) e no grupo climático. Logo, foi considerada a classificação das zonas bioclimáticas proposta por Roriz (2014b), na qual a cidade de Cuiabá pertence ao Grupo 24.

$$RedCR = \frac{(CR,ref - CR,real)}{CR,ref} \times 100 \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:

RedCR é o percentual de redução do consumo de refrigeração (%);

CR,ref é o consumo de refrigeração da edificação na sua condição de referência (kWh/ano);

CR,real é o consumo de refrigeração da edificação real (kWh/ano).

Para calcular o consumo de refrigeração da edificação real (CR,real) (Equação 15), foi necessário obter a CgTTreal.

$$CR,real = \frac{CgTTreal}{CEE_R} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde:

CR,real é o consumo de refrigeração da edificação real (kWh/ano);

CgTTreal é a carga térmica total anual (kWh/ano) da edificação real;

CEER é o coeficiente de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar para refrigeração.

De forma análoga, a CgTTref foi utilizada para o cálculo do consumo de refrigeração da edificação na condição de referência (CR,ref) (Equação 16).

$$CR,ref = \frac{CgTTref}{2,6} \quad (\text{Equação 16})$$

Com o valor do RedCR determinado, foram verificados os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética de acordo com o grupo climático da cidade de Cuiabá e, conseqüentemente, a classificação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar.

3.3.4 Classificação Geral da Eficiência Energética do modelo real

Após a avaliação de todos os sistemas individuais, foi determinada a classificação da eficiência energética geral do Bloco Infantil, mediante o cálculo do consumo de energia primária da edificação real, por meio da Equação 17.

$$CEPT,real = (CEE,real \times fcE) + (CET,real \times fcT) \quad (\text{Equação 17})$$

Onde:

CEPT, real é o consumo de energia primária total da edificação real, sem a parcela relativa à geração de energia renovável (kWh/ano);

CEE, real é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

CET, real é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

fcE é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

fcT é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

Na seqüência, este consumo deve ser comparado ao consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (CEP,ref), determinado conforme da Equação 18, para a cidade de Cuiabá (grupo climático 24).

$$CEP,ref = CEE,ref \times fcE \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

CEP, ref é o consumo de energia primária na condição de referência (kWh/ano);

CEE, ref é o consumo total de energia elétrica na condição de referência (kWh/ano);

fcE é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária.

Definidos o grupo climático e o fator de forma da edificação (Equação 11), é necessário obter o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (CRCEPD-A) por meio das tabelas do anexo A. Com isso, os intervalos "i" de classificação do consumo de energia primária são determinados por meio da Equação 19.

$$i = \frac{CEP,ref \times CRCEPD-A}{3} \quad (\text{Equação 19})$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;
 CEP,ref é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);
 CRCEPD-A é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

Uma vez obtido o valor de “*i*”, este foi substituído no Quadro 11 abaixo, a fim de determinar os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.

Quadro 11: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.

Classif. de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> C_{EP,ref} - 3i$	$> C_{EP,ref} - 2i$	$> C_{EP,ref} - i$	$> C_{EP,ref}$
Limite inferior	$\leq C_{EP,ref} - 3i$	$\leq C_{EP,ref} - 2i$	$\leq C_{EP,ref} - i$	$\leq C_{EP,ref}$	–

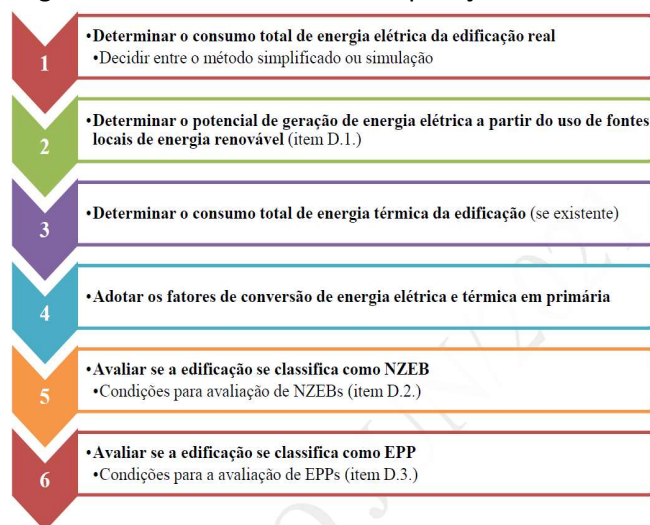
Fonte: INMETRO (2021a, p. 39).

3.3.5 Energia *on-site* e emissão de CO₂ do modelo real

A INI-C apresenta os critérios para a avaliação do uso de sistemas de geração de energia local por meio de fontes de energia renováveis através dos parâmetros para avaliação da edificação quanto à geração de energia local que são: Geração local de energia renovável; Consumo de energia elétrica; Consumo de energia térmica (LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME, 2021).

Para o Bloco Infantil foi desconsiderado o consumo de energia térmica, pois não há esta fonte de energia no local. Segundo a INI-C (INMETRO, 2021a), a avaliação do uso de sistemas de geração de energia local por meio de fontes de energia renováveis, bem como a avaliação de NZEBs e Edificações de Energia Positiva (EPPs), devem ser realizadas conforme o fluxo de trabalho de aplicação do Anexo D (Figura 33) (LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME, 2021).

Figura 33: Fluxo de trabalho de aplicação do Anexo D.



Fonte: LABEEE/CB3E/ELETROBRAS/PROCEL/MME (2021, p. 223).

Para o sistema de energia *on-site* de energia renovável do modelo real, foi calculado o consumo anual da edificação real, depois escolhida a instalação de painéis solares na edificação avaliada (Bloco Infantil). Também foi atendido o requisito do sistema estar conectado ao relógio medidor de energia da edificação.

Para ambos os modelos (real e hipotético), o percentual de redução das emissões de dióxido de carbono (PCO_2) foi obtido por meio da equação 22.

$$PCO_2 = \left[\frac{ECO_{2,real}}{ECO_{2,ref}} - 1 \right] \times 100 \quad (\text{Equação 20})$$

Onde:

PCO_2 é o percentual de redução ou acréscimo de dióxido de carbono (%);

$ECO_{2,real}$ é a emissão total de dióxido de carbono da edificação real (tCO_2 /ano);

$ECO_{2,ref}$ é a emissão total de dióxido de carbono da edificação em sua condição de referência (tCO_2 /ano).

Caso o resultado do PCO_2 seja negativo, há uma redução nas emissões de CO_2 . Caso o resultado seja positivo, há um aumento nas emissões de CO_2 em relação à edificação de referência (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

3.4 Etapa 4: Simulações dos modelos tridimensionais

Nesta etapa foram realizadas simulações utilizando o *software DIALux evo*, que permite a simulação de diferentes cenários, sob a condição tanto da luz natural como da elétrica. Além disso, as normativas internacionais disponíveis na configuração do *software* são compatíveis com a NBR ISO 8995 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

Foram feitas três simulações, sendo a primeira destinada à iluminação natural, com o objetivo de avaliar o excesso ou a falta de luz, a ocorrência de sombras e/ou ofuscamento. A segunda simulação foi destinada à luz elétrica e a terceira, à integração entre ambas.

Foi construído um modelo 3D representando as condições reais do Bloco Infantil. As cores das paredes, pisos e tetos, bem como todos os mobiliários utilizados foram baseados nas informações obtidas durante o levantamento iconográfico. Foram realizadas simulações para o plano horizontal em um período da manhã (9h30) e dois horários da tarde (15h30 e 17h30), tanto para o solstício de verão como para o solstício de inverno.

Também foi construído outros modelos 3D baseado no modelo real, mas representando as condições de melhorias no Bloco Infantil (modelo hipotético). No cenário 01 foi realizada a

desobstrução das janelas da sala 01 e inserção de janelas de duas janelas altas instalada (Figura 34) a 1,2m do piso acabado de vidro 6mm na sala 02.

Figura 34: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural através das janelas altas.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No cenário 02 foram inseridas as prateleiras de luz medindo em todas as salas de 1,6m (Figura 35), sendo 0,8m na parte da prateleira voltada para o ambiente interno e 0,8m externo, visando que a luz natural adentrasse o ambiente com maior profundidade. A escolha do material foi de concreto e na cor branca (grau de reflexão de 86%).

Figura 35: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural no inverno com prateleiras de luz às 16h – Sala 05.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

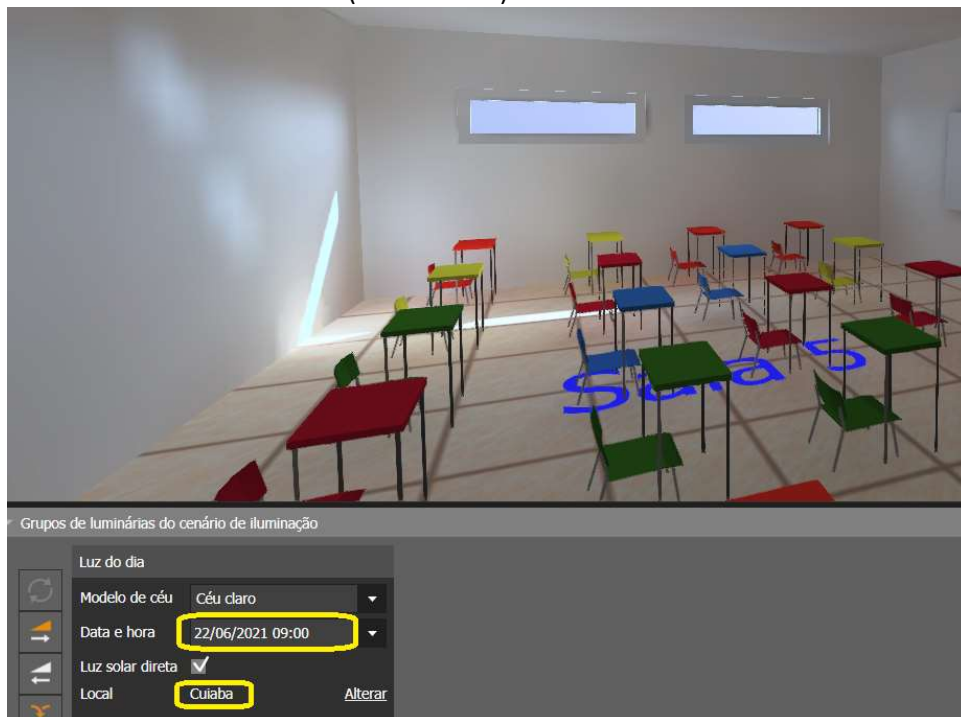
No cenário 03 foram realizados três tipos de simulações com lâmpadas LEDs diferentes e foi escolhida a mais eficiente com de 112lm/W e que atendeu a todos os requisitos normativos, com IRC de 80, 4000K, 1952 lm, 70.000h de vida útil.

No cenário 04 outros estudos foram feitos para definir o modelo hipotético como, mudança nas cores das paredes e pisos, além de simulações com prateleiras de luz em todas as salas. No entanto, tais alterações trouxeram poucos avanços para a iluminação, por isso optou-se somente pelas melhorias das salas 01 e 02 mencionadas. Depois foram realizadas simulações para o plano horizontal no mesmo período e horários do modelo real, tanto para o solstício de verão como para o solstício de inverno.

3.4.1 Simulação 1: Iluminação Natural (modelo real)

Na simulação 1 foi analisado o desempenho do sistema para captação da luz natural no Bloco Infantil. Para tanto, foi feita uma primeira simulação, para o solstício de inverno, com o céu claro para o dia 22 de junho às 09h (Figura 36) e também para às 16h.

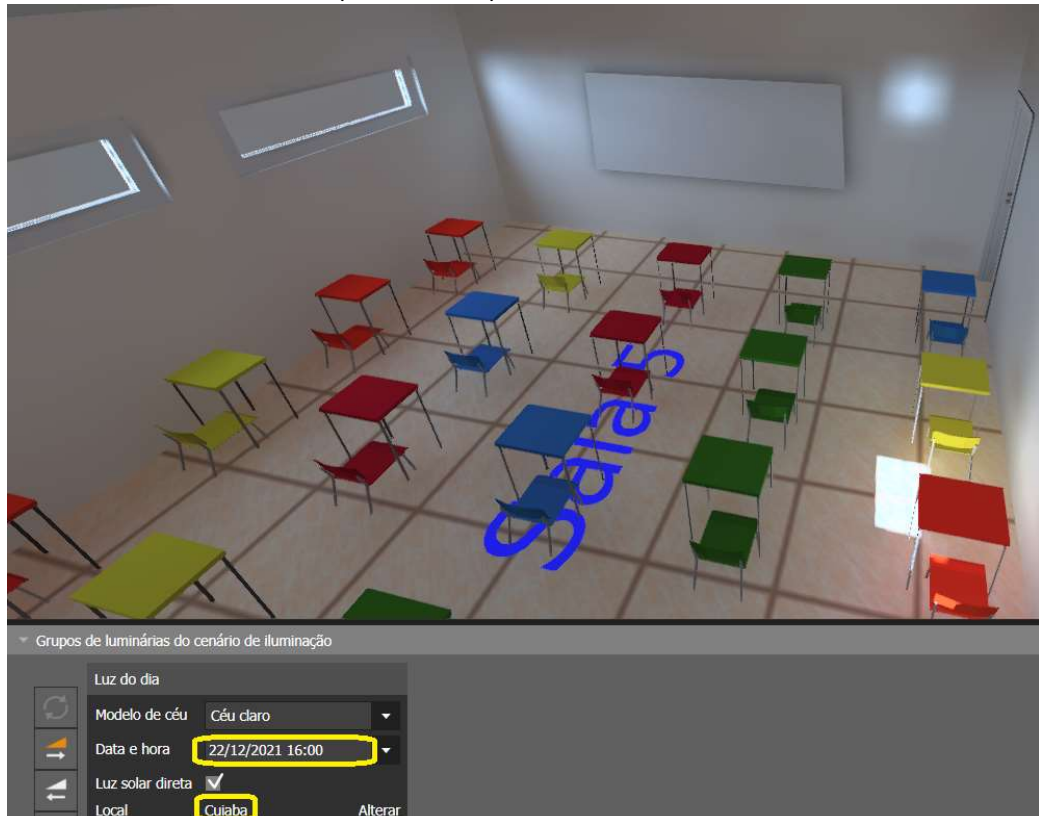
Figura 36: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural no solstício de inverno às 9h (modelo real) – Sala 05.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Para análise do comportamento da luz solar, em seguida foram feitas simulações para o solstício de verão, dia 22 de dezembro às 9h e depois às 16h também para o céu claro (Figura 37). Os resultados de iluminância foram inseridos em planilhas para análise posterior.

Figura 37: Configuração do ambiente para a simulação da luz natural no solstício de verão 16h (modelo real) – Sala 05.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.4.2 Simulação 2: Iluminação Elétrica (modelo real)

Assim como no caso anterior, na simulação 2 foi demonstrada a condição real da iluminação elétrica (modelo real). Além das curvas de iluminância geradas pelas lâmpadas fluorescentes, analisou-se o fator de uniformidade e também ofuscamento. Para isto, foi feita uma modelagem tridimensional com todos os mobiliários presentes nos locais avaliados, como mesas, cadeiras e armários (Figura 38) e também suas cores. Foram consideradas ainda as lâmpadas queimadas, pois foi relatado por funcionários da escola que este é um fato recorrente, visto que, praticamente toda semana há lâmpadas queimadas. Destaca-se que essa ocorrência deveria ser investigada através de analisadores de energia ou até mesmo por meio da inspeção da qualidade das lâmpadas LEDs adquiridas.

Figura 38: Mobiliários presentes na sala da coordenação.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.4.3 Simulação 3: Iluminação Natural e IASP (modelo real)

Na simulação 3 foi realizada a análise do desempenho dos sistemas de iluminação natural e elétrica, atuando em conjunto e também inserindo tais dados em planilha; da mesma maneira o fator de uniformidade e também ofuscamento.

Após as inserções das luminárias com características e tecnologias iguais às do levantamento iconográfico, nesta etapa foi apenas configurado o *software* para o céu claro e a simulação foi realizada igualmente a simulação 1, ou seja, solstício de inverno, para o dia 22 de junho às 09h e às 16h e solstício de verão para o dia 22 de dezembro às 9h (Figura 39) e às 16h.

Figura 39: Configuração do ambiente para a simulação da IASP (sala 05), solstício de verão às 9h.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.4.4 Simulação 4: Iluminação Natural (modelo hipotético)

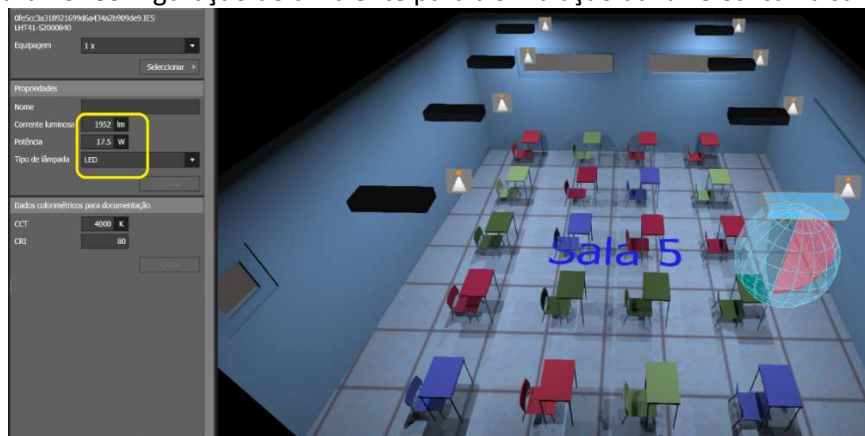
A simulação 4 consistiu na análise dos 02 cenários. Todos os cenários foram configurados para o céu claro e realizadas para o solstício de inverno, para o dia 22 de junho às 09h e às 16h e solstício de verão para o dia 22 de dezembro às 9h e às 16h. Os cenários 03 e 04 consistiu na inclusão das lâmpadas e para estas simulações foram consideradas somente a luz natural. Nesta etapa desconsiderou-se as prateleiras de luz, visto que elas não trouxeram resultados eficazes, em termos de distribuição da luz no ambiente, para nenhuma orientação solar (janelas que estão ao Sul e ao Norte).

