

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

BENJAMIM ABREU DE SOUZA

**MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA PRÉDIOS
PÚBLICOS NO ESPÍRITO SANTO: UM ESTUDO DE CASO
DO CPID**

VITÓRIA
2023

BENJAMIM ABREU DE SOUZA

**MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA PRÉDIOS
PÚBLICOS NO ESPÍRITO SANTO: UM ESTUDO DE CASO
DO CPID**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Benjamim Abreu de Souza**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Marcia H. M. Paiva
Coorientadora: M. Sc. Lohane B. Palaoro

VITÓRIA
2023

BENJAMIM ABREU DE SOUZA

**MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA PRÉDIOS
PÚBLICOS NO ESPÍRITO SANTO: UM ESTUDO DE CASO DO CPID**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Benjamim Abreu de Souza**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em 17 de julho de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA:

M. Paiva

Profa. Dra. Marcia H. M. Paiva
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESPÍRITO SANTO
Orientadora

M. Sc. Lohane B. Palaoro

M. Sc. Lohane B. Palaoro
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESPÍRITO SANTO
Coorientadora

M. Sc. Anderson A. Fraga

M. Sc. Anderson A. Fraga
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESPÍRITO SANTO
Examinador

Prof. Dr. Augusto C. Rueda Medina

Prof. Dr. Augusto C. Rueda Medina
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
ESPÍRITO SANTO
Examinador

*Dedico este trabalho a Adonai, aos meus pais, Samuel e Vanessa,
ao meu irmão, Levi e a minha noiva, Biandra.*

AGRADECIMENTOS

Louvo a *Elohim* pela vida, sabedoria, discernimento, prudência e perspicácia dada até este momento e honro a minha família por todo apoio, carinho e instrução dada, essenciais para meu crescimento, incluindo meu progresso no curso de engenharia elétrica.

Agradeço a Universidade Federal do Espírito Santo e a todo o corpo docente e discente, o qual tive o privilégio de conhecer e conviver, contribuindo demasiadamente em meu aperfeiçoamento pessoal e profissional.

Deixo minha gratidão a orientadora Marcia Helena e a coorientadora Lohane Palaoro, por toda disponibilidade de tempo, aconselhamento e direção, os quais sem dúvida foram primordiais para meu aprendizado e desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Estendo este sincero reconhecimento ao laboratório ELENA e ao CPID (Centro de Pesquisa Inovação e Desenvolvimento do Espírito Santo), pela recepção, colaboração e disponibilidade de informações fundamentais para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Grande parte das edificações de serviços, comerciais e públicas possui um elevado potencial de redução de consumo e custos com energia elétrica e por conseguinte a redução de emissões de gases do efeito estufa, sendo a eficiência energética um conceito chave para esta mitigação. Nesta perspectiva, este trabalho propõe medidas de eficiência energética voltada para edificações, com foco no âmbito público, contando com um estudo de caso de uma edificação do Estado do Espírito Santo, o CPID (Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento). Para tal, realizou-se um diagnóstico energético da edificação com base na norma NBR ISO 50.002 e adicionalmente avaliou-se os três principais sistemas da edificação: iluminação, condicionamento de ar e envoltória, conforme a metodologia do RTQ-C (Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas), elaborada pelo programa nacional denominado PBE Edifica (Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações). Assim, através da análise dos resultados do diagnóstico energético e dos níveis de eficiência obtidos, foram identificados e avaliados os pontos de melhoria na edificação pública estudada.

Contexto: Edificações, Eficiência energética, Diagnóstico energético, RTQ-C, Procel Edifica.

Palavras-chave: Eficiência energética. Geração distribuída. Diagnóstico energético. Setor público.

ABSTRACT

A significant portion of service, commercial, and public buildings have a high potential for reducing electricity consumption and costs, and consequently reducing greenhouse gas emissions. Energy efficiency is a key concept for this mitigation. From this perspective, this study proposes energy efficiency measures specifically for buildings, with a focus on the public sector, using a case study of a building in the state of Espírito Santo, the CPID (Center for Research, Innovation, and Development). To accomplish this, an energy diagnosis of the building was conducted based on the NBR ISO 50,002 standard, and additionally, the three main systems of the building - lighting, air conditioning, and envelope - were evaluated according to the methodology of the RTQ-C (Technical Regulation for the Quality of the Energy Efficiency Level of Commercial, Service, and Public Buildings), developed by the national program known as PBE Edifica (Brazilian Building Labeling Program). Thus, through the analysis of the results of the energy diagnosis and the obtained levels of efficiency, improvement points were identified and evaluated in the studied public building.

Context: Buildings, Energy efficiency, Energy diagnosis, RTQ-C, Procel Edifica.

Keywords: Energy efficiency, Distributed generation, Energy diagnosis, Public sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Histórico do percentual da energia natural afluyente entre 2000 e 2020.....	19
Figura 2 – Emissões de CO ₂ direta e indireta na geração de energia elétrica.	21
Figura 3 – Transformações necessárias à eficiência energética em cinco setores.....	24
Figura 4 – Ciclo de vida de uma edificação	27
Figura 5 – Custo médio das ações de eficiência energética em função do ciclo de vida de um edifício.	27
Figura 6 – ENCE Geral.....	29
Figura 7 – Zonas bioclimáticas do Brasil	33
Figura 8 – Ventilação por efeito chaminé.....	34
Figura 9 – Estrutura de sombreamento do tipo brise instalada em fachada do CPID.	34
Figura 10 – Fachada de uma edificação, com a área de abertura representada em verde	36
Figura 11 – Edificação, com área de projeção da cobertura.....	37
Figura 12 – Fachada de edificação, com ângulo vertical de sombreamento de 45°	38
Figura 13 – Ângulo horizontal de sombreamento de 18°	38
Figura 14 – Lâmpada Incandescente	39
Figura 15 – Lâmpada de vapor metálico	39
Figura 16 – Reator eletromagnético com capacitores.....	40
Figura 17 – Partes de uma lâmpada LED	40
Figura 18 – Esquemático de uma máquina frigorífica	43
Figura 19 – Comparação do funcionamento entre ares-condicionados com e sem tecnologia <i>inverter</i>	44
Figura 20 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i>	46
Figura 21 – Composição da tarifa de energia elétrica	47
Figura 22 – Aumento gradual da componente referente ao Fio B, não compensada	48
Figura 23 – Fluxograma do processo de diagnóstico energético.....	53
Figura 24 – Consumo de energia elétrica em prédios públicos.....	54
Figura 25 – Imagem aérea do CPID	57
Figura 26 – Medição com analisador de energia dos quadros de distribuição referentes à iluminação externa.....	65
Figura 27 – Fachada de entrada aos laboratórios.....	74
Figura 28 – Propriedades térmicas da parede	75