3.4.5 Simulação 6: Iluminação Elétrica (modelo hipotético)

Foram realizados três tipos de simulações (cenário 03) com lâmpadas LEDs diferentes e escolhida a mais eficiente e que atendeu a todos os requisitos normativos. Primeiramente as lâmpadas fluorescentes foram substituídas por *plafons* quadrados de 60cm em LED. Foram utilizados os mesmos *plafons* para todas as salas, com IRC 80 (mínimo para ambiente de trabalho), temperatura de cor neutra de 4000K, fluxo luminoso de 3600 lm, 29W e fp 0,92. Repetiu-se a simulação com outra luminária mais eficiente, sendo escolhido o painel de sobrepor redondo, com IRC de 80, 2000 lm, 4000K com rendimento de 108,2 lm/W.

A terceira simulação foi realizada com a luminária escolhida, sendo estes painéis LEDs de sobrepor retangular (Figura 40) de 112lm/W, com IRC de 80, 4000K, 1952 lm, 70.000h de vida útil, com eficiência superior a segunda luminária, ou seja, sendo esta a de maior durabilidade entre as 3 luminárias. As lâmpadas foram padronizadas em oito unidades por salas de aula, já que as áreas das salas são praticamente iguais.

Figura 40: Configuração do ambiente para a simulação da luz elétrica na sala 05.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.4.6 Simulação 6: Iluminação Natural e IASP (modelo hipotético)

Para essa simulação, que é o cenário 04, foram considerados sensores de presença, *dimmers* que permitiram o controle do fluxo e da temperatura de cor das lâmpadas. Para cada sala de aula, sala da coordenação e dos professores foram realizadas simulações com as lâmpadas próximas as janelas desligadas, ou seja, divisões de circuitos através de interruptores de duas teclas, que permitiram a integração com a iluminação natural, visto que atualmente este último não é possível na EPC. Para tanto, foi feita uma primeira simulação, para o solstício de inverno, com o céu claro para o dia 22 de junho às 09h e também para às 16h. Posteriormente também para o céu claro, mas agora para o solstício de verão, dia 22 de dezembro às 9h e depois às 16h.

3.5 Etapa 5: Classificação Energética pela INI-C do modelo hipotético

Nesta etapa, foi realizada a classificação da eficiência energética para o modelo hipotético dos sistemas de iluminação e condicionadores de ar, pois a envoltória já obteve a máxima classificação energética. Para isso, foram adotados os mesmos procedimentos para a classificação do modelo real, porém, com a desobstrução da sala 01 e inclusão das janelas altas na sala 02. Para posteriormente realizar a classificação geral da edificação. O Consumo de Energia Primária Total da Edificação Real ($CEPT_{,real}$) foi determinado sem a parcela relativa à energia gerada por fontes locais de energia renovável, conforme a Equação 20.

$$CEPT_{,real} = (CEE_{,real} \times fcE) + (CET_{,real} \times fcT) \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

$CEPT_{,real}$ é o consumo de energia primária total da edificação real, sem a parcela relativa à geração de energia renovável (kWh/ano);

$CEE_{,real}$ é o consumo total de energia elétrica da edificação real (kWh/ano);

$CET_{,real}$ é o consumo total de energia térmica da edificação real (kWh/ano);

fcE é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

fcT é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

Os intervalos de classificação do consumo de energia primária são definidos a partir da variável “ i ”, determinada por meio da Equação 21.

$$i = \frac{(CEP_{,ref} \times CRCEPD - A)}{3} \quad (\text{Equação 22})$$

Onde:

i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

$C_{EP,ref}$ (Equação 18) é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

CRCEPD-A é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

A classificação geral da edificação é determinada por meio da comparação entre os valores de $C_{EP,real}$ e os " i ", inseridos no Quadro 12, identificando assim a classificação de eficiência energética geral.

Quadro 12: Classificação geral da edificação.

Classif. de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> C_{EP,ref} - 3i$	$> C_{EP,ref} - 2i$	$> C_{EP,ref} - i$	$> C_{EP,ref}$
Limite inferior	$\leq C_{EP,ref} - 3i$	$\leq C_{EP,ref} - 2i$	$\leq C_{EP,ref} - i$	$\leq C_{EP,ref}$	–

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

3.5.1 Energia *on-site* de Energia Renovável para o modelo hipotético e emissão de CO₂

Para o cálculo da energia *on-site* do modelo hipotético foi considerado os sistemas após elevar sua eficiência energética, ou seja, após a redução do seu consumo anual. Como mencionado o Cálculo do percentual de redução das emissões de dióxido de carbono (PCO₂) foi obtido por meio da Equação 22.

3.6 Etapa 6: Diagnóstico

Nesta etapa foram realizadas as análises dos resultados obtidos em todas as etapas anteriores. Foram levadas em consideração as mudanças necessárias na edificação real, para que o Bloco Infantil obtivesse a classificação máxima de eficiência energética e estivesse apto para a incorporação de sistemas para a energia *on-site* de energia renovável. Por fim, apresentadas as conclusões do trabalho para que as análises dos resultados obtidos possam cumprir as normas da ABNT e mitigar os impactos ambientais por meio da redução do consumo de energia elétrica, aplicando a nova regulamentação do PBE Edifica, a INI-C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objeto de estudo desta pesquisa possui características comuns às demais escolas de ensino infantil, com figuras nas paredes, carteiras coloridas e armários para guardar brinquedos. Porém, como a escola foi comprando os terrenos vizinhos e fazendo ampliações, a construção possui algumas particularidades, como a não padronização das janelas e a diferença na quantidade de lâmpadas instaladas em ambientes com áreas semelhantes e com a mesma função. Na sequência serão apresentados os aspectos qualitativos baseados no levantamento físico e iconográfico dos ambientes e também os aspectos quantitativos baseados no levantamento *in loco*.

4.1 Aspectos Qualitativos

4.1.1 Levantamento Físico e Iconográfico dos Ambientes

Todas as salas de aula do Bloco Infantil da EPC possuem as mesmas características, com o teto de fibra mineral e pintado na cor branca e as paredes na cor branco gelo com diversos cartazes coloridos fixados. Os pisos também são branco gelo, porém, em um tom mais escuro. No pavimento térreo o piso é de cerâmica e no pavimento superior é do tipo porcelanato. As carteiras têm 52cm de altura, 45cm de comprimento e 35cm de largura e, assim como as cadeiras, possuem o tampo em diversas cores (Figura 41 – esquerda). A sala do maternal, localizada no térreo, possui mobiliário diferente das demais (Figura 41 - direita), com mesas redondas de 50cm de altura e com tampos em diversas cores, assim como as cadeiras, de 30cm de altura. Esta sala é a que mais apresenta figuras nas paredes, incluindo fotografias dos alunos.

Figura 41: Mobiliário das salas de aula (esquerda) e sala do maternal (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

As salas 03, 04, 07 e 08 contam com duas aberturas laterais, cujas esquadrias de alumínio possuem venezianas. Estas aberturas possuem dimensões de 1m x 1,5m e estão instaladas a 1,2m do piso acabado, sem nenhum tipo de obstrução permanente. Durante o levantamento, foi constatado que a luz solar captada por estas janelas causa brilho intenso no quadro branco (Figura 42a) e incide diretamente em algumas carteiras em determinadas horas do dia (Figura 42b). Mesmo a janela tendo essa área, é possível ter o vão livre em apenas metade dela, já que as folhas correm nessa área da janela. Como a luz solar penetra no ambiente apenas pela metade do vão que está livre, na etapa de simulação do modelo real considerou-se somente 50% destas aberturas.

Figura 42: a) Brilho intenso no quadro (esquerda). b) Incidência direta da luz nas carteiras (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

Contudo, ao fechar as janelas para diminuir o brilho, foi verificado que esta não era uma solução viável (Figura 43a), pois a falta de iluminação no ambiente torna necessário o acionamento da iluminação elétrica (Figura 43b).

Figura 43: a) Sala com janelas fechadas (esquerda). b) Sala com acionamento da luz elétrica (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

A sala 02 possui suas aberturas com a mesma dimensão daquelas usadas nas salas 03, 04, 07 e 08, porém, tais aberturas não contam com esquadria de alumínio com veneziana e estão voltadas para o corredor (Figura 44a). Nesta sala há uma persiana verde escura e como os corredores não têm acesso à iluminação natural, esta sala necessita constantemente da luz elétrica (Figura 44b).

Figura 44: a) Local da sala 02 em retângulo vermelho (esquerda). b) Sala 02 com janela para o corredor (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

A sala dos professores também possui três aberturas (Figura 45a) que são semelhantes às da sala 02, mas não conta com persianas instaladas, pois estas aberturas estão voltadas para uma área coberta (Figura 45b).

Figura 45: a) Configuração do ambiente para a simulação do modelo 3D das aberturas da sala dos professores (esquerda). b) Foto das duas janelas laterais da sala dos professores (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

As salas 01, 05 e 06 possuem duas janelas altas instaladas a 1,6m do piso acabado, com dimensões de 2m x 60cm. As aberturas das salas 05 e 06 (Figura 46) não possuem nenhum tipo de obstrução permanente, porém, na sala 01, as janelas são encobertas por um muro com altura superior a 1,8m.

Figura 46: Configuração do ambiente para a simulação do modelo 3D indicando a posição da sala 05 (esquerda) e melhoria no brilho no quadro devido a tela solar (direita).



Fonte: Acervo da autora (2022).

Na Figura 47a é possível observar que as aberturas 05 e 06 que possuem uma tela solar de poliéster e Policloreto de Vinila (PVC), que filtram os raios ultravioleta (Figura 47b). Foi constatado, a partir de observações pessoais durante o levantamento *in loco*, que esta tela auxilia no controle do brilho intenso no quadro, como pode ser verificado na Figura 47 (direita).

Figura 47: a) Configuração do ambiente para a simulação do modelo 3D da posição da sala 06 (esquerda). b) Janela da sala 06 com tela solar.



Fonte: Acervo da autora (2021).

Foram verificadas duas lâmpadas queimadas, sendo uma na sala 03 (Figura 48a) e outra na sala 08 (Figura 48b). Ambas as lâmpadas são do tipo fluorescente compacta.

Figura 48: Lâmpadas queimadas: a) sala 03 (esquerda). b) sala 08 (direita).



Fonte: Acervo da autora (2021).

As lâmpadas possuem temperatura de cor fria, variando de 6000K a 6500K, e estão fixadas em luminárias de sobrepor do tipo *plafon* de 12cm de diâmetro E27 em termoplástico.

Em relação à envoltória, o piso do Bloco Infantil não contém isolamento, a cobertura é de telha termoacústica com PVC, as paredes externas são em bloco cerâmico e revestidas por argamassa tanto na parte interna como externa e as aberturas possuem vidro simples incolor de 6mm (Figura 49).

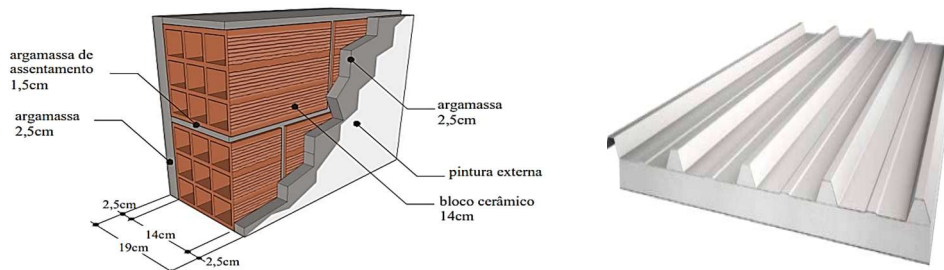
Figura 49: Características da envoltória do Bloco Infantil (condição real).



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A parede externa é composta por argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (14 cm x 19 cm x 29 cm) e argamassa externa (2,5 cm) (Figura 50a). A telha termoacústica possui camada interna em Poliestireno Expandido (EPS) de 50mm de espessura e é feita de filme de alumínio branco de 0,43mm (Figura 50b).

Figura 50: a) Composição da parede externa. b) Telha termoacústica.



Fonte: Componentes... (2021).

O Quadro 13, a seguir, contém outros parâmetros obtidos no levantamento e que são essenciais para a caracterização da envoltória.

Quadro 13: Parâmetros de avaliação da envoltória do modelo real.

Parâmetros	Condição Real
Área (m ²)	520
Orientação solar	Norte
Pé-direito (piso a teto) (m)	2,6
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	0,25
Parede	Condição Real
Upar - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	1,85
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	> 0,6 (NBR 15574-4)
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m ² K)	161
Cobertura	Condição Real
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	0,7
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	0,4
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	145,0
Vidro	Condição Real
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/m ² K)	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	0
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)*	0
Iluminação e ganhos	Condição Real
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	9,2
Ocupação (m ² /pessoa)	1,653846154
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	13,25
Horas de ocupação (horas)	8
Dias de ocupação (Nano)	200

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

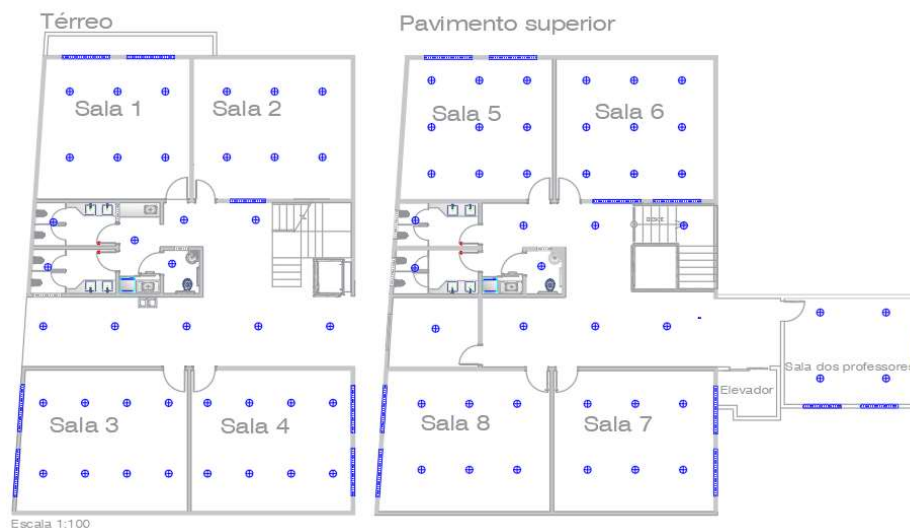
Como já apontado, para o sistema de condicionadores de ar foi verificada a classe de eficiência energética dos aparelhos e foi constatado que a escola já está fazendo a substituição dos

equipamentos de baixa eficiência (Classe D) para o da Classe A. Porém, de forma gradativa quando os equipamentos existentes necessitam serem substituídos.

4.2 Aspectos Quantitativos

Conforme mencionado, mesmo as salas de aula possuindo áreas semelhantes, as luminárias foram dispostas de formas diferentes. As luminárias das salas de aula 01, 02, 07 e 08 foram instaladas em duas fileiras, sendo 03 luminárias por fileira (Figura 51). Essas luminárias são acionadas por meio de um interruptor simples de duas teclas.

Figura 51: Planta das salas com distribuição das luminárias.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Nas salas 03 e 04 (Figura 49) foram instaladas 08 luminárias, divididas em duas fileiras. Na sala 03 o acionamento é feito por um interruptor simples de uma tecla e na sala 04 o acionamento ocorre por meio de um interruptor simples de duas teclas. Já nas salas 05 e 06 (Figura 49), foram dispostas 09 luminárias distribuídas em 03 fileiras, que também são acionadas por um interruptor simples de duas teclas. Na sala da coordenação, cuja área é de 11 m², há somente uma lâmpada central. Na sala dos professores, de área igual a 35m², foram instaladas 04 lâmpadas.

Com o levantamento das lâmpadas utilizadas, verificou-se que o Bloco Infantil possui 88 pontos de iluminação, sendo que 67% destes pontos contam com lâmpadas fluorescentes compactas (FLC) e 33% com a tecnologia LED. Por meio do fluxo luminoso das luminárias e as suas potências em Watts foram calculadas as eficiências luminosas das lâmpadas e os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo da eficiência luminosa.

Piso	Ambiente	LED	LED	LED	FLC	FLC	FLC	FLC
		810 lm 15 W	1800 lm 20 W	2700 lm 30 W	2400 lm 25 W	1940 lm 34 W	2700 lm 45 W	3480 lm 58 W
Térreo	Sala 01		1			3		2
Térreo	Sala 02		2	1		2		1
Térreo	Sala 03					6	2	
Térreo	Sala 04	2			1	4		
Pavimento superior	Sala 05	9						
Pavimento superior	Sala 06	8	1					
Pavimento superior	Sala 07		2	1		3		
Pavimento superior	Sala 08					6		
Pavimento superior	Hall e WC	1			7			
Comuns	Corredores				8			
Térreo	Arandelas				6			
Térreo	Parquinho				3			
Pavimento superior	Demais salas.		1			4		
Térreo	Almox.					1		
Eficiência		54	90	90	96	57	60	60

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

É possível observar que 54 das 88 lâmpadas, ou seja, 61,3%, possuem uma eficiência luminosa extremamente baixa (maior ou igual a 60lm/W). Deste total, 59,1% estão instaladas nas salas de aula, coordenação e sala dos professores. A PIU (W) do Bloco Infantil é de 2.375W (Tabela 6).

Tabela 6: Potência de Iluminação em Uso PIU (W) do Bloco Infantil.

Piso	Ambiente	LED 15 W	LED 20 W	LED 30W	FLC 25 W	FLC 34 W	FLC 45 W	FLC 58 W	PIU
Térreo	Sala 01		1			3		2	238
Térreo	Sala 02		2	1		2		1	196
Térreo	Sala 03					6	2		294
Térreo	Sala 04	2			1	4			191
Pavimento Superior	Sala 05	9							135
Pavimento Superior	Sala 06	8	1						140
Pavimento Superior	Sala 07		2	1		3			172
Pavimento Superior	Sala 08					6			204
Pavimento Superior	Hall/WC	1			7				190
Áreas comuns					8				200
Arandelas					6				150
Parquinho					3				75
Sala Prof./Coord.			1			4			156
Almoxarifado						1			34
PIU (W)									2.375

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.2.1 Aferição 1: Iluminação Natural

Por meio das medições *in loco*, foi realizada as aferições das iluminâncias referentes à iluminação natural e depois calculada a média da iluminância de cada sala de aula, sala dos professores, coordenação e APTs (Tabela 7). Com isso, pode-se verificar que a Sala 02, WC do pavimento superior, o corredor do térreo e do pavimento superior não atingem os 60 lux normatizados.