Figura 29 – Propriedades térmicas da cobertura.....	75
Figura 30 – Iluminação externa danificada.	79
Figura 31 – Iluminação interna ao laboratório LACAR.....	79
Figura 32 – Unidades condensadoras instaladas na cobertura.....	81
Figura 33 – Unidades condensadoras instalados no prédio da administração.....	81
Figura 34 – Unidade evaporadora do tipo split cassete	82
Figura 35 – Unidade evaporadora do tipo split hi-wall	82
Figura 36 – Etiqueta de nível A em ar-condicionado tipo split hi-wall, instalado na administração.....	83
Figura 37 – Tubulação de refrigeração do sistema Multi Split	84
Figura 38 – Tubulação de refrigeração com exposição do material isolante, composto pela espuma elastomérica.	84
Figura 39 – Avaliação da eficiência energética da envoltória com parâmetros inseridos pelo autor	88
Figura 40 – Classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação pelo WebPrescritivo com parâmetros inseridos pelo autor	89
Figura 41. Transformador a seco	98
Figura 42 – Postes de iluminação externa com lâmpadas de vapor metálico.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição do consumo de energia elétrica em kWh no Brasil previsto para 2031	20
Gráfico 2 – Energia elétrica consumida em GWh por classes de consumo no Brasil em 2021.	21
Gráfico 3 – Potencial global de mitigação econômica anual de CO ₂ prevista por setor até o ano de 2030.....	24
Gráfico 4 – Histórico de consumo de energia elétrica do CPID em kWh dividido por posto horário e consumo instantâneo, de 01/2021 a 08/2022.....	62
Gráfico 5 – Consumo de energia elétrica global do CPID em kWh e temperatura média da região em °C.....	63
Gráfico 6 – Amostra da curva de carga em kW dos dias 3 a 6 de março de 2022	63
Gráfico 7 – Demanda média por hora em kW fornecido e recebido pela concessionária referente ao mês de março de 2022	64
Gráfico 8 – Demanda medida em kW referente ao quadro de distribuição QD09 entre os dias 24 e 26 de outubro de 2022.....	66
Gráfico 9 – Demanda medida em kW referente ao quadro de distribuição QD10 entre os dias 29 e 31 de outubro de 2022.....	67
Gráfico 10 – Histórico de demanda mensal máxima registrada e demanda contratada de 414 kW pelo CPID.....	71
Gráfico 11 – Contribuição percentual do consumo de energia elétrica por equipamento no CPID	92
Gráfico 12 – Comparação do consumo real do CPID e benchmark típico em kWh mensais	93
Gráfico 13 – Faturamento do fornecimento de energia elétrica por modalidade tarifária.....	95
Gráfico 14 – Simulação do faturamento anual por demanda contratada para as modalidades tarifárias verde e azul.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem de consumo de energia do setor público por fonte energética.....	22
Tabela 2 – Classificação dos níveis de eficiência.....	31
Tabela 3 – Dados técnicos e de eficiência energética para cada tipo de lâmpada.....	41
Tabela 4 – Graduação entre temperatura de cor e percebida pelo observador.	41
Tabela 5 – Laboratórios ativos no CPID	56
Tabela 6 – Valores das constantes do <i>benchmark</i>	59
Tabela 7 – Potência dos equipamentos que possuem funcionamento noturno no CPID.....	65
Tabela 8 – Consumo mensal estimado de energia elétrica em kWh por grupo de equipamentos	68
Tabela 9 – Comparação do consumo do CPID com valores padrões para edificações públicas.	69
Tabela 10 – Variáveis e constantes utilizadas na equação de <i>benchmark</i>	69
Tabela 11 – Tarifas vigentes de agosto/2021 a agosto/2022	70
Tabela 12 – Tarifas vigentes de agosto/2020 a agosto/2021	71
Tabela 13 – Tarifas do uso do sistema de distribuição para modalidade tarifária verde.....	73
Tabela 14 – Valores de absorvância (α) para revestimentos de paredes e coberturas.....	76
Tabela 15 – Dados de inserção no WebPrescritivo	77
Tabela 16 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência energética adequados para a envoltória do CPID.	78
Tabela 17 – Distribuição da iluminação no CPID	80
Tabela 18 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (<i>DPIL</i>) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício.....	80
Tabela 19 – Distribuição os equipamentos de condicionamento de ar.....	82
Tabela 20 – Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para sistemas de resfriamento	84
Tabela 21 – Eficiência mínima de condicionadores de ar do tipo Multi Split que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para classificação no nível A.....	85
Tabela 22 – Dados técnicos das unidades condensadores do sistema Multi-Split do CPID ..	86
Tabela 23 – Ponderação e classificação do sistema de condicionamento de ar	90
Tabela 24 – Parâmetros de consumo e geração de energia elétrica do CPID.....	91

Tabela 25 – Resultado do <i>benchmark</i> por uso final comparado ao consumo mensal estimado.	93
Tabela 26 – Custo mensal com contrato de demanda para as resoluções normativas 482/2012, REN 1000/2021 e considerando o contrato vigente do CPID.	96
Tabela 27 – Dados técnicos do transformador do CPID	98
Tabela 28 – Características das lâmpadas tubulares T8 fluorescente e LED	99
Tabela 29 – Detalhamento das medidas de eficiência energética.....	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medidas de eficiência energética por categoria para o CPID.....	97
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABESCO	Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
CPID	Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SCEE	Sistema de Compensação de energia elétrica
TE	Tarifa de Energia
TUSD	Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{Cond}	Área condicionada
A_{Env}	Área da envoltória
A_{Est}	Área de estacionamentos cobertos, com iluminação e ventilação
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento
A_{llu}	Área externa iluminada durante a noite
A_{PCOB}	Área de projeção da cobertura
A_{PE}	Área de projeto do edifício
A_{Tot}	Área total construída
AVS	Ângulo vertical de sombreamento
CT_{PAR}	Capacidade térmica das paredes
FS	Fator solar
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
PAF_{O}	Percentual de área de abertura na fachada oeste
PAF_{T}	Percentual de área de abertura na fachada total
PAZ	Percentual de abertura zenital
Q_{CPD}	Consumo anual do datacenter
T_i	Taxa de ocupação média do edifício durante o mês de medição
$U_{\text{COB-AC}}$	Transmitância térmica da cobertura para área condicionada
$U_{\text{COB-ANC}}$	Transmitância térmica da cobertura para área não condicionada
U_{PAR}	Transmitância térmica das paredes
VRF	Fluxo de Refrigerante Variável
V_{Tot}	Volume total da edificação
α_{COB}	Absortância da cobertura
α_{PAR}	Absortância da parede
ρ	Densidade média de ocupação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Justificativa	19
1.2	Objetivo geral e específico	25
1.2.1	Objetivo geral	25
1.2.2	Objetivo específico	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1	Conceito de eficiência energética	26
2.2	Eficiência energética em edificações públicas	26
2.3	PBE Edifica - Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações	28
2.3.1	RTQ-C	30
2.4	Conceitos sobre Envolvória, Sistema de iluminação e Condicionamento de Ar	32
2.4.1	Envolvória	32
2.4.1.1	Definições de parâmetros principais da envoltória	35
2.4.2	Sistema de iluminação	38
2.4.2.1	Indicadores de eficiência energética.....	42
2.4.3	Sistema de Condicionamento de Ar	42
2.4.3.1	Funcionamento	42
2.4.3.2	Indicadores de Eficiência energética	44
2.5	Geração distribuída	45
2.5.1	Sistema de compensação de energia elétrica	46
2.5.2	Resumo sobre a regulamentação da geração distribuída.....	47
2.5.2.1	Lei 14.300: Marco legal da geração distribuída	47
2.6	Fornecimento de energia elétrica	49
2.6.1	Grupo tarifário	49
2.6.2	Modalidade tarifária	50
2.6.3	Postos horários.....	51
2.7	Diagnóstico energético	52
2.7.1	Benchmark.....	53
3	METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	55
3.1	Seleção do estudo de caso	56

3.2 Método de avaliação energética	57
3.3 Etapas da avaliação energética.....	59
3.3.1 Planejamento	60
3.3.2 Coleta de dados.....	61
3.3.3 Plano de medições	65
3.3.4 Análise do desempenho energético	67
3.3.5 Aplicação do RTQ-C.....	73
3.3.5.1 Envoltória	73
3.3.5.2 Iluminação	78
3.3.5.3 Condicionamento de ar.....	81
3.3.6 Sugestões das medidas de eficiência energética.....	86
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
4.1 Resultados obtidos pelo RTQ-C	88
4.1.1 Envoltória	88
4.1.2 Iluminação	89
4.1.3 Condicionamento de ar.....	89
4.2 Resultados obtidos pelo diagnóstico energético	91
4.2.1 Perfil de consumo	91
4.2.2 Benchmark.....	93
4.2.3 Contrato de energia elétrica.....	94
4.2.4 Propostas de medidas de eficiência energética.....	97
4.2.4.1 Transformação de energia	97
4.2.4.2 Iluminação	99
4.2.4.3 Reparo da iluminação externa	100
4.2.4.4 Contrato de demanda.....	101
4.2.4.5 Conscientização dos ocupantes	101
5 CONCLUSÃO	104
6 REFERÊNCIAS.....	106
APÊNDICE A – PESQUISA DO PERFIL DE CONSUMO POR EQUIPAMENTO ...	110
ANEXO A – PLANTA BAIXA DO CPID.....	114

ANEXO B – FACHADAS DO CPID.....118

ANEXO C – CORTES DO CPID..... 119

1 INTRODUÇÃO

Estima-se que aproximadamente 70% da população mundial viverá em cidades até 2050, devido ao rápido crescimento das regiões urbanas e, como os edifícios, incluindo os públicos, estão presentes em grande parte da infraestrutura urbana, será essencial uma governança predial pautada na sustentabilidade ambiental, para promover e manter o uso mais eficiente da energia elétrica. Felizmente, para as edificações com baixo nível de eficiência energética existem projetos arquitetônicos, práticas de construção e tecnologias que proporcionam benefícios para os ocupantes, como ar mais limpo, maior conforto, além da redução do uso de energia elétrica, que impacta positivamente nos custos com investimentos no sistema de distribuição e geração de eletricidade (WRI, 2018).

Em contrapartida ao crescimento populacional, as regulamentações relacionadas a eficiência energética em edificações estão evoluindo, porém conforme os relatórios globais da IEA (Agência Internacional de Energia) o setor de edificações precisa de mudanças mais rápidas para alcançar um cenário *net zero*, isto é, emissões líquidas zero até 2050 (IEA, 2022a). Ressalta-se que o estado do Espírito Santo se comprometeu em 2021 junto à ONU (Organização das Nações Unidas), a atingir a neutralização das emissões dos GEE (Gases do Efeito Estufa) até 2050, cooperando mundialmente para o cenário *net zero* (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2022).

No Brasil, a busca por medidas e metas de eficiência energética permeia desde a década de 1980, tendo em vista que em 1985 os Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio implementaram o Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), que promove o uso eficiente da energia elétrica. Nesta mesma perspectiva, um ano antes, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, qualidade e tecnologia) instituiu o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem), com intuito de informar os consumidores sobre a eficiência energética de cada produto, fomentando posteriormente a criação do Procel Edifica (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações), ocorrida em 2003, a qual ampliou as ações de conservação e uso eficiente da energia para edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas (PBE EDIFICA, 2020)

Nessa abordagem, as edificações públicas se tornam grandes ferramentas para incentivar a aplicação de eficiência energética no município, estado ou país, por meio da liderança governamental e do próprio exemplo, tendo em vista que o governo pode estabelecer critérios em licitações para os níveis de eficiência da edificação, para os elementos construtivos e para os equipamentos elétricos adquiridos (WRI, 2018).

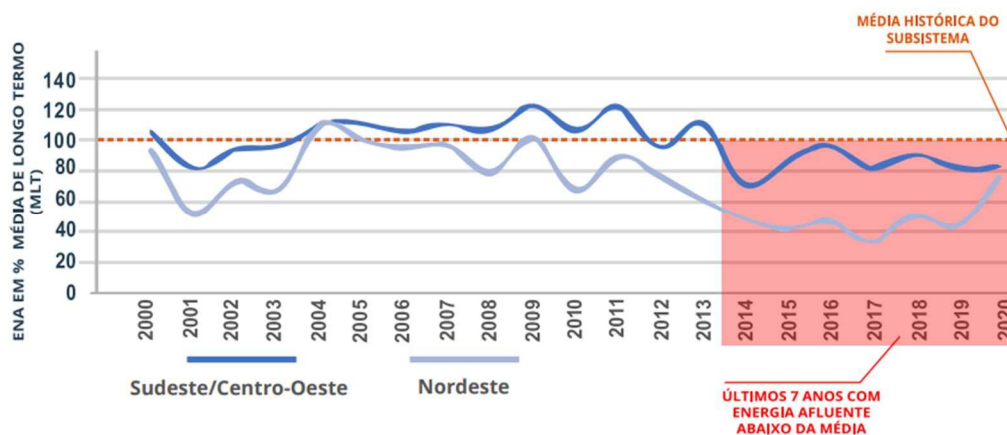
Observada a importância no âmbito público, foi realizado o estudo do edifício público estadual denominado CPID (Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento do Espírito Santo), que é responsável por sediar diversos laboratórios de pesquisa e que, por si só, representa uma ferramenta estadual para promover o uso mais eficiente da energia elétrica em edificações.

1.1 Justificativa

A matriz elétrica do Brasil é composta majoritariamente por usinas hidrelétricas e sabe-se que os reservatórios hídricos já passaram por crises históricas, sendo o caso mais recente em 2021, registrando as menores vazões desde 1930 (EPE, 2021b).

A Figura 1 mostra que o percentual da quantidade de água que chega às usinas hidrelétricas, em unidade de energia (energia natural afluyente), dos subsistemas Sudeste/Centro-Oeste (70% da capacidade de armazenamento do país) e Nordeste apresentaram valores abaixo da média histórica no período de 2014 a 2020 (EPE, 2021b).

Figura 1 – Histórico do percentual da energia natural afluyente entre 2000 e 2020



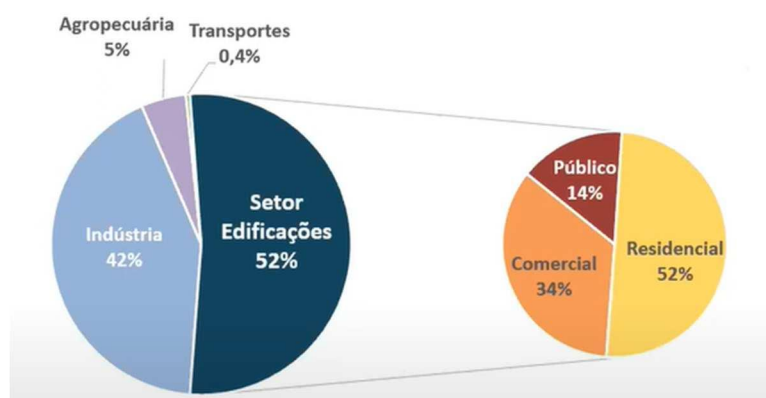
Fonte: EPE (2021b)

Os dados apresentados anteriormente na Figura 1 demonstram que a maior fonte de energia elétrica nacional pode apresentar riscos na geração, alertando sobre a importância do consumo consciente e eficiente mesmo com grande parte da matriz elétrica renovável. Deste modo, quanto maior for a eficiência no uso da energia, maior será a capacidade do sistema interligado nacional, possibilitando a inserção de tecnologias de energia renovável, contribuindo ainda mais para atender a demanda energética (WRI, 2018).

Nesse contexto, é válido incluir a colaboração à demanda energética por meio da redução do consumo em edificações pois, de acordo com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), espera-se que o consumo final de eletricidade no setor de edificações (residenciais, comerciais, de serviço e públicas, incluindo serviços de iluminação pública, água, esgoto e saneamento) em 2031 alcance 415TWh, representando 52% do consumo final de eletricidade do Brasil (MME/EPE, 2022).

O Gráfico 1 mostra a distribuição prevista para 2031 do consumo de energia elétrica entre os setores industrial, agropecuário, de transporte e de edificações, sendo que as construções públicas representam 14%, incluindo as destinadas a serviços públicos.

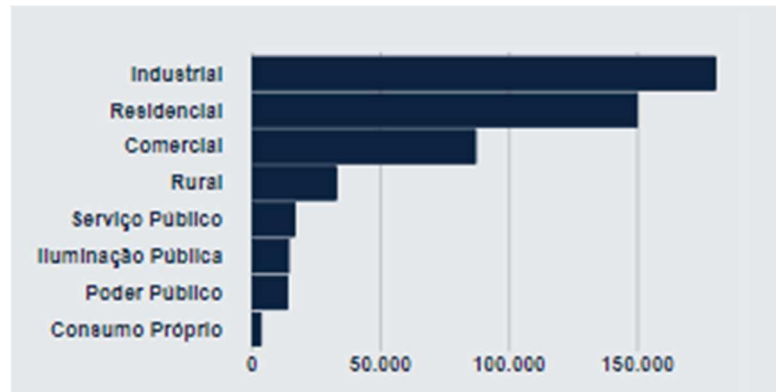
Gráfico 1 – Distribuição do consumo de energia elétrica em kWh no Brasil previsto para 2031



Fonte: MME/EPE (2022)

As edificações públicas são classificadas de duas formas: serviço público ou poder público. Segundo o anuário estatístico de energia elétrica elaborado pela EPE (2022), a classe do poder público representa cerca de 2,5% do consumo total de energia elétrica do país, tendo consumido em 2021 cerca de 13.000GWh, como representado no Gráfico 2.