Tabela 7: Média das iluminâncias iluminação natural.

Local	Iluminância (lux)	Observação
Sala 01	281	
Sala 02	10	Janela voltada para o corredor
Sala 03	241	
Sala 04	225	
Sala 05	1.128	Possui iluminação suplementar
Sala 06	1.406	Possui duas janelas voltadas para o corredor
Sala 07	314	
Sala 08	439	
Sala dos professores	562	
Coordenação	280	
WC Térreo	205	
Corredor do Térreo	58,6	
Corredor do Pavimento Superior	5	Não possuem iluminação natural
WC do Pavimento superior	10	Não possuem iluminação natural

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Na imagem, nota-se que os corredores de circulação interna estão escuros (Figura 52a e 52b), sendo necessário o acionamento da iluminação elétrica. As demais salas atendem ao mínimo exigido pela norma.

Figura 52: a) Corredor do térreo. b) Corredor do piso superior.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

As salas 05 e 06 ultrapassam os 1.000 lux de média da iluminância, porém, na sala 06 as telas, de poliéster e pvc instaladas para controlar a radiação solar incidente no ambiente interno, amenizam o brilho intenso no quadro. Porém na sala 05, que possui iluminação suplementar sem esta tela, o quadro branco fica com um brilho intenso.

4.2.2 Aferição 2: Iluminação Elétrica

Assim como na aferição anterior, por meio das medições *in loco*, foi calculada a média da iluminância referente à iluminação elétrica das salas de aula, sala dos professores, coordenação e APTs (Tabela 8).

Tabela 8: Média das iluminâncias iluminação elétrica.

Local	Iluminância (Lux)	Observação
Sala 01	336	
Sala 02	293	
Sala 03	231	
Sala 04	206	
Sala 05	504	Possui iluminação suplementar
Sala 06	468	
Sala 07	288	
Sala 08	303	
Sala dos professores	543	
Coordenação	202	Não possui cortinas, portanto a medição é da IASP
WC do Térreo	215	
Corredor do térreo	105	
Hall do Pavimento superior	80	Não possui iluminação natural
WC do Pavimento superior	100	Não possui iluminação natural

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A média das iluminâncias da luz elétrica mostra que o corredor do pavimento superior não atinge o mínimo requerido pela norma (Tabela 8) e que quatro salas de aula (02,03,04 e 07) e a sala da

coordenação não chegam ao valor mínimo normatizado de 300 lux. A sala dos professores possui somente uma cortina instalada, porém, não existe excesso de luz natural, já que as aberturas estão sob uma cobertura (varanda) (Figura 53).

Figura 53: Janela voltada para o leste na sala dos professores.



Fonte: Acervo da autora (2021).

4.2.3 Aferição 3: Iluminação Natural e IASP

O mesmo procedimento foi realizado para as médias das iluminâncias da aferição para a condição de iluminação natural e elétrica juntas (Tabela 9).

Tabela 9: Média das iluminâncias iluminação natural e IASP.

Iluminação Natural e Elétrica		
Local	Iluminância (Lux)	Observação
Sala 01	364	
Sala 02	293	Valor igual ao aferido para iluminação elétrica
Sala 03	246	
Sala 04	238	
Sala 05	1.109	Possui iluminação suplementar
Sala 06	1.864	Possui duas janelas voltadas para o corredor
Sala 07	332	
Sala 08	451	Não possui cortinas, portanto a medição é da IASP
Sala dos professores	543	
Coordenação	350	
WC	215	Não possui cortinas, portanto a medição é da IASP
Corredor pavimento superior	80	Não possui iluminação natural
WC	100	Não possui iluminação natural

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A sala 02 não varia a média da iluminância quando a janela é aberta, pois, como já mencionado, esta abertura é voltada para o corredor. Devido à tipologia das janelas, as salas 03 e 04 não atingiram o mínimo de iluminância quando estas foram abertas. Já as salas 05 e 06 apresentaram excesso de luz sem a tela solar (Figura 45b).

Ao analisar as três aferições (Tabela 10), é possível perceber que a sala da coordenação melhora a iluminância com as janelas abertas. É possível observar também uma necessidade da luz elétrica nos corredores permanentemente.

Tabela 10: Tabela resumo das iluminâncias com demarcação das medições que não atingiram 300lx.

Iluminação Natural		Iluminação Elétrica		Iluminação Natural e Elétrica	
Local	Iluminância (Lux)	Local	Iluminância (Lux)	Local	Iluminância (Lux)
Sala 01	281	Sala 01	336	Sala 01	364
Sala 02	10	Sala 02	293	Sala 02	293
Sala 03	241	Sala 03	231	Sala 03	246
Sala 04	225	Sala 04	206	Sala 04	238
Sala 05	1.128	Sala 05	504	Sala 05	1.109
Sala 06	1.406	Sala 06	468	Sala 06	1.864
Sala 07	314	Sala 07	288	Sala 07	332
Sala 08	439	Sala 08	303	Sala 08	451
Sala dos professores	562	Sala dos professores	543	Sala dos professores	543
Coordenação	280	Coordenação	202	Coordenação	350
WC do térreo	205	WC do térreo	215	WC do térreo	215
Corredor do térreo	58	Corredor do térreo	105	Corredor do térreo	105
Hall do pavimento superior	5	Corredor piso superior	80	Corredor piso superior	80
WC do pavimento superior	10	WC do pavimento superior	100	WC do pavimento superior	100

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.3 Classificação Energética do modelo real

Foram classificados os sistemas de iluminação, a envoltória e o sistema de condicionamento de ar, para posteriormente realizar a classificação geral da edificação. Após essas classificações, foi

calculada a quantidade de painéis solares para a energia *on-site* de energia elétrica e as emissões de CO₂. A partir desses dados foi possível estabelecer uma comparação com o modelo hipotético, para verificar os ganhos obtidos em relação ao consumo energético e à emissão de CO₂.

4.3.1 Sistema de Iluminação Real

Por meio dos cálculos, foi possível verificar que as alturas das vergas apresentaram uma constante de 2,10m e o PI entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível calculado foi de 11,8% (Tabela 11). O cálculo da integração entre a luz natural e a elétrica é obrigatório para a classificação A do sistema, porém, não existem valores máximos ou mínimos estabelecidos pela INI-C.

Tabela 11: Potencial de Integração (PI) entre o sistema de iluminação e a luz natural disponível.

Salas	Altura das janelas em relação ao piso	Altura janela	Largura da janela	Altura da verga	0,5 HV	Largura da janela + 0,5 HV	Zonas primárias de cada abertura lateral	Zonas primárias parcial	Zonas primárias	PI
03, 04, 07 e 08	1,2	1,00	0,75	2,20	1,10	1,85	4,07	16,28	61,5	0,118
05 e 06	1,6	0,60	2,00	2,20	1,10	3,10	6,82	27,28		
Iluminação suplementar/ Sala 06	1,6	0,60	0,60	2,20	1,10	1,70	3,74	3,74		
Sala dos professores	1,2	1,00	0,75	2,20	1,10	1,85	4,07	12,21		
Coordenação	1,2	1,00	0,75	2,20	1,10	1,85	4,07	2,035		

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A PITreal (Equação 6) foi calculada segundo o somatório entre a PIU e a PASP (Equação 7), uma vez que o Bloco Infantil não possui nem projeto luminotécnico nem dispositivo de controle automatizado. O resultado encontrado para a PITreal foi equivalente a 4,78kW.

$$\text{PITreal} = \Sigma (\text{PIU}) + \Sigma (\text{PI}) + \text{PASP}$$

$$\text{PITreal} = (2375 \times 2) + 34,875$$

$$\text{PITreal} = 4750 + 34,875$$

$$\text{PITreal} = \mathbf{4.784,875 \text{ W}}$$

O coeficiente “i”, que representa os intervalos entre as classificações, calculado conforme a Equação 10, foi de 2,27. Uma vez obtido esse valor, foi calculada a densidade de potência, através da razão entre PITreal (4.784,875 W) e AI (520m²). O resultado encontrado foi de 9,20W/m². Como esse valor está entre 8,7 W/m² e 10,97 W/m², o sistema de iluminação do Bloco Infantil pode ser classificado como Classe “B” (Quadro 13).

Quadro 13: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para escola.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 8,70	> 10,97	> 13,23	> 15,5
Limite inferior	< 8,7	≤ 10,97	≤ 13,23	≤ 15,5	-

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A Classe “B” de eficiência energética é considerada boa, mas quando se compara com os valores das iluminâncias aferidas *In loco*, é possível verificar que o sistema de iluminação não está adequado. Portanto, considerar apenas a classificação Energética pela INI-C não significa a garantia da qualidade do sistema, porém a portaria exige que as normas da ABNT vigentes sejam cumpridas, o que não foi o caso do Bloco Infantil.

4.3.2 Envoltória

Para a avaliação da envoltória pelo método simplificado, o primeiro passo foi obter os parâmetros construtivos, físicos, geométricos e de carga interna da edificação em sua condição real, os quais foram inseridos em uma planilha.

Também foram comparados os dados da envoltória em sua condição real com a condição de referência (Quadro 14) por meio dos limites dos parâmetros de avaliação da envoltória pelo método simplificado, para verificar se o método poderia ser aplicado ou não. O Percentual de Área de Abertura na Fachada (PAF), da Condição real, foi calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada de cada fachada de uma zona térmica e a área total de fachada da mesma zona térmica, cujo resultado foi de 25%.

Quadro 14: Envoltória em sua condição real e de referência.

Parâmetros	Condição real	Condição de referência
Área (m ²)	520	520
Orientação solar	Norte	Norte
Pé-direito (piso a teto) (m)	2,6	2,6
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	0,25	0,4
Parede	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (14 cm x 19 cm x 29 cm), argamassa externa (2,5 cm)	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)
Upar - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	1,85	2,39
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	> 0,6 (NBR 15574-4)	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/m ² K)	161	150
Cobertura	Forro Fibra Mineral 1250mm com telha termoacústica de 50mm.	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje de concreto (10 cm)
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	0,7	2,06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	0,4	0,2-0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	145,0	233
Vidro	Vidro simples incolor 6mm	Vidro simples incolor 6mm
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	0,82	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/m ² K)	5,7	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	0	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	0	0
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)*	0	0
Iluminação e ganhos	-	-
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	9,2	15,5
Ocupação (m ² /pessoa)	1,653846154	2,5 (para educação infantil)
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)	13,25	15
Horas de ocupação (horas)	8	8
Dias de ocupação (Nano)	200	200

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O valor determinado do CRCgTTD-A foi de 0,08, e o FF foi calculado pela divisão entre a área da envoltória e o volume total da edificação, cujo foi de 0,32.

Com base no FF e sabendo que Cuiabá está inserida no grupo climático 24, obteve-se o valor de CRCgTTD-A igual a 0,09 para edificações educacionais (Figura 54). Foi desconsiderada a fração de

horas de desconforto, uma vez que não foi considerado o aproveitamento da ventilação natural (edificações condicionadas eletricamente).

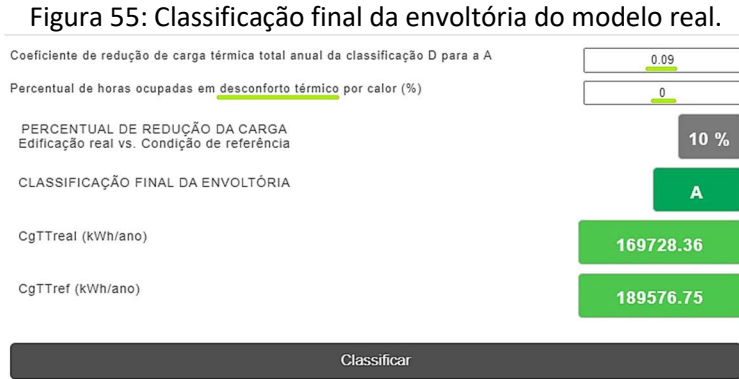
Figura 54: Edificações educacionais: CRCgTTD-A com base no FF e grupo climático.

Grupo Climático	Coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A (CRCgTT _{D-A})					
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	0,40 < FF ≤ 0,50	FF > 0,50	
GC 1- A	0,19	0,19	0,22	0,25	0,27	
GC 1- B	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	
GC 2	0,19	0,20	0,26	0,35	0,41	
GC 3						
GC 4						
GC 5	0,15	0,15	0,17	0,18	0,19	
GC 6						
GC 7						
GC 8	0,14		0,18	0,23	0,27	
GC 9			0,17	0,19	0,21	
GC 10	0,15	0,16	0,18	0,18	0,19	
GC 11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,14	
GC 12						
GC 13	0,11	0,12	0,13	0,12	0,12	
GC 14						
GC 15		0,11		0,12	0,12	
GC 16						
GC 17	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	
GC 18						
GC 19	0,07		0,08			
GC 20						
GC 21	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	
GC 22						
GC 23		0,08		0,08	0,08	0,08
GC 24						

Fonte: Adaptada de LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME (2021, p. 49).

Tais resultados foram inseridos como dados de entrada na interface *web* do metamodelo para a edificação real (Figura 55), cujo CRCgTTD-A anual da envoltória foi de 10%. A CgTTreal calculada pelo metamodelo foi de 169.728,36 kWh/ano. Como este valor é menor que o limite superior da classe “B”, que é de 178.202,15 kWh/ano, a classificação da eficiência da envoltória do Bloco Infantil correspondente à Classe “A”. Mesmo o Bloco Infantil tendo sido classificado com o nível máximo de eficiência energética em relação a este sistema, são constantes as reclamações em relação ao conforto

térmico no local e, conseqüentemente, a edificação apresenta um alto consumo de energia, demandada pelos condicionadores de ar.



Fonte: Adaptada de PBEEDIFICA (2021c).

4.3.3 Sistema de Condicionamento de Ar

O Bloco Infantil possui 10 aparelhos condicionadores de ar que são menores ou iguais a 10,55kW, do tipo *Split* e unitários. Destes aparelhos, 80% são da classe “D” do Selo Procel e 20% são da classe “A”, com carga instalada para refrigeração de 86.706 W em um total de 318.000 BTU/h (Tabela 12).

Tabela 12: Total da carga para a climatização do Bloco Infantil.

Bloco Infantil				
Tipo	Local	BTU/h	Potência (kW)	Classificação Energética (Selo PROCEL)
<i>Split</i>	Sala 01	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 02	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 03	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 04	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 05	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 06	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 07	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala 08	36.000	10,55	D
<i>Split</i>	Sala dos professores	18.000	1,086	A
<i>Split</i>	Sala da coordenação	12.000	1,22	A
Total:		318.000 BTU/h	86,706	

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Para determinar o CEE_R (Equação 13) com base no COP, foi consultada a tabela do equipamento fornecida pelo fabricante e verificado o seu consumo/eficiência (Quadro 15).

Quadro 15: Consumo/eficiência energética de condicionadores de ar.

FORNECEDOR	MARCA	TENSÃO	CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO NOMINAL			POTÊNCIA ELÉTRICA CONSUMIDA	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	CONSUMO DE ENERGIA (**)
		V	Btu/h	W	kW (*)	W	W/W		kWh/mês
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	24.000	7.032	7,03	2.650	2,65	D	55,7
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	24.000	7.032	7,03	2.650	2,65	D	55,7
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	30.000	8.790	8,79	3.280	2,68	D	68,9
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	30.000	8.790	8,79	3.280	2,68	D	68,9
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	36.000	10.548	10,55	3.720	2,84	C	78,1
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	36.000	10.548	10,55	3.920	2,69	D	82,3
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	36.000	10.548	10,55	3.755	2,81	C	78,9
SPRINGER CARRIER	CARRIER	220	36.000	10.548	10,55	3.970	2,66	D	83,4
SPRINGER CARRIER	MIDEA	220	35.000	10.255	10,26	3.890	2,64	D	81,7

Fonte: Adaptado de INMETRO (2013).

O valor do CEE_R foi de 2,85 conforme calculado pela Equação 13 (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021). Foi determinado o consumo de refrigeração da edificação em sua condição de referência (CR, ref), que foi de 72.914,135 kWh/ano, e o consumo de refrigeração da edificação real (CR, real), cujo valor foi de 59.412,471 kWh/ano. Por meio da Equação 14 foi possível obter o RedCR, que foi de 18,5%.

Portanto, para o grupo climático 24 o valor do RedCR está entre 14 e 29%, o que confere uma classificação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do Bloco Infantil da EPC equivalente a “C” (Quadro 16).

Quadro 16: Classificação final do sistema de condicionamento de ar.

Grupo Climático (GC)	RedC _R (%)			
	Classif. A	Classif. B	Classif. C	Classif. D
1a,1b,2,3,5,6,7,9,10	RedC _R > 51	51 ≥ RedC _R > 34	34 ≥ RedC _R > 17	RedC _R ≤ 17
4,8,11,12,13,14,17,21	RedC _R > 48	48 ≥ RedC _R > 32	32 ≥ RedC _R > 16	RedC _R ≤ 16
15,16,18,19,20,22,23,24	RedC _R > 43	43 ≥ RedC _R > 29	29 ≥ RedC _R > 14	RedC _R ≤ 14

Fonte: Adaptada de LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME (2021).

4.3.4 Classificação da Eficiência Energética – modelo real

A determinação da classificação da eficiência energética geral do Bloco Infantil foi feita com base no RedCEP da edificação real em comparação à mesma edificação em sua condição de referência (Classe “D”). Para isto, foram utilizadas as Equações 16 e 17, e o valor do RedCEP foi de 22,2% (Tabela 13).

Tabela 13: RedCEP (Percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e condição de referência).


Condição Real		Condição de Referência	
DPE	13,25	DPE	15 W/m ²
PIT (W)	2375	Pi (W)	7800
CIL,real	3228,8	CIL,ref	24800
CEQ (kWh/Ano)	11024	CEQ (kWh/Ano)	12480
CR,real	71790,5	CR,ref	73309,1
CEE,real	86043,3	CEE,ref	110589,1
CEP,real	137669,2	CEP,ref	176942,6
RedCEP = 22,2			

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Tendo definidos o grupo climático e o FF da edificação, cujo valor é 0,32, obteve-se o CRCEPD-A equivalente a 0,28. Com isso, foi possível determinar os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral (Figura 56) e o consumo de energia primária da edificação real (CEP_{real}) calculado foi igual a 137.669,23 kWh/ano. Como este valor é maior que 127.398,66 kWh/ano (limite superior) e menor que 143.913,30 kWh/ano (limite inferior), o Bloco Infantil teve sua classificação geral de eficiência energética na classe “B”.