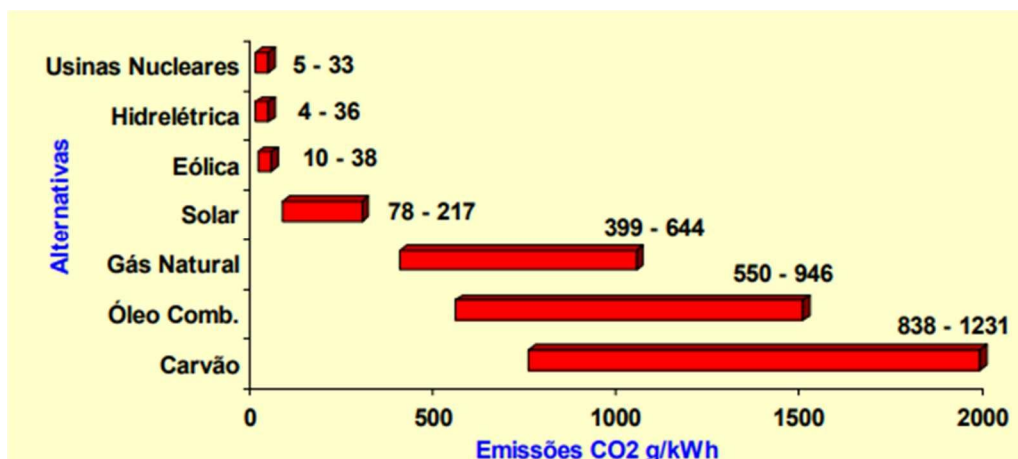
Gráfico 2 – Energia elétrica consumida em GWh por classes de consumo no Brasil em 2021.



Fonte: EPE (2022)

Analisando o consumo de energia elétrica sob a perspectiva ambiental, tem-se que a produção da energia elétrica é uma grande causa da emissão de CO_2 . Entretanto, sabe-se que a matriz elétrica do Brasil possui boa representatividade de fontes renováveis, contribuindo na redução das emissões pela geração de eletricidade. Sabendo disto, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações calculou que o fator médio de emissões de CO_2 em 2021 referente à operação das usinas de geração de energia elétrica foi de aproximadamente $100 \text{ g}CO_2eq/kWh$ (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2021).

A Figura 2 demonstra o fator médio de emissões diretas e indiretas de CO_2 por kWh para cada alternativa de geração de energia elétrica. Sabendo que o Brasil possui um fator médio de emissões de aproximadamente $100 \text{ g}CO_2eq/kWh$, pode-se afirmar que a matriz elétrica brasileira possui emissões de CO_2 equivalente por kWh compatível à de uma usina solar, que compreende o intervalo de 78 a $217 \text{ g}CO_2/kWh$.

Figura 2 – Emissões de CO_2 direta e indireta na geração de energia elétrica.

Fonte: KURAMOTO (s/d)

Assim, ao realizar uma comparação entre o fator de emissão de CO_2 do Brasil e o consumo de energia elétrica apresentado no Gráfico 2, o setor do poder público nacional foi responsável em 2021 pela emissão de cerca de 1.300 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera (EPE, 2022).

Em contrapartida, o consumo residencial e industrial possui maior notoriedade no consumo de energia elétrica, como visto no Gráfico 2 e, por conseguinte, na contribuição nas emissões de gases do efeito estufa.

Sabendo disso, as edificações juntamente com as políticas públicas se tornam importante ferramenta para as partes interessadas em prédios eficientes, isto é, para o governo, concessionárias de energia elétrica e administradores de edificações, pois as políticas auxiliam na disseminação do conhecimento de desempenho energético, quebrando algumas barreiras à eficiência energética, envolvendo questões financeiras, técnicas, institucionais e impostas pelo mercado (WRI, 2018).

Ainda relacionado ao consumo de energia elétrica em edificações públicas, destaca-se que ações nesse setor possuem grande potencial de economia, visto que mais de 92% da energia consumida é proveniente da eletricidade, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Porcentagem de consumo de energia do setor público por fonte energética

FONTES	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ÓLEO DIESEL	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
ÓLEO COMBUSTÍVEL	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2
ELETRICIDADE	87,4	91,5	91,8	92,2	92,3	92,4	92,3	92,8	93,1	92,7
OUTRAS	12,4	8,0	7,8	7,4	7,4	7,5	7,5	7,1	6,8	7,1
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

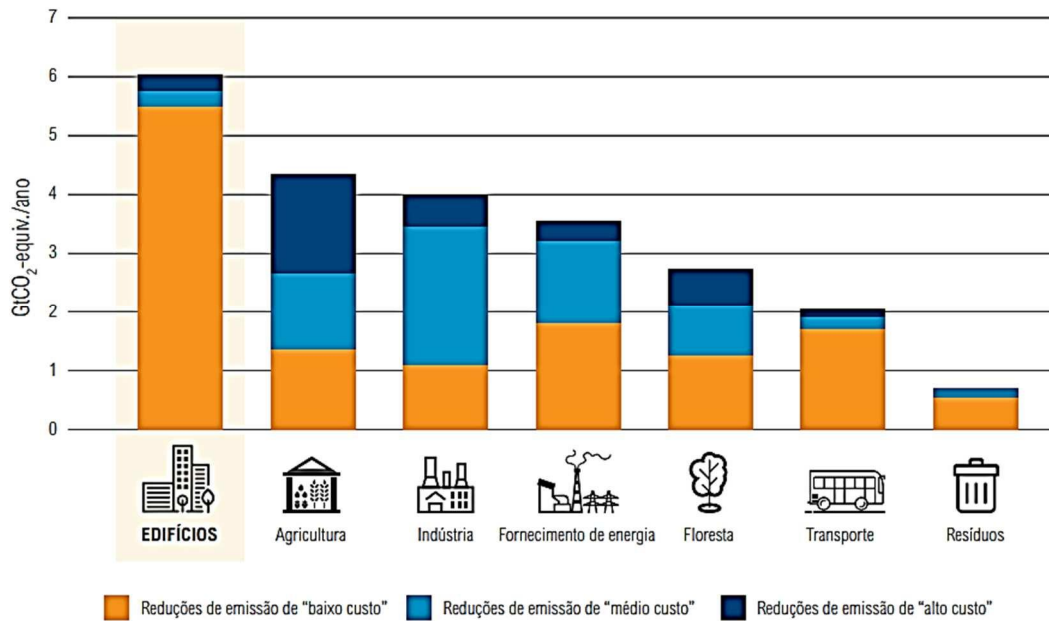
Fonte: EPE (2021a)

Constatando a importância das edificações e seu protagonismo, o WRI (World Resources Institute) estimou o potencial de liderança do setor em ações de eficiência energética, associando-o com a possibilidade de mitigação global de mais de cinco giga toneladas de

dióxido de carbono emitidos na atmosfera anualmente, tendo em vista que o CO₂ compõe mais de 90% dos GEE (WRI, 2018). Para efeitos de comparação, o estado do Espírito Santo em 2021 emitiu cerca de 33 milhões de toneladas de GEE, sendo o 18º estado no *ranking* de emissões no Brasil (SEEG, 2021).

No Gráfico 3 é apresentada a quantidade equivalente de toneladas de dióxido de carbono anuais cuja emissão pode ser evitada pelo setor mundial de edificações até 2030, sendo diferenciado a redução por custo da emissão, uma vez que este custo está vinculado ao mercado de carbono, que consiste na comercialização do direito de emitir GEE, isto é, entidades que obtém o crédito de carbono por evitar emissões em suas atividades, podem vendê-lo para outras organizações que extrapolaram os limites, assim havendo uma compensação monetária pela redução da poluição atmosférica.

A depender da atividade realizada por uma entidade, é definido o custo para recompensar a redução das emissões de GEE, sendo que “baixo custo”, exposta no Gráfico 3, diz respeito a valores inferiores a U\$ 20,00/tCO₂, para “médio custo” valores inferiores a U\$ 50,00/tCO₂ e para “alto custo” valores inferiores a U\$ 100,00/tCO₂. A redução das emissões de baixo custo apresentadas no Gráfico 3 engloba medidas como utilização de iluminação natural, aparelhos elétricos mais eficientes, isolamento de ambientes melhorado, fluidos alternativos de refrigeração e capacitação em relação à eficiência energética dos ocupantes das edificações (WRI, 2018).

Gráfico 3 – Potencial global de mitigação econômica anual de CO₂ prevista por setor até o ano de 2030

Fonte: WRI (2018)

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) com apoio de 278 cientistas de 65 países, elaborou o sexto relatório de avaliação das mudanças climáticas e emissão de gases do efeito estufa e mostra que a reversão da tendência atual exige que os tomadores de decisão nos governos, na sociedade civil e no setor privado priorizem as ações ilustradas na Figura 3, compondo medidas necessárias para atingir melhores níveis de eficiência energética em cinco setores: geração de energia, indústria, transporte, construções e agricultura.

Figura 3 – Transformações necessárias à eficiência energética em cinco setores



Fonte: SCHUMER, FRANSEN (*et al.*, 2022)

Torna-se evidente que a eficiência energética no setor de edificações tem grande potencial de redução do consumo de energia elétrica e conseqüentemente de emissões de GEE nos âmbitos estadual e mundial, ressaltando-se que no âmbito público a liderança governamental pautada no exemplo, auxiliam na quebra das barreiras de aplicação da eficiência energética no mercado, através de ações de melhoria em conjunto de edifícios públicos, por meio de licitações pautadas em níveis de desempenho energético e aplicando incentivo ou até compulsoriedade na obtenção de equipamentos e serviços mais eficientes (WRI, 2018).

1.2 Objetivo geral e específico

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é propor medidas de eficiência energética para edificações públicas, com foco na otimização do consumo de energia elétrica, redução de gastos financeiros e mitigação de emissões de CO_2 . O estudo de caso será realizado no CPID, a fim de demonstrar formas de avaliação da eficiência energética e aplicação às edificações.

1.2.2 Objetivo específico

- Analisar o perfil de consumo da unidade consumidora;
- Identificar oportunidades de melhoria;
- Propor medidas de redução dos custos com fornecimento de energia elétrica;
- Propor medidas de eficiência energética.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceito de eficiência energética

De acordo com a ABESCO (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia), a eficiência energética significa utilizar a energia de maneira que se alcance o melhor resultado possível, considerando a relação entre a quantidade de energia necessária para realizar uma atividade e a energia disponibilizada para essa finalidade (ABESCO, 2023).

A eficiência energética desempenha um papel crucial na busca por um futuro sustentável, pois a otimização do uso de energia reduz o impacto ambiental e auxilia no controle da demanda energética. Sendo que a eficiência energética é amplamente acessível em qualquer geografia, se tornando uma abordagem rápida e econômica a fim de promover práticas sustentáveis e garantir o crescimento sustentável do sistema energético (SINDUSCON-SP, 2018).

2.2 Eficiência energética em edificações públicas

As edificações públicas são definidas como imóveis administrados com recursos públicos, podendo ser destinados à prestação de serviços públicos. Isso inclui prédios administrativos, escolas, hospitais, clínicas, museus, instituições de pesquisa e outras instituições e associações (PBE EDIFICA, 2020).

Adicionalmente nota-se que edificações públicas apresentam diversas topologias e, portanto, convém adotar conceitos e aplicações gerais de eficiência energética, a serem aplicadas em todas as fases do ciclo de vida da edificação, variando de acordo com o objetivo de cada ação. Na Figura 4 são apresentadas as seis etapas do ciclo de vida de uma edificação, as quais influenciam diretamente na avaliação e nas propostas de eficiência energética.

Figura 4 – Ciclo de vida de uma edificação

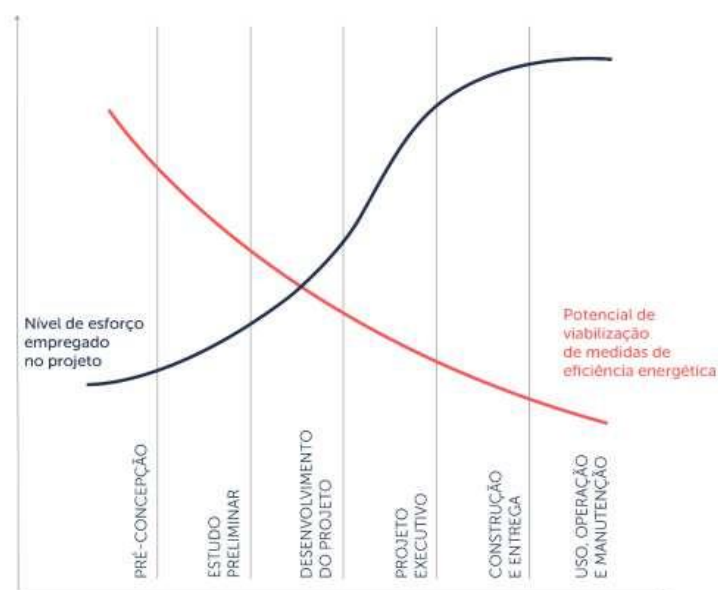


Fonte: SINDUSCON-SP (2018)

Uma ação de eficiência energética auxilia na redução de custos e na promoção da sustentabilidade ambiental, porém sem prejudicar o processo final, buscando sempre o conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia, como já mencionado anteriormente.

Vale ressaltar que a maioria dos edifícios públicos encontram-se construídos, isto é, enquadram-se na etapa de uso, operação e manutenção, resultando em intervenções mais custosas. Neste sentido, a Figura 5 apresenta a relação entre o potencial de viabilização da medida de eficiência e o período do ciclo de vida da edificação. Todavia, o fato de estarem com o ciclo de vida avançado não exclui a possibilidade de obter resultados satisfatórios, levando em consideração que o uso, a operação e a manutenção das edificações podem ser otimizadas.

Figura 5 – Custo médio das ações de eficiência energética em função do ciclo de vida de um edifício.



Fonte: SINDUSCON-SP (2018)

Segundo o Guia Interativo de Eficiência Energética (2018), desenvolvido pela Mitsidi Projetos, algumas das principais medidas de eficiência energética que podem ser implementadas após a etapa de construção e entrega da obra são:

- Instalação de sistemas de geração distribuída;
- Instalação de sistema de aquecimento solar;
- Troca por equipamentos mais eficientes (iluminação, refrigeração e operação);
- Modificação da envoltória da edificação;
- Deslocamento de demanda;
- Mudança no contrato de fornecimento de energia elétrica;
- Implantação de sistemas de controle e monitoramento;
- Conscientização do uso da energia aos usuários do edifício.

2.3 PBE Edifica - Programa Brasileiro de Etiquetagem em Edificações

O PBE teve seu início em 1984, promovendo a etiquetagem de equipamentos, como eletrodomésticos, visando a conscientização da população em adquirir equipamentos mais eficientes e conseqüentemente incentivando o setor produtivo a elaborar produtos que aproveitem melhor a energia.

Posteriormente em 2001 houve a publicação da lei 10.295, conhecida como lei da eficiência energética, responsável por exigir do poder executivo o desenvolvimento de mecanismos que promovam a eficiência energética em edificações no Brasil, em seguida sendo publicado o decreto nº 4.059, o qual regulamentou a Lei 10.295 e originou o Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE).