Figura 56: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
	-	$> CEP_{ref} - 3i$	$> CEP_{ref} - 2i$	$> CEP_{ref} - i$	$> CEP_{ref}$
	$\leq CEP_{ref} - 3i$	$\leq CEP_{ref} - 2i$	$\leq CEP_{ref} - i$	$\leq CEP_{ref}$	-
Limite superior	-	127.398,66	143.913,30	160.427,94	176.942,58
Limite inferior	127.398,66	143.913,30	160.427,94	$> CEP_{ref}$	-



137.669,2

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

A classificação geral aponta um bom desempenho energético, porém, como já mencionado nas classificações individuais, o resultado isolado indica somente que a escola tem certa economia de energia elétrica quando comparado à classe “D” de referência.

4.3.5 Análise da Energia *on-site* e das Emissões de CO₂ do modelo real

A determinação baseou-se na comparação entre as emissões de CO₂ da edificação real e sua condição de referência. Foi considerado o consumo de energia elétrica real do Bloco Infantil e para a condição de referência, uma edificação com classificação D sem a energia *on-site* de energia elétrica.

O PCO₂ foi calculado por meio da Equação 22 e apresentou resultado negativo (Figura 57), ou seja, mesmo sem a energia *on-site* o Bloco Infantil tem uma redução de 79,86% nas emissões de CO₂ em relação à edificação de referência da classe “D”. Esta redução é proveniente somente da geração de energia elétrica, já que a escola não possui outra fonte de energia.

Figura 57: Percentual de redução da emissão de dióxido de carbono.

Sigla	Valor	Unidade
feE	0,09	kg.CO2/kWh
GEE	63774	(kWh/ano)
CEE _{real}	86043	(kWh/ano)
CEE _{ref}	110589	(kWh/ano)
ECO _{2,real}	2,0042	tCO ₂ /ano
ECO _{2,ref}	9,953	tCO ₂ /ano

PCO₂ = -79,86%

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Posteriormente, para o modelo hipotético, foi realizada a análise para a energia *on-site* de energia renovável e a viabilidade da instalação na edificação avaliada.

4.4 Simulações dos modelos tridimensionais

4.4.1 Sistema de Iluminação Natural Real

Para que fosse verificado os níveis de iluminância mínimos, uniformidade e ofuscamento normatizados nas salas de aula, foram realizadas simulações por meio do *software* DIALux Evo 9.2. Os dados das iluminâncias obtidos com as simulações podem ser verificados na planilha a seguir (Tabela 14).

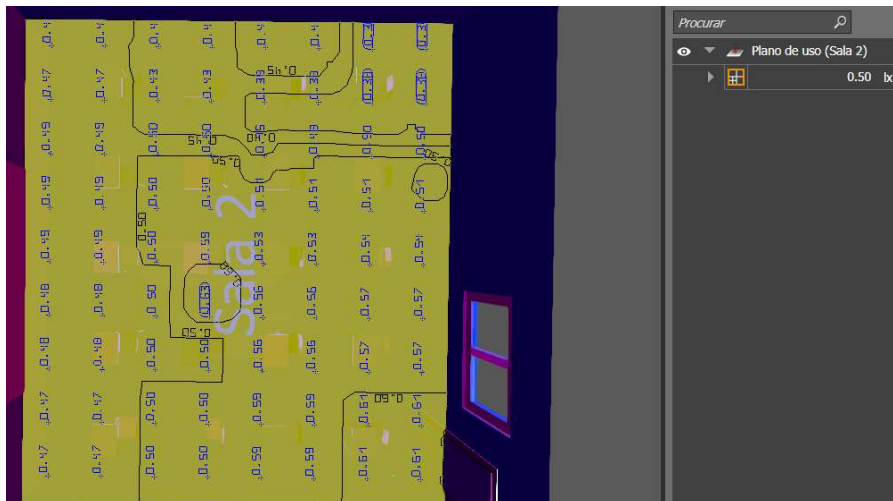
Tabela 14: Iluminância do modelo real com obstrução permanente.
Modelo real

Local	Solstício de inverno		Solstício de verão	
	22 de junho às 09h	22 de junho às 16h	22 de dezembro às 9h	22 de dezembro às 16h
Sala 01	12,5 lux	12,5 lux	11,7 lux	13,9 lux
Sala 02	0,50 lux	0,23 lux	0,43 lux	0,45 lux
Sala 03	36,1 lux	224 lux	375 lux	232 lux
Sala 04	43,8 lux	10,4 lux	33,6 lux	15,8 lux
Sala 05	742 lux	681 lux	139 lux	314 lux
Sala 06	743 lux	680 lux	135 lux	140 lux
Sala 07	75,8 lux	435 lux	81,5 lux	1304 lux
Sala 08	441 lux	73,3 lux	713 lux	103 lux
Sala dos professores	2.159 lux	128 lux	2.255 lux	197 lux
Coordenação	93,8 lux	443 lux	102 lux	2.029 lux
WC pavimento superior	44,8 lux	226 lux	44,8 lux	950 lux
Corredor térreo	133 lux	109 lux	129 lux	290 lux
Corredor pavimento superior	2,53 lux	1.26 lux	2,53 lux	2,49 lux
WC pavimento superior	45,2 lux	231 lux	45,2 lux	982 lux
WC térreo	0 lux	0,13 lux	0,23 lux	0,2 lux

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Na sala 02, voltada para o corredor, pode ser verificada, por meio do resumo de resultados (Figura 58), uma iluminância de 0,50 lux para o cenário de maior incidência de luz solar, o solstício de verão com céu claro solstício de verão, às 16h. Este resultado corresponde a 1% da iluminância exigida pela norma.

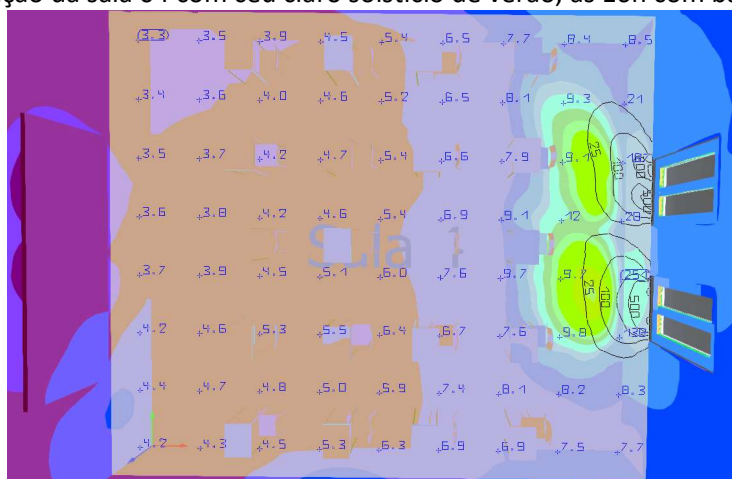
Figura 58: Simulação da sala 02, que possui obstrução permanente com céu claro solstício de verão, às 16h.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

As janelas da sala 04 estão voltadas para uma área coberta com uma marquise e na simulação foi obtida uma iluminância média de 15 lux, com baixa uniformidade (Figura 59). Na medição *in loco* desta sala não foi constatada uma iluminância tão baixa como a obtida na simulação para o solstício de verão com céu claro, às 16h, porém, tal fato é justificável, pois medições ocorreram às 16h e como já mencionado, considerou-se somente 50% da área destas aberturas.

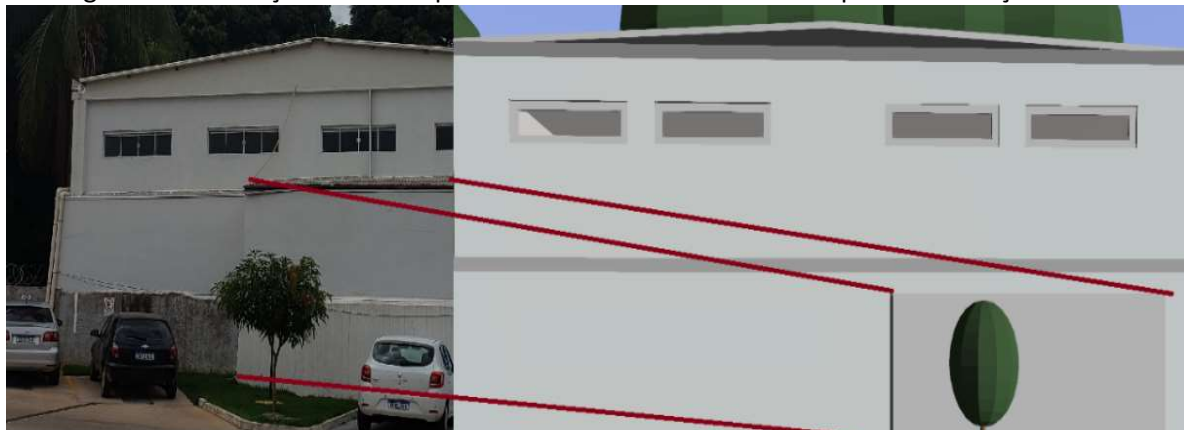
Figura 59: Simulação da sala 04 com céu claro solstício de verão, às 16h com baixa uniformidade.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Na sala 01, devido à obstrução permanente (Figura 60), registrou-se uma média de iluminância de 13,9 lux para o cenário de maior incidência de luz solar no verão às 16h.

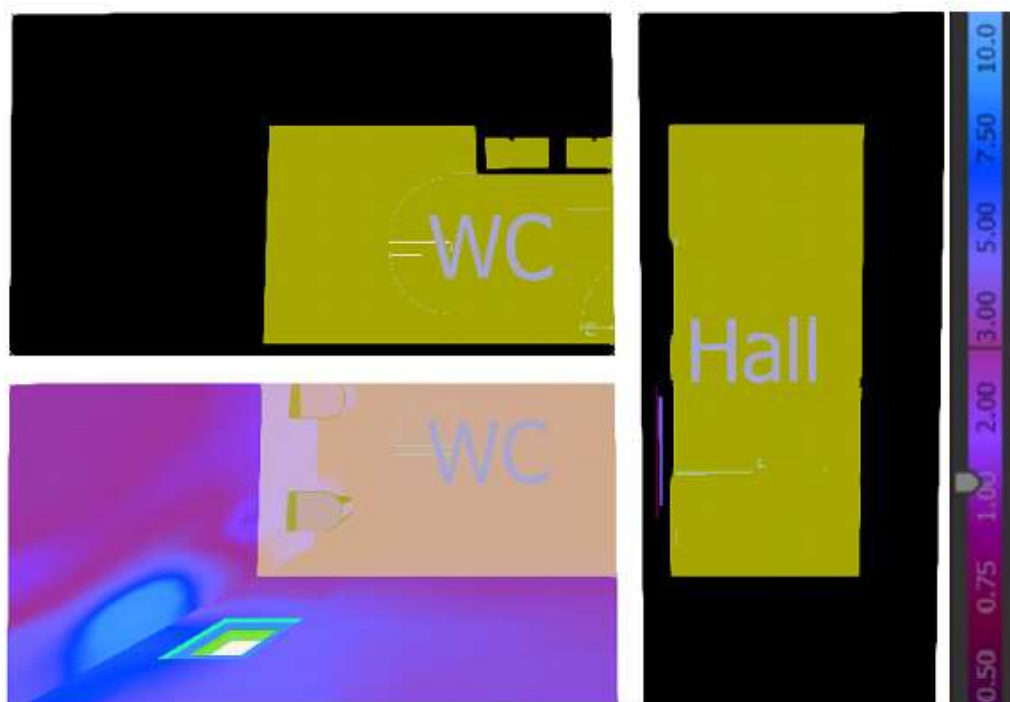
Figura 60: Obstrução existente preservada no modelo real usado para a simulação sala 01.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Quando se descarta os dados das salas 01 e 02, observa-se que apenas a iluminação natural (Tabela 14) não é suficiente para alcançar a média de 300 lux com uniformidade durante o inverno e o verão. É possível analisar também que os banheiros e o corredor do térreo (Figura 61), para o solstício de verão às 9h dependem da luz elétrica, pois somente um banheiro possui abertura para o corredor e esta não contribui para que a luz solar entre no local.

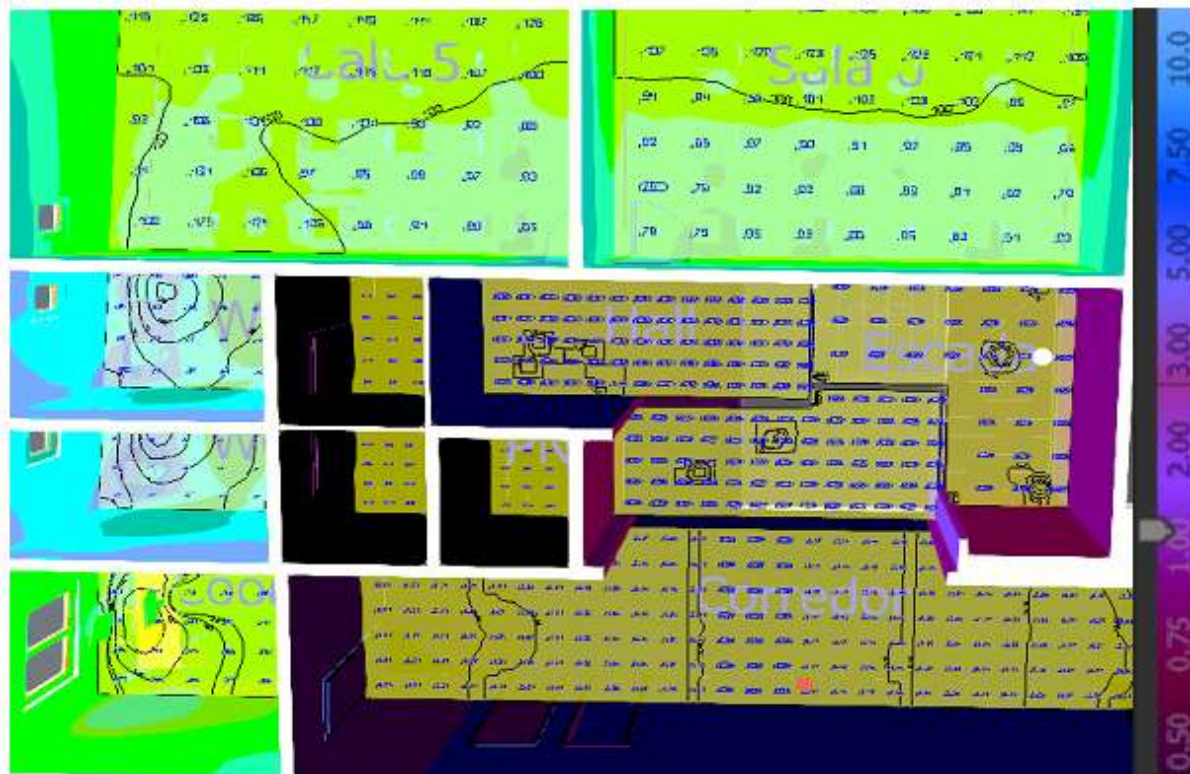
Figura 61: Simulação Banheiros e o corredor do térreo com céu claro solstício de verão, às 9h.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Esta dependência da luz elétrica também pode ser observada no piso superior (Figura 60), cuja simulação foi realizada para o no solstício de verão às 9h.

Figura 62: Simulação Banheiros e o corredor do piso superior com céu claro solstício de verão, às 9h.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

4.4.2 Sistema de Iluminação Natural Hipotético

Como já mencionado, para no modelo hipotético foi removido o muro com altura superior a 1,8m que obstruía as janelas da sala 01. Na sala 02 foram inseridas duas janelas altas a 1,8m do piso acabado, iguais à da sala 01.

Pode-se observar que com a obstrução permanente a média da iluminância para a luz natural (Tabela 15) para estas salas foi inferior a 60 lux, ou seja, não atingiu o mínimo da norma para todas as salas. Porém, após a intervenção houve um maior acesso da luz solar nas salas 01 e 02, fazendo com que estas salas chegassem as iluminâncias normatizadas. É possível verificar também que as salas de aulas alcançam a média da iluminância em partes do ano, mas fica claro a contribuição do aumento de luz com as janelas altas e o contrário também.

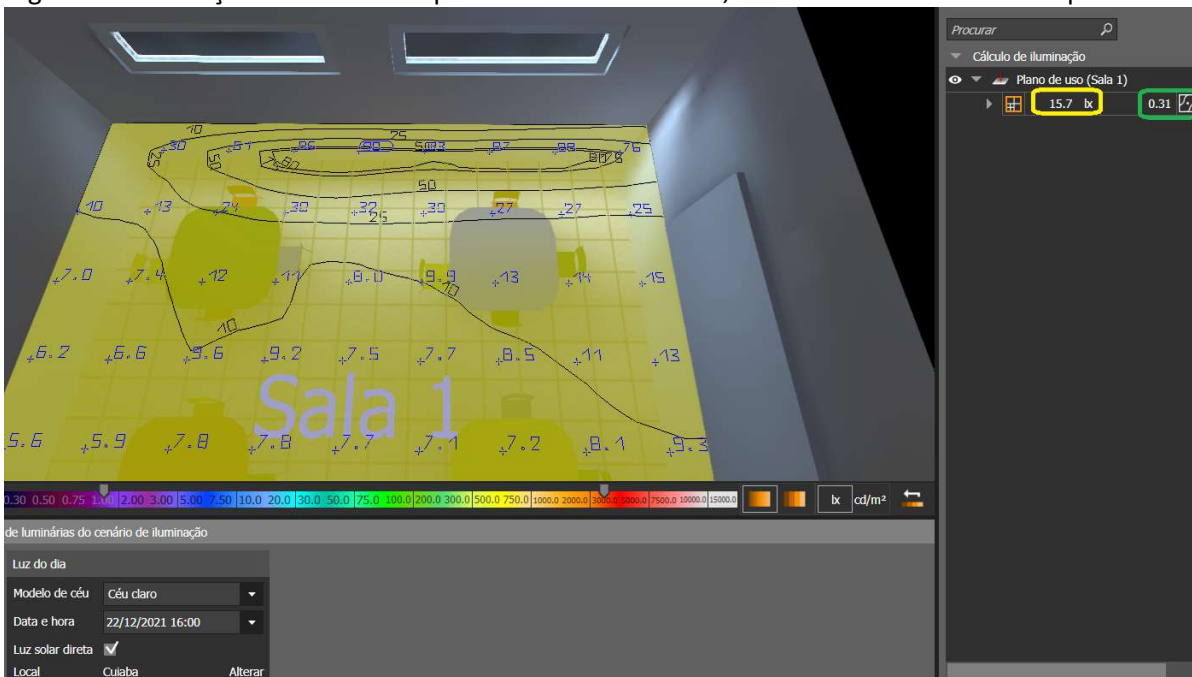
Tabela 15: Simulação para o modelo hipotético.