Dado a publicação da lei 10.295, em 2003 iniciou-se o processo de elaboração da certificação da eficiência em edificações, por isso foi instituído o Procel Edifica, visando promover o uso racional da energia elétrica às edificações oferecendo capacitação, tecnologia, regulamentação, planejamento e disseminação de conhecimento a respeito de eficiência energética (PBE EDIFICA, 2020).

Deste modo, com a união do PBE e do Procel Edifica, houve a criação do PBE Edifica, consolidado em 2009 pela primeira publicação do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos), aprovado por meio da Portaria nº53 emitida pelo Inmetro, originando o programa de etiquetagem voluntária para as edificações (PBE EDIFICA, 2022)

A etiqueta utilizada é denominada ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia), e é responsável por indicar as informações de eficiência energética de equipamentos, carros de pequeno porte e edificações.

A ENCE é responsável por avaliar os três sistemas principais de uma construção: a iluminação, o condicionamento de ar e a envoltória. Existem quatro categorias de etiquetas, sendo que todas contemplam a avaliação da envoltória. A primeira categoria é denominada ENCE Geral, que contém a avaliação dos níveis de eficiência energética dos três sistemas mencionados, conforme etiqueta exemplificada na Figura 6. A segunda categoria é a ENCE Parcial da Envoltória, onde somente a envoltória é analisada. A terceira e a quarta categorias tratam da ENCE Parcial Envoltória/Sistema de Iluminação e ENCE Parcial Envoltória/Condicionamento de Ar, respectivamente (PROCEL INFO, s/d).

Figura 6 – ENCE Geral



Fonte: PROCEL INFO (s/d)

De forma complementar, existe o Selo Procel, que indica que o equipamento ou edificação etiquetado está no melhor nível de eficiência de sua categoria. Tal selo tem como finalidade ser uma ferramenta prática que permite ao usuário conhecer os equipamentos e edificações mais eficientes e que conseqüentemente consomem menos energia (PROCEL INFO, 2006).

Para obter a etiquetagem em edificações é necessário contratar um OIA (Organismo de Inspeção Acreditado) para eficiência energética em edificações capaz de realizar uma avaliação da eficiência energética, seguindo a metodologia do RTQ-C (PBE EDIFICA, 2020).

Destaca-se que a etiquetagem para edificações federais passou a ser compulsório em 2014 pela publicação da Instrução Normativa nº 02-SLTI/2014, exigindo o nível A de eficiência energética para novas construções e reformas, tendo em vista que em setembro de 2022 foi elaborado o plano para implementação da compulsoriedade da etiquetagem em edifícios residenciais, comerciais, de serviços e públicas (ELETROBRAS, 2022).

2.3.1 RTQ-C

O PBE Edifica possui como metodologia para obtenção da etiquetagem em edificações de serviços, públicas e comerciais, o RTQ-C, que contém os requisitos técnicos de qualidade para avaliar o nível de eficiência energética de 3 sistemas comuns:

- Envoltória;
- Sistemas de iluminação;
- Sistema de Condicionamento de Ar.

Além do RTQ-C, existem documentos auxiliares à aplicação da metodologia, que são o RAC (Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações) e o manual para aplicação do RTQ-C (PBE EDIFICA, 2020).

Vale salientar que o Procel Edifica com apoio do CB3E (Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações) publicou em setembro de 2021 a Instrução Normativa INI-C (Instrução Normativa Inmetro para edificações Comerciais, de serviços e públicas), visando aprimorar o método utilizado no RTQ-C, sendo que em setembro de 2022 houve a publicação de nova INI-C em substituição à anterior, desta vez trazendo a pauta de revogar o RTQ-C a

partir de maio de 2024 e estabelecendo o prazo de maio de 2029 para adequação das etiquetas já avaliadas pelo RTQ-C (PBE EDIFICA, 2022).

A nova INI-C propõe uma avaliação comparativa das condições atuais da edificação e seu consumo de energia, diferenciando da avaliação proposta pelo método pelo RTQ-C, que faz uma avaliação sem relação direta com o consumo energético e sem se basear nas tipologias da edificação (INMETRO, 2021).

Existem duas maneiras de calcular o desempenho dos sistemas pelo RTQ-C, o método prescritivo e o método de simulação. No método prescritivo, são utilizadas equações, tabelas e limites pré-determinados para avaliar o nível de eficiência energética dos sistemas do edifício. Já o método de simulação compara o desempenho do edifício ao desempenho de edificações de referência, usando *softwares* de simulação.

Neste trabalho foi aplicada a avaliação prescritiva proposta pelo RTQ-C, avaliando a classificação do nível de eficiência energética para o sistema de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, de acordo com a Tabela 2, a qual contém a pontuação equivalente aos níveis de ‘A’ a ‘E’, sendo ‘A’ o mais eficiente e ‘E’ o menos eficiente. Neste trabalho a pontuação foi obtida automaticamente a partir da utilização do WebPrescritivo, que exibe a classificação final dado os parâmetros de entrada do sistema avaliado, conforme descrito na seção 3.3.5.1

Tabela 2 – Classificação dos níveis de eficiência

Classificação final	Equivalente numérico
A	$\geq 4,5$ e ≤ 5
B	$\geq 3,5$ e $< 4,5$
C	$\geq 2,5$ e $< 3,5$
D	$\geq 1,5$ e $< 2,5$
E	$< 1,5$

Fonte: INMETRO (2010)

Além da pontuação de cada sistema, o RTQ-C estabelece condicionantes para obter a classificação nível A, como por exemplo a exigência de ter um sistema de desligamento automático de lâmpadas ou do condicionamento de ar e até mesmo níveis máximos de transferência de calor entre as paredes das edificações.

2.4 Conceitos sobre Envoltória, Sistema de iluminação e Condicionamento de Ar

2.4.1 Envoltória

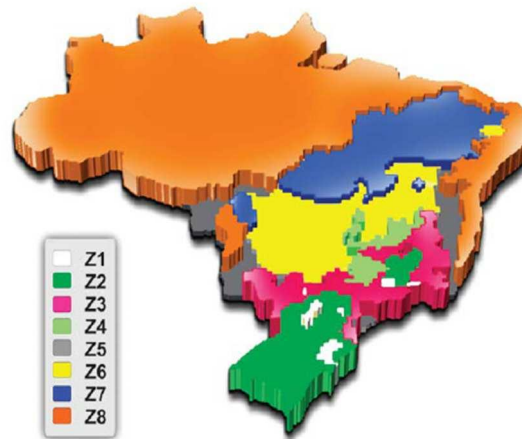
A envoltória da edificação é composta pelos elementos que delimitam o seu perímetro, como paredes, lajes, cobertura, esquadrias e outros elementos. Ela é responsável por proteger a edificação de fatores externos, como vento, chuva e por manter o conforto térmico, além de possibilitar a entrada de iluminação natural.

O desempenho energético do edifício está intimamente ligado à envoltória, já que a sua eficiência térmica está diretamente relacionada ao consumo de energia destinado ao condicionamento de ar, por exemplo. Isso acontece porque a envoltória compõe os planos que separam o ambiente interno do ambiente externo (INMETRO, 2010), deste modo sendo o meio por onde há transferência de calor, ressaltando que a localidade da edificação também influencia no desempenho energético devido aos fatores externos regionais, como temperatura média e umidade.

Dado isso, as características climáticas são responsáveis pela divisão do Brasil em zonas bioclimáticas, destacando que o RTQ-C está desatualizado em relação a esta divisão, pois ele se baseia na NBR 15220 (2005), que leva em consideração oito zonas bioclimáticas, conforme representado na Figura 7, porém já são consideradas 24 zonas bioclimáticas, conforme proposto por Roriz (2014) e já adotado pelo INI-C (CB3E, 2017).

A divisão clássica em oito zonas bioclimáticas é dada principalmente pelos parâmetros de temperatura máxima, mínima e umidade do ar (CB3E, 2014). Dado isso, cada região possui estratégias bioclimáticas atreladas à concepção da envoltória, favorecendo o desempenho energético.

Figura 7 – Zonas bioclimáticas do Brasil



Fonte: CB3E (2014)

Cada um dos oito zoneamentos bioclimáticos adotados pelo RTQ-C favorece a aplicação de uma estratégia bioclimática específica, sendo que neste trabalho a edificação de estudo localiza-se na zona bioclimática 8, portanto foram abordados a seguir estratégias alinhadas às características climáticas desta zona.

Conforme a norma para desempenho térmico de edificações, NBR 15220-3 (2005), as estratégias bioclimáticas adequadas para a zona oito são: ventilação cruzada, desumidificação dos ambientes e sombreamento das aberturas.

Para permitir a ventilação cruzada, é necessário garantir a circulação de ar pelos diferentes ambientes da edificação. É importante considerar também a direção dos ventos predominantes na região e as características do entorno, já que esses fatores podem influenciar significativamente a ventilação (MME, 2023b).

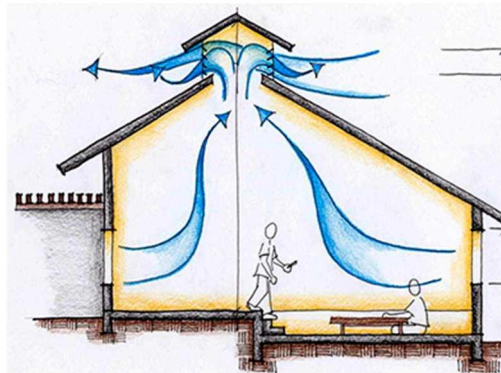
Já a desumidificação dos ambientes é uma forma de melhorar as sensações térmicas, e pode ser obtida através da ventilação dos ambientes com ar externo. Para isso, é importante renovar o ar interno com frequência para reduzir a umidade e garantir o conforto dos usuários da edificação (MME, 2023c).

Nota-se que a ventilação natural é um fenômeno determinante ao desempenho energético e conforto dos usuários da edificação, sendo essencial sua utilização como estratégia em projetos

arquitetônicos para edificações presentes na zona bioclimática 8, promovendo assim a circulação de ar e melhor conforto térmico dos ambientes internos.

Nesta perspectiva, é válido salientar sobre o efeito chaminé, que se caracteriza pelo movimento de ar gerado por uma diferença de temperatura e pressão entre o interior e o exterior de uma edificação, em geral causado por fatores como a incidência solar em uma fachada ou a presença de elementos que obstruem a passagem do ar. Quando o ar quente sobe e encontra uma área de abertura no topo da edificação, ele é expelido para o exterior, criando uma corrente de ar que puxa o ar fresco para dentro da construção através de aberturas localizadas na base da edificação, conforme ilustrado na Figura 8 (MME, 2023a).

Figura 8 – Ventilação por efeito chaminé.



Fonte: MME (2023a)

Quanto ao sombreamento, é muito comum o uso de elementos sombreadores, como os brises, apresentados na Figura 9, os quais possuem a função de reduzir a incidência solar nos ambientes da edificação, deste modo auxiliando na manutenção da temperatura em períodos mais quentes.

Figura 9 – Estrutura de sombreamento do tipo brise instalada em fachada do CPID.



Fonte: Elaborado pelo autor

Além das estratégias bioclimáticas citadas para a zona bioclimática 8, vale atentar-se ao conceito de inércia térmica, que está ligada à resistência na transferência de calor através de um elemento construtivo, como uma parede.

Para quantificar a quantidade de calor que é transmitida em determinado elemento construtivo é utilizada a transmitância térmica, dada em W/m^2K , representando a quantidade de calor transmitida por metro quadrado a cada Kelvin. Assim, quanto menor o valor de transmitância térmica, maior será a característica isolante ao calor do elemento e maior a inércia térmica.

Para efeitos de comparação entre elementos construtivos, uma parede sem revestimento com espessura de 9 cm, formada por bloco cerâmico pode atingir uma transmitância térmica de 2,99 W/m^2K , já uma parede composta pelo mesmo elemento acrescida de uma placa de alumínio composto pode chegar a 0,65 W/m^2K (INMETRO, 2017), possuindo então característica mais isolante e maior inércia térmica.

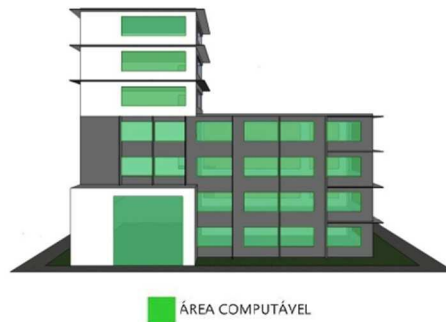
Edificações com elevada inércia térmica proporcionam reduções nas variações de temperatura interna e um atraso no fluxo de calor devido à sua capacidade de armazenar calor. Como resultado, o pico de temperatura interna apresentará um atraso e uma diminuição em relação ao ambiente externo (MME, 2023d).

2.4.1.1 Definições de parâmetros principais da envoltória

A seguir são apresentadas algumas definições expostas no RTQ-C, que servem de parâmetro para avaliar o nível de eficiência energética da envoltória da edificação.

Área de abertura [m^2]: é a medida da superfície de abertura, como portas, janelas, claraboias, entre outros elementos que permitem a entrada de ar, luz ou ventilação natural no interior da construção. A Figura 10 apresenta um exemplo das áreas de abertura na fachada de uma edificação.

Figura 10 – Fachada de uma edificação, com a área de abertura representada em verde



Fonte: CB3E (2014)

Fator Solar - FS [%]: é um parâmetro que indica a quantidade de energia solar que passa através de um determinado vidro ou material de construção e entra em um ambiente interno. É expresso como uma porcentagem da radiação solar total que incide sobre a superfície do vidro ou material, e pode variar de acordo com as características do material utilizado, como cor, espessura, revestimento e outros fatores.

Percentual de Abertura Zenital - PAZ [%]: quantidade de área de abertura na cobertura que permite a entrada de luz natural no interior da edificação. É expresso como uma porcentagem da área total da cobertura, sendo que o RTQ-C define estas aberturas em superfícies com inclinação inferior a 60° em relação ao plano horizontal.

Transmitância térmica [W/m²K]: é uma medida da capacidade de um material ou elemento construtivo de transmitir calor por condução, convecção e radiação térmica.

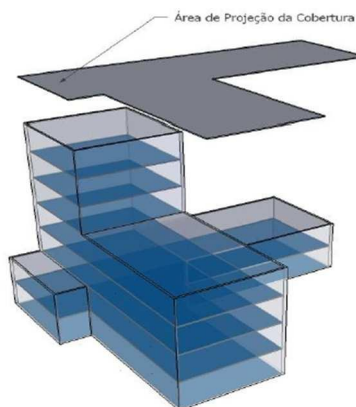
Capacidade térmica [kJ/(m²K)]: é a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de um material em uma unidade de temperatura.

Absortância: é dada pela razão entre a luz que é absorvida por um objeto e a não absorvida, que é refletida pelo mesmo.

Área Total Construída [m²]: Somatório das áreas fechadas da edificação, incluindo na contabilização o térreo e demais andares, quando houver.

Área de Projeção da Cobertura [m²]: área da vista superior da edificação, conforme destacado em cinza na Figura 11.

Figura 11 – Edificação, com área de projeção da cobertura.



Fonte: CB3E (2014)

Área de Projeção do Edifício [m²]: é dada pela área média de projeção de cada um dos pavimentos da edificação, não considerando subsolos.

Volume Total da Edificação [m³]: obtido através do volume delimitado pela envoltória da edificação, incluindo as fachadas e a cobertura, porém excluindo áreas internas descobertas, como quadras ou pátios.