Local	Modelo real				Modelo hipotético			
	Solstício de inverno		Solstício de verão		Solstício de inverno		Solstício de verão	
	22 de junho às 09h	22 de junho às 16h	22 de dezembro às 9h	22 de dezembro às 16h	22 de junho às 09h	22 de junho às 16h	22 de dezembro às 9h	22 de dezembro às 16h
Sala 01	12,5 lux	12,5 lux	11,7 lux	13,9 lux	681 lux	227 lux	134 lux	136 lux
Sala 02	0,43 lux	0,23 lux	0,43 lux	0,45 lux	697 lux	681 lux	131 lux	135 lux
Sala 03	36,1 lux	224 lux	375 lux	232 lux	36,1 lux	224 lux	37,5 lux	232 lux
Sala 04	43,8 lux	10,4 lux	33,6 lux	15,8 lux	43,8 lux	10,4 lux	33,6 lux	15,8 lux
Sala 05	742 lux	681 lux	139 lux	314 lux	742 lux	681 lux	139 lux	314 lux
Sala 06	743 lux	680 lux	135 lux	140 lux	743 lux	680 lux	134 lux	140 lux
Sala 07	75,8 lux	435 lux	81,5 lux	1304 lux	75,8 lux	435 lux	81,5 lux	1304 lux
Sala 08	441 lux	73,3 lux	713 lux	103 lux	441 lux	73,3 lux	713 lux	103 lux
Sala dos professores	2159 lux	128 lux	2255 lux	197 lux	2159 lux	128 lux	2255 lux	197 lux
Coordenação	93,8 lux	443 lux	102 lux	2029 lux	93,8 lux	443 lux	102 lux	2029 lux
WC superior	44,8 lux	226 lux	44,8 lux	950 lux	44,8 lux	226 lux	44,8 lux	950 lux
Corredor térreo	133 lux	109 lux	129 lux	290 lux	133 lux	109 lux	129 lux	290 lux
Corredor do pavimento superior	2,53 lux	1.26 lux	2,53 lux	2,49 lux	2,53 lux	1.26 lux	2,53 lux	2,52 lux
WC do pavimento superior	45,2 lux	231 lux	45,2 lux	982 lux	45,2 lux	231 lux	45,2 lux	982 lux
WC térreo	0 lux	0,13 lux	0,23 lux	0,2 lux	0 lux	0,13 lux	0,23 lux	0,2 lux

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Na simulação com o muro de obstrução permanente, a média da iluminância mínima foi de 15,7 lux (Figura 63) para o céu claro no solstício de verão, às 16h. É possível observar também o baixo fator de uniformidade, de 0,31.

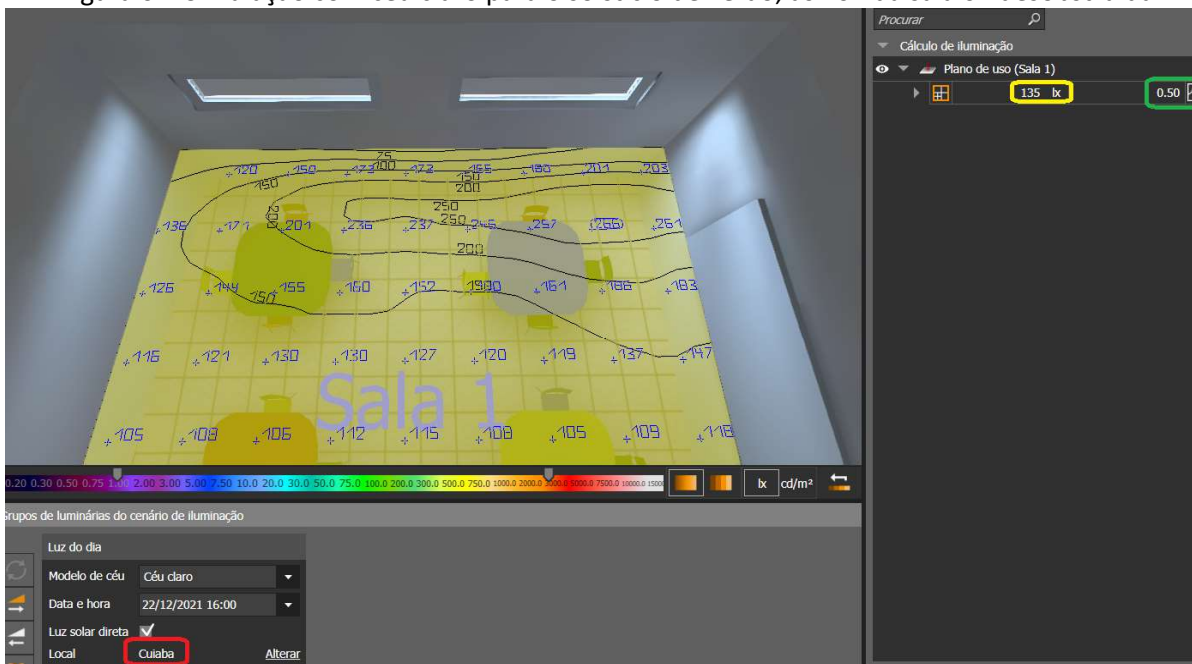
Figura 63: Simulação com céu claro para o solstício de verão, às 16h da sala 01 obstruída pelo muro.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Após a simulação sem o muro (Figura 64), a média da iluminância mínima passou a ser 135 lux para o céu claro no solstício de verão às 16h. Verificou-se ainda, através do fator de uniformidade que aumentou para 0,5, que a luz solar adentra o ambiente, atingindo uma maior profundidade.

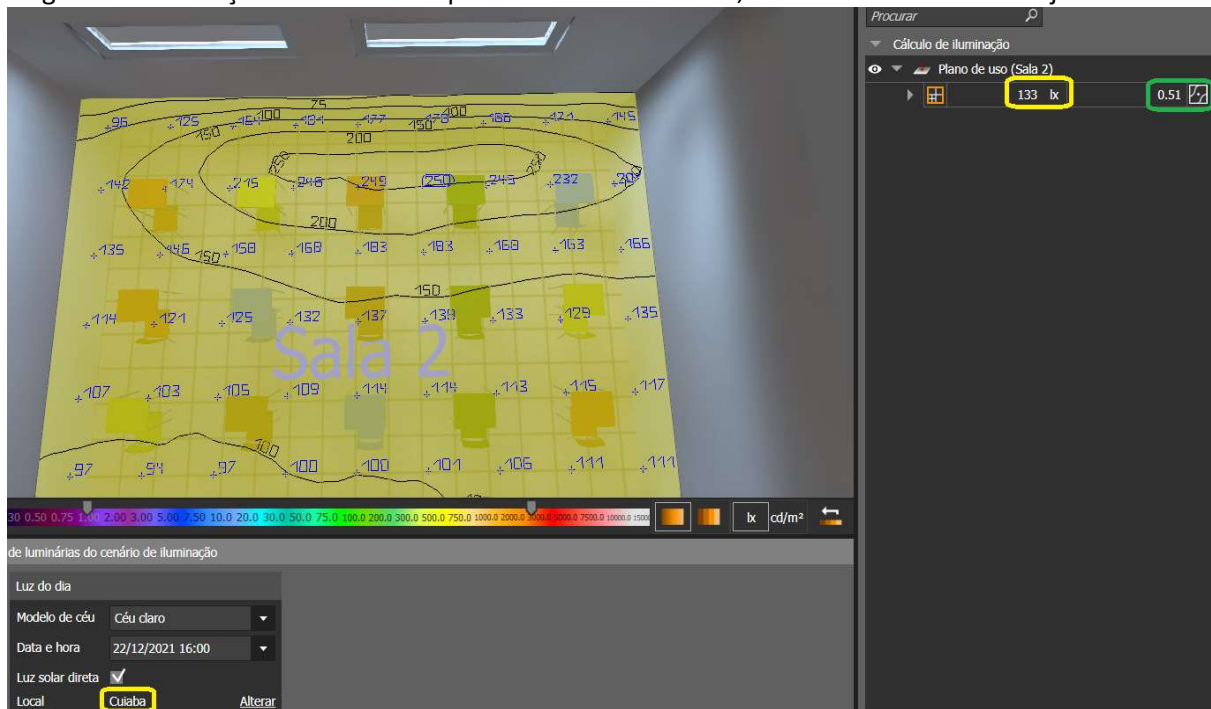
Figura 64: Simulação com céu claro para o solstício de verão, às 16h da sala 01 desobstruída.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

A simulação da sala 02 realizada com o céu claro, solar no verão, às 16h), mostra que a inserção de janelas altas (Figura 65) contribuíram para uma distribuição mais uniforme da luz, cujo fator de uniformidade calculado foi de 0,51 e a iluminância mínima média obtida passou a ser 133lux. Para a simulação desta sala, realizada no inverno, às 16h), com o céu claro, a média da iluminância atinge os 681 lux.

Figura 65: Simulação com céu claro para o solstício de verão, às 16h da sala 02 com as janelas altas.



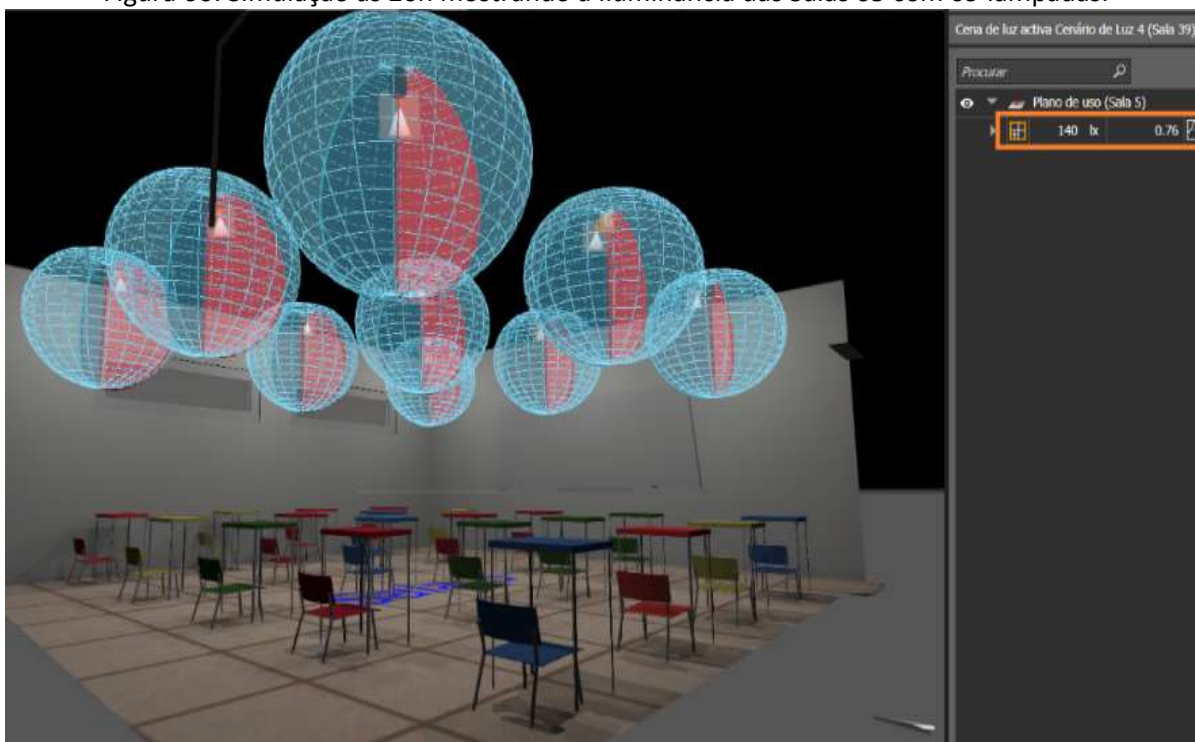
Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Observa-se que todos os ambientes necessitam de iluminação elétrica, as vezes no solstício de inverno outras vezes no solstício de verão, ou até mesmo em ambos, para que, combinada com a luz natural, atinjam a média da iluminância normatizada para salas de aula.

4.4.3 Sistema de Iluminação Elétrica do modelo real

As salas 05 e 06, que já possuem todas as lâmpadas com a tecnologia LED e são padronizadas com 09 lâmpadas, obtiveram a média da iluminância igual a 140 lux (Figura 66), ou seja, não atingiram a iluminância estipulada pela norma que é de 300 lux, porém, devido à quantidade de lâmpadas, a iluminação está distribuída de forma uniforme, com fator de uniformidade equivalente a 0,76. Entretanto, não basta ter uma tecnologia de baixo consumo como as lâmpadas LEDs, boa uniformidade e não atingirem uma segurança visual mínima aos usuários.

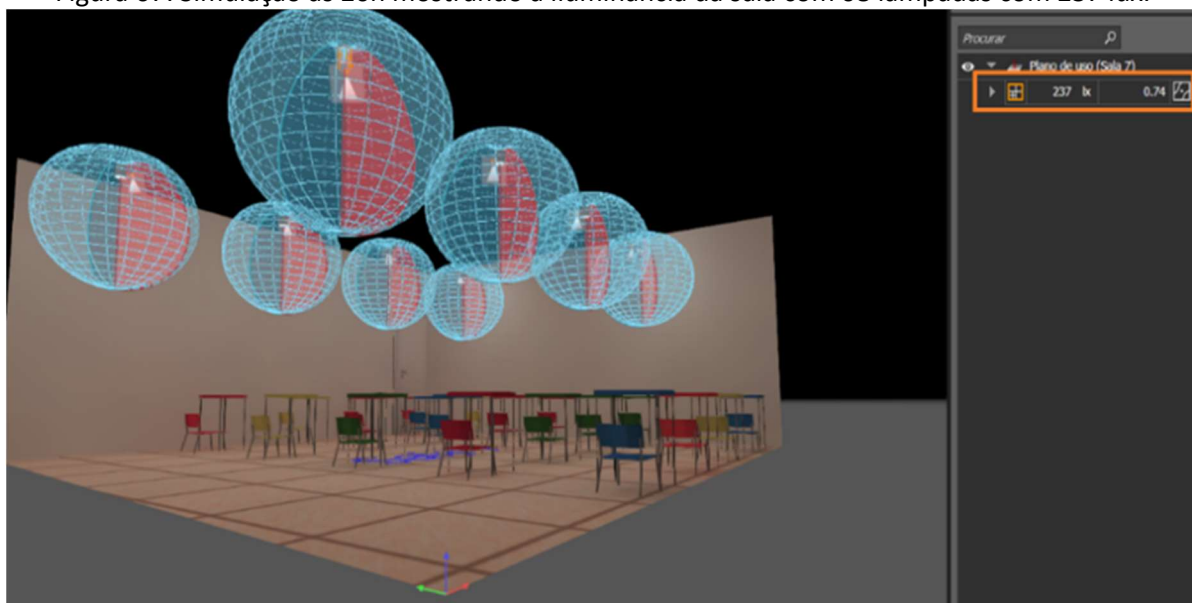
Figura 66: Simulação às 20h mostrando a iluminância das Salas 05 com 09 lâmpadas.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Para o arranjo das salas 07 e 08, padronizadas com 8 luminárias cada (fluorescente e LED), obteve-se o melhor cenário, com 237 lux (Figura 67). É possível observar que a uniformidade atende à norma, com fator de uniformidade equivalente a 0,74.

Figura 67: Simulação às 20h mostrando a iluminância da sala com 08 lâmpadas com 237 lux.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

4.4.4 Sistema de Iluminação Elétrica modelo hipotético

As luminárias escolhidas por serem de melhor eficiência, e padronizadas em oito unidades por salas de aula, são painéis LEDs com as seguintes características: painel de sobrepor retangular 112 lm/W, com IRC de 80, 4.000K, 1.952 lm e com 70.000h de vida útil. A escolha da temperatura de cor neutra é devido o ambiente escolar necessitar de uma luz que não distorce as cores. Por meio das substituições das lâmpadas por LEDs, houve uma redução na PIU de 2.375W para 1.610 W (Tabela 16), ou seja, uma diminuição de 32%.

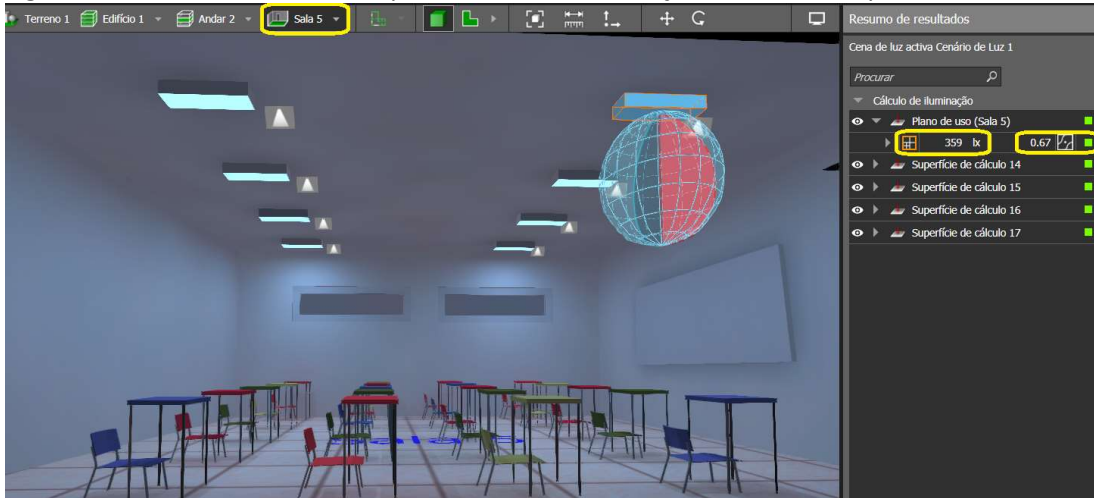
Tabela 16: Redução da potência de iluminação elétrica em uso.

Piso	Ambiente	LED 17,5 W	PIU
Térreo	Sala1	8	140
Térreo	Sala2	8	140
Térreo	Sala3	8	140
Térreo	Sala4	8	140
Piso 1	Sala5	8	140
Piso 1	Sala6	8	140
Piso 1	Sala7	8	140
Piso 1	Sala8	8	140
Piso 1	Hall/WC	6	52,5
Térreo	Áreas comuns	11	87,5
Térreo	Arandelas	6	105
Térreo	Parquinho	3	52,5
Piso 1	Sala Prof./Coord.	4	175
Piso 1	Almoxarifado	1	17,5
PIU é a potência de iluminação em uso (W)			1.610

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Conforme já mencionado, com esta intervenção foi possível manter todos os parâmetros da NBR 8995:2013, segundo a simulação mostrada na Figura 68 para a sala 05. A janela lateral direita do *software* traz o “Resumo dos resultados”, no qual a legenda indica que os valores limites de iluminância requeridos pela norma foram atendidos com 359 lux e também a uniformidade está normatizada acima de 60 ou seja, 0,67. É possível verificar também os níveis para o cálculo do ofuscamento na cor verde, indicando que este item também foi obedecido.

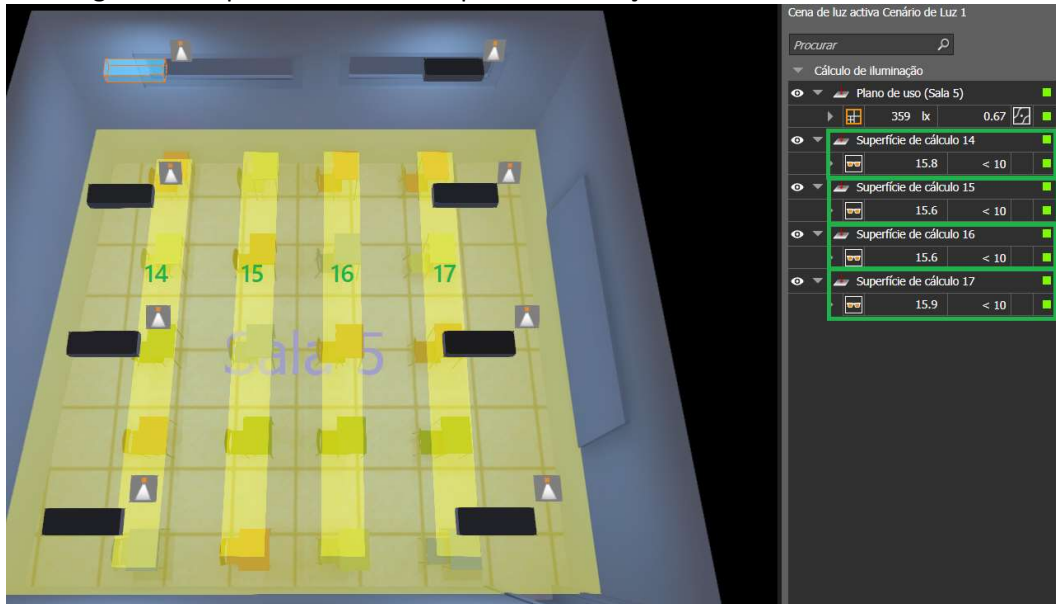
Figura 68: Indicadores de desempenho visual da simulação do modelo hipotético da sala 05.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Para a verificação dos índices de ofuscamento, as superfícies de cálculo foram definidas de acordo com o número de fileiras de carteiras, por sala e nos demais ambientes no plano de trabalho. Na sala 05 foram inseridas 4 superfícies de cálculo: 14, 15, 16 e 17 (Figura 69). Nos “Resumo dos resultados”, a legenda na cor verde indica que os valores limites de ofuscamento ficaram abaixo dos 19 exigidos pela referida norma.

Figura 69: Superfícies de cálculo para a verificação do índice de ofuscamento.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Logo A PITreal foi calculada e o resultado encontrado foi equivalente a 3.704,9W.

$$PITreal = \Sigma (PIU) + \Sigma (PI) + PASP$$

$$PITreal = 3.704,9W$$

O coeficiente “i”, que representa os intervalos entre as classificações, foi equivalente a **2,27**. Foi calculada ainda a densidade de potência por meio da razão entre PITreal (3704,9W) e AI (520m²). O resultado encontrado foi de 7,1W/m². Como esse valor é inferior a 8,7 W/m², o sistema de iluminação do modelo hipotético do Bloco Infantil foi classificado como Classe “A” (Figura 70).

Figura 70: Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética para o sistema de iluminação de universidade/escola.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	>	>	>	>
Limite superior	-	8,70	10,97	13,23	15,5
Limite inferior	<	≤	≤	≤	-
Limite inferior	8,7	10,97	13,23	15,5	-

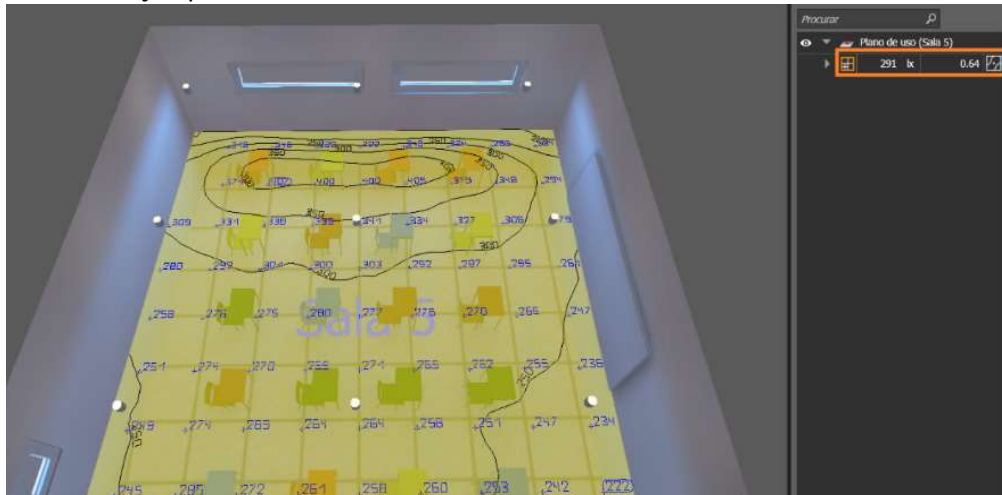
Densidade de potência do Modelo Hipotético

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.4.5 Sistema de Iluminação IASP modelo real

Para o modelo real, no solstício de verão às 16h para o céu claro, a integração entre a luz elétrica e a luz natural é a condição para que as salas atinjam uma melhor iluminância, como, por exemplo, a sala 05 (Figura 71), que foi de 140 lux para 291 lux ao abrir as janelas, porém não atinge ainda o mínimo de 300lux estabelecido pela norma.

Figura 71: Simulação para o solstício de verão às 16h na sala 05 com a luz elétrica e a luz natural.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2022).

4.4.6 Sistema de Iluminação IASP modelo hipotético

Para a simulação da iluminação elétrica suplementar, primeiramente realizou-se a desobstrução (Figura 72a) das janelas da sala 01 e também foram inseridas duas janelas na sala 02 com as mesmas dimensões das janelas da sala 01, conforme Figura 72b.

Figura 72: a) Salas 01 e 02 sem aberturas . b) Salas 01 e 02 com aberturas.



Fonte: DIALux 9.2 Evo (2021).

Foram simulados interruptores com duas teclas de forma a desligar as quatro luminárias próximas às janelas. As salas 01, 02, 05 e 06 foram simuladas com a tela solar de PVC (Figura 36). Como resultado, as salas atenderam à média de 300 lux (Tabela 17).

Tabela 17: Simulação do modelo hipotético.

Local	Modelo hipotético				Modelo hipotético			
	Solstício de inverno		Solstício de verão		Solstício de inverno		Solstício de verão	
Período	22 de junho às 09h	22 de junho às 16h	22 de dezembro às 9h	22 de dezembro às 16h	22 de junho às 09h	22 de junho às 16h	22 de dezembro às 9h	22 de dezembro às 16h
	lux	lux	lux	lux	lux	lux	lux	lux
Sala 01	870	418	327	329	522	304	327	329
Sala 02	877	816	314	318	525	515	314	318
Sala 03	214	401	216	408	303	401	310	408
Sala 04	223	190	213	196	348	314	364	336
Sala 05	920	858	320	494	549	533	320	494
Sala 06	926	862	321	326	548	516	321	326
Sala 07	252	609	258	1.473	330	609	336	1.473
Sala 08	617	199	889	208	617	318	889	326
Sala dos professores	2.255	228	2.348	297	368	300	481	301
Coordenação	216	563	223	2.142	216	563	223	2.142
WC superior	228	407	227	1.128	228	407	227	1.128
Corredor térreo	201	176	196	358	201	176	196	358
Corredor superior	157	156	157	157	157	156	157	157
WC superior	224	417	231	1.161	224	417	231	1.161
WC térreo	288	288	176	177	288	288	176	177

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Na sequência, realizaram-se os cálculos do PI entre o sistema de iluminação elétrica e a luz natural disponível. O resultado obtido foi de 11,8% (modelo real) para 27% (modelo hipotético) como mostrado na Tabela 18

Tabela 18: Potencial de integração entre a luz natural e a elétrica do modelo hipotético.

Salas	Altura das janelas ao piso	Altura da janela	Largura da janela	Altura da verga	0,5 HV	Largura da janela + 0,5 HV	Zonas primárias de cada abertura lateral	Zonas primárias parcial	Zonas primárias	PI
03, 04, 07 e 08	1,2	1,00	0,75	2,20	1,10	1,85	4,07	16,28	88,825	0,27
05 e 06	1,6	0,60	2,00	2,20	1,10	3,10	6,82	27,28		
01 e 02	1,6	0,60	2,00	2,20	1,10	3,10	6,82	27,28		
Iluminação por plano translúcido	1,6	0,60	0,60	2,20	1,10	1,70	3,74	3,74		
Coordenação	1,2	1,00	0,75	2,20	1,10	1,85	4,07	2,035		
Sala dos professores	1,2	1,00	0,75	2,20	1,10	1,85	4,07	12,21		

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Foi calculada também a densidade de potência devido ao desligamento das luminárias próximas às janelas e o resultado, obtido por meio da razão entre PITreal (1.972,9 W) e AI (520m²), foi de 3,6 W/m².

4.5 Classificação Energética pela INI-C do modelo hipotético

4.5.1 Sistema de Condicionamento de Ar modelo hipotético

Para o sistema de condicionamento de ar do modelo hipotético foram substituídos os equipamentos da classe D por seus equivalentes da classe A. O equipamento escolhido possui um consumo de 68,5 kWh/mês (Quadro 17) com capacidade de 36.000 BTU/h, sendo estes os condicionadores de ar mais eficientes disponíveis no mercado.

Quadro 17: Consumo/eficiência energética dos condicionadores de ar (modelo hipotético).

Capacidade (BTU/h)		30.000	36.000	
Voltagem (V)				220
Ciclo				Frio
Código	Evaporadora	42ZQVA30C5	42ZQVA36C5	
	Condensadora	38CCVA30515MC	38CCVA36515MC	
Código EAN	Evaporadora	7898554873385	7898554873392	
	Condensadora	7898554873422	7898554873446	
Medidas do Produto (LxAxP cm)	Evaporadora	120x23x70		
	Condensadora	56,8x76x56,8		
Medidas do Produto Embalado (LxAxP cm)	Evaporadora	128x33,1x80		
	Condensadora	59,4x88,8x59,4		
Peso Líquido (kg)	Evaporadora	28,7		
	Condensadora	44,5		
Peso Bruto (kg)	Evaporadora	33,1		
	Condensadora	49,8		
Frequência (Hz)				60
Potência Nominal (W)		2.710	3.260	
Vazão de Ar (m3/h)		1.450		
COP (W/W)				3,24

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Pelos dados da tabela, tem-se que a potência dos equipamentos da classe “D” é 69% menor que os da classe “A”, portanto a carga instalada total teve uma redução de 67,3% (Tabela 19).

Tabela 19: Carga instalada da classe D (modelo real) e da classe A (modelo hipotético).

Tipo	Classe	BTU/h	Potência (kW)	Classe	BTU/h	Potência (kW)
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	D	36.000	10,55	A	36.000	3,26
Split	A	18.000	1,086	A	18.000	1,086
Split	A	12.000	1,22	A	12.000	1,22
			86,706			28,39

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Os aparelhos de condicionamento de ar selecionados para o modelo hipotético são do tipo *Split* com *inverter*. O CEEr foi calculado a partir do clima específico, em função da temperatura externa de Cuiabá e das horas de operação do sistema, ou seja, foi feito por meio do *Cooling Seasonal Performance Factor* (CSPF¹³), cujo resultado foi de 3,95 obtido por meio da interface *web*¹⁴ (LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021) (Figura 73).

¹³ Fator de desempenho sazonal de resfriamento, determinado pela proporção entre a quantidade anual total de calor que o equipamento pode remover do ar interno, quando operado para refrigeração no modo ativo, e a quantidade anual total de energia consumida pelo equipamento durante o mesmo período. O CSPF considera o desempenho da máquina em 50% e 100% da carga, de acordo com os bins de temperatura (LABEEE/CB3E/ELETRORBRAS/PROCEL/MME, 2021, p. 32).

¹⁴ Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/cspf/>

Figura 73: Cálculo do CSPF e IDRS por meio do arquivo climático (EPW) para o clima de Cuiabá.

Edificações Residenciais
Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
Condicionadores de ar

COOLING SEASONAL PERFORMANCE FACTOR (CSPF)

Método: IDRS e CSPF | Requisitos: Apenas obrigatório

Arquivo climático (EPW): BRA_Cuiaba-Marechal_Ron.833620_SWERA.epw

Horas de operação: Apenas durante o dia (12h)

Consumo em 35°C:
Consumo Total: 822 | Consumo Parcial: 411

Capacidade em 35°C:
Capacidade Total: 3260 | Capacidade Parcial: 1630

Consumo em 29°C:
Consumo parcial: []

Capacidade em 29°C:
Capacidade parcial: []

Calcular

CSPF = 3.95 and IDRS = 3.96

Fonte: PBE EDIFICA (2021).

O CR,real (Equação 15) calculado foi de 42.969,2 kWh/ano e o CR,ref (Equação 16), de 72.914,1 kWh/ano e, por meio destes, obteve-se o RedCR (Equação 14) de 41%. Portanto, a classificação de eficiência energética do sistema de condicionamento de ar do modelo hipotético, conforme o quadro 18, foi a Classificação “B”.

Quadro 18: Classificação final do sistema de condicionamento de ar do modelo hipotético.

Grupo Climático (GC)	RedC _R (%)			
	Classif. A	Classif. B	Classif. C	Classif. D
1a,1b,2,3,5,6,7,9,10	RedC _R > 51	51 ≥ RedC _R > 34	34 ≥ RedC _R > 17	RedC _R ≤ 17
4,8,11,12,13,14,17,21	RedC _R > 48	48 ≥ RedC _R > 32	32 ≥ RedC _R > 16	RedC _R ≤ 16
15,16,18,19,20,22,23,24	RedC _R > 43	43 ≥ RedC _R > 29	29 ≥ RedC _R > 14	RedC _R ≤ 14

Fonte: Adaptada de LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME (2021).

A substituição dos aparelhos de condicionadores de ar do Bloco Infantil da EPC, por meio da condição hipotética, possibilitou a melhoria na classificação energética do sistema da classe “C” (modelo real) para a classe “B” e o decréscimo de 67,3% na carga instalada.

O PCO₂ obtido foi negativo, indicando uma redução de 40% nas emissões de CO₂ em relação à edificação de referência da INI-C (classe “D”) (Figura 74), o que corresponde a cerca de 3,98 tCO₂/ano.

Figura 74: Percentual de redução da emissão de dióxido de carbono.

Sigla	Valor	Unidade	PCO ₂ = -40,0
feE	0,09	kg.CO ₂ /kWh	
GEE	0	(kWh/ano)	
CEE,real	66393,2963	(kWh/ano)	
CEEref	110589,112	(kWh/ano)	
ECO ₂ ,real	5,97539667	tCO ₂ /ano	
ECO ₂ ,ref	9,95302004	tCO ₂ /ano	

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

4.5.2 Classificação da Eficiência Energética Geral do modelo hipotético do Bloco Infantil

Para determinar a classificação geral de eficiência energética do modelo hipotético foi calculado o CEP, real (Equação 19), que foi de 89.325,1 kWh/ano (Figura 75). Como este valor é menor que 104.220,13 kWh/ano, o modelo hipotético do Bloco Infantil teve sua classificação geral de eficiência energética na classe “A”.

Figura 75: Classificação geral de eficiência energética - modelo hipotético.

Classificação de eficiência	A	B	C	D	E
	-	> CEP,ref - 3i	> CEP,ref - 2i	> CEP,ref - i	> CEP,ref
	≤ CEP,ref - 3i	≤ CEP,ref - 2i	≤ CEP,ref - i	≤ CEP,ref	-
Limite superior	-	104.220,13	117.730,15	131.240,17	144.750,19
Limite inferior	104.220,13	117.730,15	131.240,17	> CEP,ref	-

↑
CEP,real = 89.325,1

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

O modelo hipotético apresentou uma melhoria na sua categoria de eficiência energética em relação ao modelo real, ou seja, elevou a classificação de “B” para “A” após sua efficientização.

4.5.3 Energia on-site e Emissões de Dióxido de Carbono do modelo hipotético

Nesta pesquisa foram avaliados os três sistemas, porém, as intervenções realizadas na envoltória proporcionaram uma redução de 86,98% as emissões de CO₂ no sistema de iluminação, o que equivale a 1,94 tCO₂/ano, e 40% no sistema de condicionamento (Tabela 20b), correspondendo a

3,98 tCO₂/ano. Os dois sistemas juntos representam a uma redução de 6,27 tCO₂/ano em relação à edificação de referência da classe “D” (LABEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

Tabela 20: Percentual de redução nas emissões de CO₂. a) Sistema de iluminação. b) Sistema de condicionamento de ar.

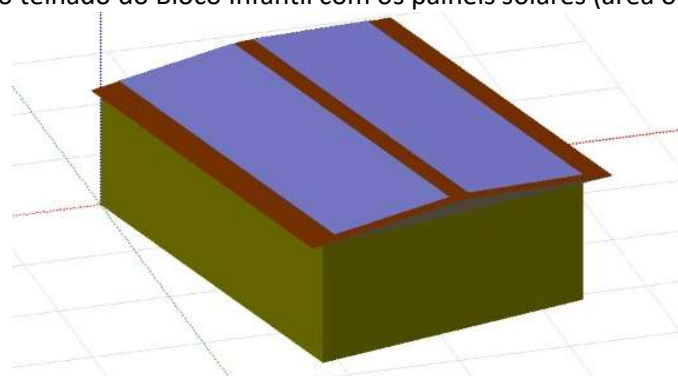
a)			b)				
Sigla	Valor	Unidade	PCO ₂ = -86,980645	Sigla	Valor	Unidade	PCO ₂ = -40,0
feE	0,09	kg.CO ₂ /kWh		feE	0,09	kg.CO ₂ /kWh	
GEE	0	(kWh/ano)		GEE	90469	(kWh/ano)	
CEE _{real}	3228,8	(kWh/ano)		CEE _{real}	90469	(kWh/ano)	
CEE _{ref}	24800	(kWh/ano)		CEE _{ref}	110589	(kWh/ano)	
ECO _{2,real}	0,290592	tCO ₂ /ano		ECO _{2,real}	5,9754	tCO ₂ /ano	
ECO _{2,ref}	2,232	tCO ₂ /ano		ECO _{2,ref}	9,953	tCO ₂ /ano	

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Como a escola não possui outro consumo de energia que não seja a de origem elétrica, com a energia *on-site* de energia elétrica o Bloco Infantil deixará de causar emissões de CO₂, ou seja, o PCO₂ será de 100%.

Convém ressaltar que a INI-C não considera a edificação NZEB sem anteriormente obter a classe “A” na classificação geral, portanto, após a eficiência do Bloco Infantil, foi escolhido o sistema de energia *on-site* de energia renovável por meio de painéis solares. O Potencial de Geração de Energia (PGE) em % será de 100%, ou seja, o Bloco Infantil será autoprodutor de energia elétrica. Por meio da simulação pelo *software PVsyst V7.2.0*¹⁵, constata-se que a área do telhado comporta a quantidade de painéis, conforme descrito a seguir, para suprimento da demanda (Figura 76).

Figura 76: Simulação do telhado do Bloco Infantil com os painéis solares (área ocupada em azul).



Fonte: PVsyst V7.2.0 (2021)

A quantidade de painéis a serem utilizados para suprir a demanda anual de energia do modelo real foi de 134 unidades (Tabela 21).

¹⁵ Disponível em: <https://www.pvsyst.com/software-evaluation/>

Tabela 21: Quantidade de painéis para o modelo real.

Modelo real		
Consumo anual	kWh/ano	90468,86
Média do consumo mensal	kWh/mês	7539,07
Taxa de disponibilidade	kWh	100
E - Consumo diário médio anual	Wh/dia	247969,1
Horas de Sol Pleno (HSP)	h	5,3
TD - Taxa de desempenho do sistema	W	0,78
Potência do sistema		59982,84
Potência da placa	W	450
Quantidade de painéis	Qtd.	133,30
Quantidade de painéis utilizados	Qtd.	134
Potência nominal do sistema	Wp	60300
Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI)		0,75
Potência do inversor	kWh	46

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Já a quantidade de painéis a serem utilizados para suprir a demanda anual de energia do modelo hipotético foi de 82 unidades (Tabela 22).

Tabela 22: Quantidade de painéis para o modelo hipotético.

Consumo anual	kWh/ano	55828,21
Média do consumo mensal	kWh/mês	4652,35
Taxa de disponibilidade	kWh	100
E - Consumo diário médio anual	Wh/dia	151745,0141
Horas de Sol Pleno (HSP)	h	5,3
TD - Taxa de desempenho do sistema		0,78
Potência do sistema	kW	36706,58299
Potência da placa	W	450
Quantidade de painéis	Qtd.	81,57
Quantidade de painéis utilizados	Qtd.	82
Potência nominal do sistema	Wp	36900
Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI)		0,75
Potência do inversor	kWh	28

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

É possível observar que há uma redução de 38,8% na quantidade de painéis solares em relação ao modelo real, ou seja, há uma importância ambiental com a eficiência da edificação antes de implantar a energia *on-site* de energia elétrica.

4.5.4 Diagnóstico para auxílio de projetistas

A fim de propor, por meio de *retrofit*, diretrizes projetuais que visam o alcance de um ambiente escolar com classe “A” de eficiência, propondo neste diagnóstico alguns itens observados. Como já identificado por outros pesquisadores como Silva e Frederico (2022) a INI-C deverá ser aplicada após o término dos projetos para que haja tempo hábil para a realização de mudanças antes da execução. Portanto, as observações de alguns parâmetros poderão contribuir durante esta fase.

Em primeiro lugar, o projeto arquitetônico deve contemplar a iluminação natural nos corredores, já que o sensor de presença não é recomendado devido ao fluxo de alunos serem constantes e a ação de ligar e desligar as lâmpadas LEDs reduz sua vida útil.

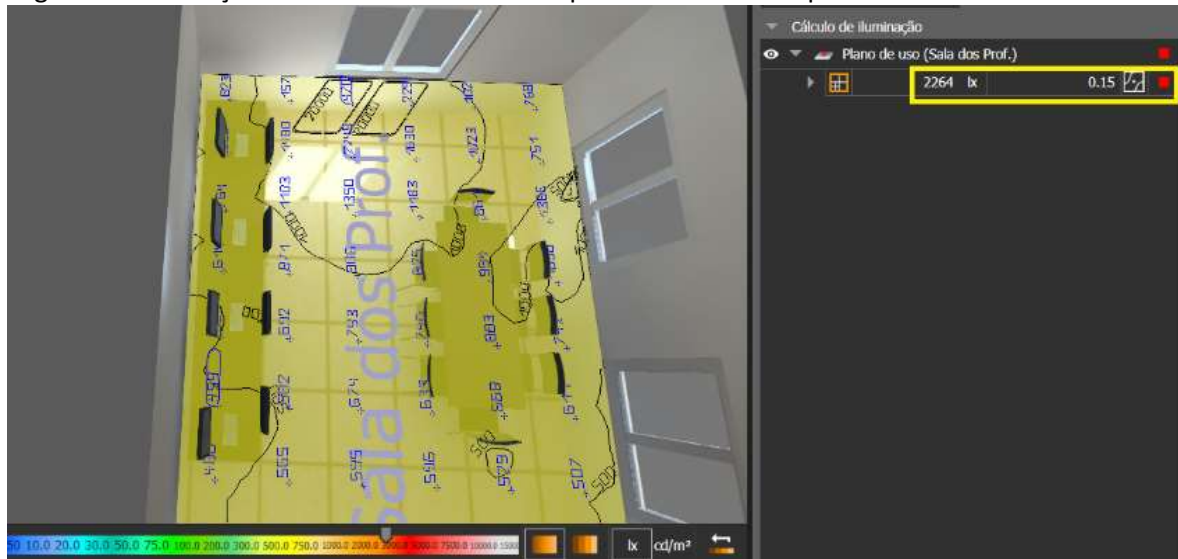
A tecnologia LED vem se destacando por seu baixo consumo, mas os indicadores de eficiência luminosa deverão ser verificados, ou seja, recomenda-se que estes sejam maiores que 100 lumens por Watts. É necessário ainda um termo de compromisso entre gestores escolares e projetistas para que as lâmpadas, quando queimadas, sejam substituídas com todos os parâmetros de projetuais.

Para uma melhor viabilidade e por se tratar de um *retrofit*, através das simulações feitas para o Bloco Infantil de EPC, foram utilizados interruptores de 2 teclas mas, para projetos novos é bom prever acionamentos de no mínimo 3 teclas para que as lâmpadas sejam ligadas conforme a necessidade da luz elétrica em complementação a natural.

Para projetos de iluminação de estacionamentos são indicados a utilização de relés temporizadores, pois Cuiabá/MT tem dias majoritariamente ensolarados. O levantamento iconográfico realizado às 17h30 para o solstício de verão indicou a disponibilidade de luz solar, logo, para evitar o desperdício de energia deve-se utilizar relés com tempo programados de acordo com as estações do ano.

Foi constatado também, em simulações para o solstício de verão às 9h que existe um excesso de luz e ausência de uniformidade nas salas com aberturas voltadas para Oeste, a exemplo da sala dos professores (Figura 77). Outras simulações foram realizadas para esta orientação, como mudanças de janelas por exemplo, constatando que deverão ser evitadas tais aberturas.

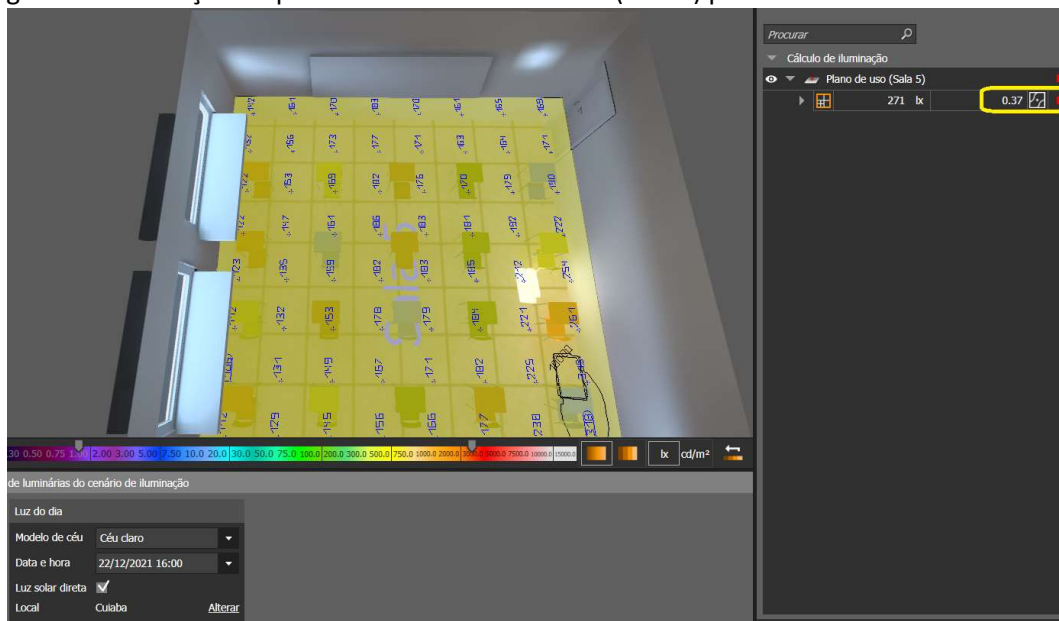
Figura 77: Simulação de uma abertura voltada para fachada Oeste para o solstício de verão às 9h.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Devido ao excesso de luz verificou-se que a tela solar de poliéster e PVC, que filtra os raios ultravioleta, ajuda na captação da luz solar e também evita o brilho intenso nos quadros brancos. Através das simulações as janelas altas são boas opções projetuais em todas quase todas as direções (com exceção das aberturas para Oeste), pois aumentam a uniformidade da luz. Quando associadas às prateleiras de luz, o fator de uniformidade continua baixo (Figura 78), portanto, não foi considerado para o *retrofit*, ou seja, mesmo com esta solução de projeto, ainda sim haveria necessidade de algum elemento de controle para evitar pontos de brilhos intensos da luz solar.

Figura 78: Simulação de prateleiras de luz na Sala 05 (Norte) para o solstício de verão às 16h.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

5 CONCLUSÃO

O alto consumo energético, somado à crise hídrica que assola o país, leva à necessidade de acionamento das usinas termelétricas, que aumentam as emissões de CO₂ na atmosfera e contribuem para o aquecimento global. A fim de limitar os impactos causados pelas mudanças climáticas, é essencial que haja uma redução no consumo de energia elétrica para aliviar o sistema elétrico brasileiro. Nesse sentido, é imprescindível a revisão e redefinição na forma como a energia elétrica é usada e produzida, buscando a efficientização dos sistemas e a adoção de práticas sustentáveis.

Com o intuito de intensificar as ações frente à crise energética e buscando um alinhamento com as estratégias globais de sustentabilidade, a nova INI-C permite contabilizar não apenas o consumo de energia, mas o uso de energias renováveis e também quantificar as emissões de CO₂ e o potencial de economia de água potável a partir de sistemas que promovem a redução de seu consumo.

Por meio da nova INI-C é possível avaliar e classificar cada sistema separadamente. Neste trabalho, a envoltória do Bloco Infantil (modelo real), que é um item obrigatório para todos os sistemas, foi avaliada com o nível máximo de eficiência energética (Classe “A”), mas, em relação a este sistema, são constantes as reclamações quanto ao conforto térmico no local e, conseqüentemente, a edificação apresenta um alto consumo de energia, demandada pelo sistema de ar condicionado.

Como Cuiabá atinge altas temperaturas, além da telha termoacústica, o baixo PAF (25%) contribuiu para esta classificação energética da envoltória. Esta baixa porcentagem é devido aos modelos de janelas da escola, que permitem somente 50% da passagem de luz solar. Também porque há uma janela voltada para o corredor e outra obstruída, em consequência disso há necessidade do uso constante da luz elétrica para atingir a média da iluminância normatizada para as salas de aula, aumentando o consumo de energia elétrica.

Com a efficientização do sistema de iluminação houve redução da DPI de 9,2W/m² para 7,1 W/m², porém, mesmo o modelo hipotético sendo classificado com eficiência energética “A”, não indica efetivamente a qualidade do sistema. Isto se deve ao fato de que não há uma contribuição efetiva da iluminação natural, que é abundante em Cuiabá, portanto, foi necessária a desobstrução da janela da sala 01 e também a inclusão de duas janelas na sala 02. Ao realizar tais alterações, tornou-se desnecessário o acionamento das lâmpadas próximo a essas aberturas e, conseqüentemente, contribuindo para a redução da densidade de potência para 3,6 W/m².

Com relação ao estacionamento, através de ações simples como o uso de comandos com temporizadores é possível manter os níveis de iluminância requeridos o não acionamento das luminárias sem que haja necessidade, verifica-se uma redução de 51,87% no consumo de energia elétrica e de 34,1% da luz e com isto a poluição luminosa associada ao mesmo

Como o Potencial de Integração é meramente informativo, quando o sistema de iluminação é analisado separadamente, mesmo obtendo a máxima classificação de eficiência, não indica que esta seria uma condição ideal, pois a integração entre a luz natural e a elétrica deveriam ser consideradas como um item de avaliação.

Outrossim, foi observada na simulação da iluminação natural do modelo real, em que as salas de aula não conseguem obter a luminância média de 300 lux como determina a nova INI-C. Como sugestão para isso, haveria a necessidade da substituição das janelas de esquadria de alumínio com veneziana.

Com relação ao sistema de condicionamento de ar, a substituição dos aparelhos de ar-condicionado do Bloco Infantil da EPC possibilitou a melhoria na classificação energética do sistema, da classe “C” para a classe “B” e o decréscimo de 67,3% na carga instalada. Este sistema é o que demanda maior consumo de energia elétrica e sozinho contribuiu com um potencial de redução de 40% nas emissões CO₂, o que corresponde a cerca de 3,98 tCO₂/ano. Portanto, haverá melhorias na qualidade do ar e também redução do aquecimento global.

Ao inserir novas aberturas na envoltória do Bloco Infantil da EPC, por meio do modelo hipotético, foram escolhidas janelas altas devido ao fato de a maioria das aberturas estarem voltadas para os estacionamentos que possuem cerca de 1.600 m², com piso de cimento e somente 2 elementos arbóreos de grande porte para projetar sombra, o que poderia aumentar a carga térmica nestas salas de aula, mas as aberturas são importantes em períodos pandêmicos. Estes fatos, aliados à distribuição da luz solar das janelas altas, com mais uniformidade e atingindo mais profundidade nas salas, foram determinantes para esta escolha.

A nova INI-C é de caráter técnico e não há como avaliar o bem-estar dos usuários somente obtendo a classificação energética “A”, pois a norma faz somente a exigência que as edificações submetidas a esta classificação atendam aos requisitos estabelecidos pelas normas da ABNT vigentes e aplicáveis (LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME, 2021).

Outro item importante é que para inserir a energia *on-site* primeiramente precisa obter a classe “A” na classificação geral, possibilitando a preservação dos recursos naturais e evitando a inserção de uma quantidade elevada de placas solares de maneira desnecessária. Para este trabalho, esta medida prioritária de eficiência evitou a utilização de 52 placas solares inutilmente.

É importante destacar que esses índices são referentes apenas ao Bloco Infantil, que corresponde a cerca de 20% da área construída da escola. Desta forma, pensando na edificação como um todo, essas reduções são ainda mais significativas.

5.1 Recomendações para Trabalhos Futuros

Na presente pesquisa não foi avaliado o conforto dos usuários, mas há um indicativo de desconforto causado pelo calor relatado por frequentadores do Bloco Infantil da EPC. Porém, é importante confrontar os valores de eficiência energética previstos por norma com a qualidade do ambiente segundo a percepção dos usuários. Outro ponto a ser investigado é o tempo de retorno (*Payback*) de tais investimentos em eficiência energética.

6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. R. **Proposta de melhoria no desempenho energético**: estudo de caso em uma instituição de ensino básico e superior em Itajubá. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-1: **Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, p. 14, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR: ISO/CIE 8995-1: **Iluminação em ambientes de trabalho**. Rio de Janeiro, p. 2. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15215-4: **Iluminação natural - parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - método de medição**. Rio de Janeiro, p.6. 2005a.
- BAJAY, S., JANNUZZI, G. M., HEIDEIER, R. B., VILELA, I. R., PACCOLA, J. A., & GOMES, R. **Geração distribuída e eficiência energética**: reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro. Campinas: lei (international Energy Initiative), 2018.
- BAVARESCO, M. V.; GHISI, E. **Métodos de avaliação de eficiência energética por consumo global e energia primária**. CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, p.2, 2016.
- BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Análise da precisão de um metamodelo para a avaliação da envoltória de acordo com o regulamento brasileiro de eficiência energética em edificações. *In*: ENCAC 2017-XIV ENCONTRO NACIONAL e X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Balneário Camboriú, 2017. **Anais [...]**. Balneário Camboriú, 2017a.
- BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. UFSC: Florianópolis, 2017b. CB3E - Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações.
- BECK, E. O; PEREIRA, F.O.R; LAMBERTS, R. **Desempenho luminoso e energético de LEDs para reformas de sistemas de iluminação de ambientes de escritório**. 2016. Dissertação (Mestrado em

Engenharia Civil) – Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

BORGES, C. Q. P. **Eficiência energética em edificações: estudo de caso do aquartelamento da Comissão Regional de Obras do Estado de São Paulo**. 2020. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

BORTOLAN, G. M. Z; FERREIRA, M. G. G; TEZZA, R. Conforto e Desconforto: Revisão de Conceitos e Elaboração de um modelo de conforto visual. **Human Factors in Design**, v. 8, n. 15, p. 067-084, 2019.

BOYCE, P. R. **Human factors in lighting**. Londres: Taylor & Francis, 2003.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2030**. Brasília: MME/EPE, 2021a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Resolução ANA nº 77, de 1º de junho de 2021. Declara situação crítica de escassez quantitativa dos recursos hídricos na Região Hidrográfica do Paraná. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n.102-A, p.01, 01 de junho 2021b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). **Portaria Inmetro nº 372, de 17 de setembro de 2010**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001599.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.
BRASIL. **Instrução Normativa MPOG/SLTI nº 2, de 4 de junho de 2014**.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris**. Brasília: MME, 2015.

CARLO, J. C.; LAMBERTS, R. Parâmetros e Métodos Adotados no Regulamento de Etiquetagem da Eficiência Energética de Edifícios: parte 1: método prescritivo. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 7-26, 2010.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Introdução ao novo método de avaliação do PBE EDIFICA**. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/1%20-%20introdu%3ca7%3ca3o%20ao%20novo%20m%3ca9todo.pdf>. Acesso em: 25 maio 2021.

CELLA, A.; GUARDA, E. L. A.; DOMINGOS, R.; ALVES, M. Desempenho energético de um edifício de escritórios: aplicação do método simplificado da nova proposta de etiquetagem de edifícios comerciais. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18. 2020, Porto Alegre. Porto Alegre: ANTAC, 2020. **Anais [...]**. Porto Alegre, 2020.

CHEPP, E. D.; GASPARIN, F. P. Análise de medidas de eficiência térmica no consumo energético e conforto térmico de uma edificação. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v.5, n.3, p.236-249, 2019.

COMPONENTES construtivos. **Projeteeee**. 2021. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/projeteeee/componentes-construtivos/#paredes>. Acesso em: 25 maio 2021.

COSTA, F.; JANNUZZI, G., LAMBERTS, R.; LETSCHERT, V.; MELO, A. P.; BORGES, K.; SHAH, N. Estudo de impacto regulatório: diretrizes gerais e estudo de caso para condicionadores de ar tipo *split system* no Brasil. **Projeto Kigali, Instituto Clima e Sociedade**, Rio de Janeiro, 2019.

DANTAS, S. G., POMPERMAYER, F. M. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico (Nº. 2388)**. Texto para Discussão. 2018.

DA SILVA, T. R.; Frederico, C. Análise da eficiência energética da escola classe 01 do Riacho Fundo do Distrito Federal: Analysis of the energy efficiency of the school escola classe 01 of Riacho Fundo– Federal District. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 5, n. 5, p. 21028-21047, 2022.

ELETOBRAS. **Resultados do PROCEL, 2021**. Disponível em: <https://www.eletobras.com/PCI/resultadosprocel2021>. Acesso em: 15 maio 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz Energética e Elétrica**. EPE, 2020a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 25 maio 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética**. Nota Técnica. Brasília: MME/EPE, 2020b. Disponível em: <http://energif.mec.gov.br/images/materiais/materiais23.pdf>. Acesso em: 25 maio 2021.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022 - ano base 2021**. Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 04 jul. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica DEA 13/15 - **Demanda de energia 2050**. Estudos da demanda de energia, p. 257, 2016.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Atlas de Eficiência Energética Brasil 2019**. Brasília: MME/EPE/IEA, 2019. Brasília: MME/EPE/IEA, 2019.

FERNANDES, L. O. **Procedimento para retrofit do desempenho termoenergético de edifícios de ensino através da aplicação de estratégias passivas de condicionamento**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

FONSECA, R. W. **Iluminação Natural e Consumo Energético de Edificações Não Residenciais: as possibilidades e as limitações da aplicação de redes neurais artificiais**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FORTES, M. Z.; SANTOS GOUVEIA, L. D. C. dos; RODRIGUES, T. A.; OLIVEIRA, F. J.; OLIVEIRA, L. B. Análise dos Impactos da Substituição de Lâmpadas Fluorescentes por Lâmpadas LED em Navios Militares. **Engvista**, v. 20, n. 4, p. 560-571, 2018.

FOSSATI, M., GNECCO, V. M., GUARDA, E. L. A. D., KAMIMURA, A. M., MIZGIER, M. O. Análise do decaimento de eficiência em painéis fotovoltaicos: estudo de caso em uma edificação residencial de energia positiva. *In*: IX Encontro de Sustentabilidade em Projeto–UFSC–Florianópolis (ENSUS 2021). **Anais [...]**. Florianópolis, 2021.

FOSSATI, M.; LAMBERTS, R. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: discussões sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 59-69, 2010.

FRANÇA, S. S. de; FONSECA, R. W. da; PEREIRA, F. O. R. Método simplificado baseado na disponibilidade de luz difusa para estimar o potencial energético do aproveitamento da luz natural

em edificações. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, v. 27, n. 51, p. e168249-e168249, 2020.

FRONTEIRAS DA GEOGRAFIA. **Depressão Cuiabana**. 2011. Disponível em: <https://pensargeo.wordpress.com/2011/04/11/formas-de-relevo/>. Acesso em 26 jun. 2021.

FUNDACENTRO. **Norma de Higiene Ocupacional n.º 11**: avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho. São Paulo, 2018.

GALBIATTI, S. P. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião jurídica**, v. 17, n. 33, p. 123-147, 2018.

GERALDI, M. S.; BAVARESCO, M. V.; TRIANA, M. A.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Addressing the impact of COVID-19 lockdown on energy use in municipal buildings: A case study in Florianópolis, Brazil. **Sustainable Cities and Society**, v.69, p.102823, 2021.

GNECCO, V. M.; GIARETTA, R. F.; KAMIMURA, A. M.; FOSSATI, M. Avaliação dos custos de estratégias de eficiência energética para uma Edificação de Energia Zero. *In*: XVIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC 2020). **Anais [...]**. 2020.

GUARDA, E. L. A.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Efeitos do Aquecimento global nas estratégias de projeto das edificações por meio de cartas bioclimáticas. **Revista Engineering and Science (E&S)**, v. 7, n. 2, p. 54-70, 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Meteorológicos**. Dados Históricos Anuais - Ano 2000. Brasília, 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A901>. Acesso em: 19 jul. 2021.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 42, de 24 de fevereiro de 2021. Aprova a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n.45, p.44, 09 de março 2021a.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria nº 269, de 22 de junho de 2021. Aprova os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Condicionadores de Ar - Consolidado. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n.118, p.78, 25 de junho 2021b.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Consulta pública nº 3, de 9 de março de 2021. Aperfeiçoa os Requisitos de Avaliação da Conformidade para a Eficiência Energética de Edificações. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 48, p. 116, 12 de março 2021c.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Eficiência Energética - Condicionadores de Ar Split Piso-Teto com Rotação Fixa Monofásicos - Critérios 2013**. Brasília: INMETRO, 2013. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/splitTeto.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

KOWALTOWSKI, D. **Arquitetura escolar** – o projeto do ambiente de ensino. São Paulo: Oficina de textos, p.248, 2011.

KRASNHAK, L. B. **Proposta de redução no consumo energético e estudo de geração fotovoltaica na sede Ecoville da UTFPR**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

KRASNHAK, L. B.; URBANETZ JUNIOR, J. Proposta de retrofit no sistema de iluminação e estudo de geração fotovoltaica em um dos blocos da UTFPR em Curitiba. *In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR-CBENS 2018. Anais [...]*. Curitiba, 2018.

KRÜGER, E. L.; MORI, F. Análise da eficiência energética da envoltória de um projeto padrão de uma agência bancária em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 3, pág. 89-106, 2012.

LABEEE/CB3E/ELETOBRAS/PROCEL/MME. **Manual de aplicação da INI-C edificações comerciais, de serviços e públicas**. Versão 1, 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20INI-C_JUN_V01.pdf. Acesso em: 25 jul. 2021.

LAMBERTS, R.; CLETO, L. T. Certificação de Sistemas PBE Edifica. *In: SEMINÁRIO PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO E AR-CONDICIONADO*. São Paulo: ABRAVA, 2018. **Anais eletrônicos [...]**. São Paulo, 2018. Disponível em: http://abrava.com.br/wp-content/uploads/2018/08/Seminario-PBE-RAC-03-PBE-EDIFICA-Lamberts-e-Tomaz_compressed-1.pdf. Acesso em: 26 mar. 2021.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: Pro-Livros, 2014.

LAMBERTS, R. *et al.* **Casa eficiente**: consumo e geração de energia. Florianópolis: UFSC/LabEEE, v. 2, p. 76, 2010.

LEÃO, E. F. T. B. **Carta bioclimática de Cuiabá-Mato Grosso**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

LEITE, E. F. W. **A influência da ventilação e do sombreamento de aberturas na eficiência energética da envoltória de edificações da administração municipal de Joinville/SC**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2020.

LEITE, E. F. W.; HACKENBERG, A. M. Eficiência energética de envoltória: comparação dos métodos de avaliação RTQ-C e INI-C através de estudo de caso. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 532-552, 2020.

LIMA, B. W. F. **Geração distribuída aplicada a edificações**: edifícios de energia zero e o caso do laboratório de ensino da FEC-Unicamp. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

LOPER, A. C. M.; KRÜGER, E. L.; WONG, I. **Análise do consumo energético de agências bancárias segundo parâmetros do programa brasileiro de etiquetagem**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

LOPES, F. S. D.; CÓSTOLA, D.; LABAKI, L. Cbel. Panorama de consumo energético para estudos de eficiência em edifícios de escritório em regiões de clima tropical. *In: ENCAC 2015-XIII ENCONTRO*

NACIONAL e IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015. **Anais [...]**. 2015.

MACHADO, J. F.; BARBOSA, D.; DE ARAÚJO, P. S. R.; DA SILVA FREIRE, R. Qualificação do Conforto Térmico, Percepção dos Discentes e Soluções Passivas para Redução do Consumo de Energia Elétrica em Escola Pública no Interior da Bahia. *In*: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 2016. **Anais [...]**. 2016.

MAGALHÃES, N. A.; SANTOS, F. G. C.; LUZ, E. G.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; NOGUEIRA, J. S.; SANTOS, F. M. M. Análise do potencial da utilização de energia solar em Cuiabá/MT. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.3, p.114-123, 2019.

MAITELLI, G. T. **O Clima: Geografia de Mato Grosso. Território, Sociedade e Ambiente**. Entrelinhas, Cuiabá, 2005. p. 238-249.

MARQUES, P. R. F. *et al.* Análise da viabilidade econômica da implantação de tecnologia LED na iluminação interna de uma escola pública. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 18, n. 1, p. 143-155, 2020.

MARTAU, B. T.; SCARAZZATO, P.S. **Impactos não visuais da iluminação**. Editado por ENCAC X. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. Natal, 2009.

MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J. B. R.; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇI, O.; YU, R.; ZHOU, B. (eds.). **IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

MELO, A. P. *et al.* Determinação do nível de eficiência da envoltória de edificações comerciais de acordo com o RTQ-C. *In*: PROCEEDINGS OF THE 11th ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Buzios (Brazil), 17–19, ago. 2011. **Anais [...]**. Búzios, 2011.

MENKES, Monica. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade**. 2004. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília. Brasília, 2004.

MOREIRA, S. **Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética**. Rio de Janeiro: LTC, Grupo GEN, 2017. 9788521633785. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521633785/>. Acesso em: 06 jul. 2021.

NETTO, A. L.; UGEDA JÚNIOR, J. C. O contexto ambiental e político da implantação do veículo leve sobre trilhos (VLT) na Cuiabá cidade verde: A retirada da vegetação do trecho para o projeto do VLT em Cuiabá, MT (2014). **Revista Contexto Geográfico**, v.4, n.8, p.27-44, 2020.

NOGUEIRA, A. C. M. L.; BERTUSSI, G. L. O setor de energia elétrica brasileiro e a perspectiva de uma reforma setorial. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 26, n. 1 e 2, p. 16-45, 2019.

PBEEDIFICA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Sobre**. 2021a. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sobre>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PBEEDIFICA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Anexos RAC**. 2021b. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/anexos_rac. Acesso em: 14 abr. 2021.

PBEEDIFICA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Redes comerciais**. 2021c. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html. Acesso em: 14 abr. 2021.

PBEEDIFICA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Método simplificado – Envolória. **Edificações condicionadas eletricamente**. 2021d. Disponível em: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#. Acesso em: 12 maio 2022.

PBEEDIFICA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Edificações Residenciais. Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Condicionadores de ar. **Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF)**. 2021e. Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/cspf/>. Acesso em: 12 maio 2022.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Mapa-múndi atualizado da classificação climática Köppen-Geiger. **Hidrologia e ciências do sistema terrestre**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007.

PESSOA, J. L. N.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Estado da Arte em Eficiência Energética: Iluminação e Envolória**. Florianópolis: Centro Brasileiro de Eficiência Energética de Edificações, 2013.

PIMENTA, R. G. **Energia operacional e impactos incorporados em retrofit de saletas comerciais de edifícios de escritórios**. 2020. 1 recurso online (117 p.) Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2020. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1640136>. Acesso em: 25 jul. 2022.

PIMENTEL, B. P.; BARBOSA, A. T. R. Etiquetagem energética de uma edificação militar pelas metodologias dos regulamentos brasileiros RTQ-C e INI-C. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 631-647, 2020.

PROCEL INFO. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **O Programa**, 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?Team=%7B505FF883%2DA273%2D4C47%2DA14E%2D0055586F97FC%7D>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PROCEL INFO. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Lei**. 2014. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PROCEL INFO. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. **Selo PROCEL**, 2021. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={88A19AD9-04C6-43FC-BA2E-99B27EF54632}>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PROJETO de sistemas FV com PVSyst e SOLERGO. Geração de relatórios de desempenho e análise das principais causas de perdas nos sistemas fotovoltaicos. **Canal Solar**, 2021. Disponível em: https://cursos.canalsolar.com.br/curso/projeto-de-sistemas-fv-com-pvsyst-e-solergo/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=search&utm_term=pvsyst&gclid=Cj0KCCQjw54iXBhCXARIsADWpsG9q6xajgpEgnkU8cwrwa-ddx3Y0Lkg8a1LmfMzOeaIDV6jz4gC1zEaAuUQEALw_wcB. Acesso em: 15 maio. 2021.

RODRIGUES, G. M.; SOUZA, R. V. **Análise de metodologias para avaliação da eficiência energética de edificações públicas**. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre: ANTAC, 2012. ANTAC, 2014a.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil** - versão 3.0. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre: ANTAC, 2014b. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Roriz_2014.pdf. Acesso em: 25 set. 2021.

RUDNICKI, L.; SCHMIDT, A. O. Avaliação da melhoria na classificação energética e viabilidade financeira de Retrofit na iluminação de um prédio público. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, p. 50-57, 2020.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 4, p. 75-86, 2013.

RUPP, R. F.; LAMBERTS, R. **Relatório**: Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões de dióxido de carbono a serem usados na etiquetagem de nível de eficiência energética de edificações. UFSC/CB3E: Florianópolis/SC. p.100, 2017.

SANTOS, A. P. dos; FELICI, E. M.; SANTOS, V. R. dos. Proposta de diminuição do consumo de energia elétrica e redução dos impactos ambientais através da análise de viabilidade de substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED em um supermercado. In: **Colloquium Exactarum**. ISSN: 2178-8332. 2020. p. 62-72.

SFEIR, B. O.; PIAI, J.; CERVANTES, S. G. S.; GIGLIO, T. Proposta de *Retrofit* para o Sistema de Iluminação de uma Edificação Pública Federal. In: X CBPE CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. Gramado-RS, 2016. **Anais** [...]. Gramado, 2016.

SOUZA, D. F. de. DIALUX: uma ferramenta em constante evolução. **Revista LUME Arquitetura**, ed, v. 49, 2011.

SOUZA, F. G.; ROCCA, G. A. D.; FERREIRA, F. C. S.; STEFENON, S. F.; ARRUDA, P. Análise de viabilidade econômica da substituição de lâmpadas comuns por econômicas e tecnologia LED em residências. **Revista Espacios**, v. 38, n. 51, p. 1-17, 2017.

SROUR, S. **A reforma do estado e a crise no setor de energia elétrica**: uma visão crítica do caso brasileiro. 2005. Dissertação (Mestrado em Administração Pública) - Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2005.

TAMBOSI, R. G.; HACKENBERG, A. M. Análise e classificação da envoltória de subprefeitura da cidade de Joinville-SC através do método INI-C. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 165-185, 2020.

TEOBALDO N. A. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical**: o caso Cuiabá/MT, 2019. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, São Paulo, 2019.

TORCELLINI, P. A.; PLESS, S.; DERU, M. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. In: ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in: Buildings, California, 2006. **Proceedings California: ACEEE Summer Study**, 2006.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). **Report of the Conference of the Parties on its twenty-first Session**: held in Paris from 30 November to 13 December 2015. Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first session.

FCCC/CP/2015/10/Add.1, 2016. Disponível em:
<https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2021.

WONG, L.; LOPER, A. C. M.; KRÜGER, E.; MORI, F. K. Avaliação do desempenho energético e comparação de edifícios de bancos brasileiros amostrados com os sistemas de classificação energética existentes e propostos. **Energia e edifícios**, 225, 110304. Universidade Estadual de Campina, Campinas/SP. p.24, 2020.