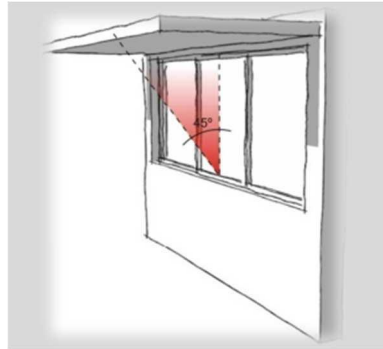
Área da Envoltória [m²]: Somatório das áreas da fachada da edificação, incluindo todas as aberturas.

Percentual de Área de Abertura na Fachada Total [%]: é dado pela razão entre a área total de abertura da edificação e a área total da fachada.

Percentual de Área de Abertura na Fachada Oeste [%]: é dado pela razão entre a área total de abertura envidraçada referente a fachada orientada a oeste e a área total da fachada.

Ângulo Vertical de Sombreamento: é o ângulo formado entre a linha do horizonte e o limite superior da sombra projetada por um obstáculo sobre a superfície da edificação, como representado na Figura 12.

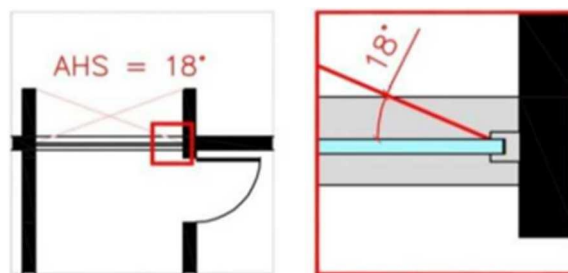
Figura 12 – Fachada de edificação, com ângulo vertical de sombreamento de 45°.



Fonte: CB3E (2014)

Ângulo Horizontal de Sombreamento: é o ângulo entre a direção do sol e a direção de uma sombra projetada horizontalmente em uma superfície plana, conforme exemplificado em uma planta baixa na Figura 13.

Figura 13 – Ângulo horizontal de sombreamento de 18°



Fonte: CB3E (2014)

Fator Altura: é o quociente da área de projeção da cobertura pela área total construída, não considerando os subsolos.

Fator de Forma: é o quociente da área da envoltória pelo volume total da edificação.

2.4.2 Sistema de iluminação

A iluminação é inerente à edificação e atualmente há diversas lâmpadas disponíveis, que segundo Mamede (2017) podem ser classificadas de acordo com o processo de emissão de luz e vida útil, sendo os tipos de lâmpadas divididos em lâmpadas incandescentes, lâmpadas de descarga e lâmpadas LED.

As lâmpadas incandescentes consistem em um filamento de tungstênio, comumente enrolado em forma espiralada, conforme apresentando na Figura 14, que é aquecido até atingir a incandescência quando uma corrente elétrica passa através dele (MAMEDE, 2017).

Figura 14 – Lâmpada Incandescente



Fonte: LUMITEC (2022)

As lâmpadas de descarga englobam as fluorescentes, vapor de mercúrio, vapor de sódio a baixa e alta pressão e por fim a de vapor metálico, demonstrada na Figura 15. Todas elas possuem em comum o uso de dispositivos auxiliares, que são os reatores e *starters* ou ignitores, que são dispositivos necessários para garantir bom desempenho das lâmpadas.

Figura 15 – Lâmpada de vapor metálico



Fonte: LUMITEC (2022)

Os reatores mais comuns são os eletromagnéticos, como o apresentado na Figura 16, e eletrônicos, sendo que o eletromagnético é formado somente por um elemento indutivo que pode ou não acompanhar um capacitor, garantindo maior fator de potência. Já os reatores eletrônicos são formados por três blocos, a fonte, o inversor e o circuito de partida. Resumidamente, a fonte permite a redução e estabilização da tensão de fornecimento, o inversor é responsável por converter a corrente contínua, entregue pela fonte, em alternada alimentando o circuito de partida que permite o acionamento da lâmpada.

Figura 16 – Reator eletromagnético com capacitores

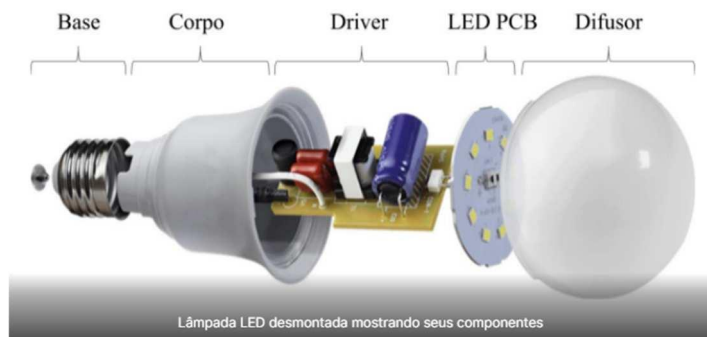


Fonte: LUMITEC (2022)

Por fim, têm-se os diodos emissores de luz, mais conhecidos como lâmpada LED. Seu funcionamento é baseado na eletroluminescência que é um fenômeno óptico caracterizado pela emissão de luz na presença de corrente elétrica.

A lâmpada LED é apresentada na Figura 17, sendo composta de cinco partes: base, corpo, *driver*, LED PCB e difusor.

Figura 17 – Partes de uma lâmpada LED



Fonte: HENRIQUE (2022)

O *driver* é responsável pela conversão da corrente alternada em contínua e estabilização dela, deste modo alimentando o LED Printed Circuit Board (PCB) e assim a luz é emitida de forma uniforme por conta do difusor.

A Tabela 3 dispõe os dados técnicos para cada tipo de lâmpada e sua eficiência energética, demonstrando que as lâmpadas mais eficientes são as de descarga de alta pressão e as LEDs, entretanto as lâmpadas LED possuem menor custo, o que tem contribuído para sua crescente participação no mercado internacional e para a eficiência energética. A nível global, as vendas

de LEDs tiveram um aumento significativo nos últimos anos, representando 48% das vendas globais do setor de iluminação em 2021 (IEA, 2022b).

Tabela 3 – Dados técnicos e de eficiência energética para cada tipo de lâmpada

	Halógenas	Incandescentes	Fluorescentes tubulares	Fluorescentes compactas	Descarga de alta pressão	LED
Eficiência energética (Eficiência luminosa) (lm/W)	15-25	15-26	53-125	52-68	84-143	60-112
Vida útil (h)	750-1.500	1.000	3.000-25.000	6.000-10.000	20.000-36.000	15.000 - 50.000
Temperatura de cor (K)	2.700-3.000	2.680-3.000	3.000-4.100	2.700-6.500	4.300-5.000	2.400-6.500
Índice de reprodução de cor IRC (%)	100	100	80-85	80	25-85	>80
Usos principais	Residencial e varejo, principalmente para fins decorativos	Residencial, embora em desuso devido ao seu banimento	Escritórios, edifícios comerciais	Ampla uso em ambientes internos (residencial, escritórios, edifícios comerciais, hotéis)	Indústria, galpões, ambientes de pé-direito alto, iluminação externa	Ampla uso interno e externo (Residencial, escritórios, edifícios comerciais, hotéis, shoppings, iluminação externa)

Fonte: Adaptado de SINDUSCON-SP (2018)

A unidade de medida lúmen (lm) é utilizada para quantificar o fluxo luminoso emitido pela lâmpada em tensão nominal de operação, isto é, a potência de radiação emitida. O fluxo luminoso (lumens) por unidade de área (m^2) é denominado lux, conhecido por iluminância.

As lâmpadas também possuem uma classificação com base na temperatura, que envolve a sensação de tonalidade de cor entre diferentes tipos de lâmpadas, deste modo pode-se classificar a tonalidade da luz percebida em função da temperatura, dada em Kelvin (K), como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Graduação entre temperatura de cor e percebida pelo observador.

	Luz vermelha	Luz neutra	Luz branca	Luz azulada
Temperatura	2.800K	4.000 K	5.000 K	6.500 K
Percepção	Luz quente, suave	Neutra	Neutra	Luz fria, clara

Fonte: Adaptado de MAMEDE (2017, p. 60)

O índice de reprodução de cor (IRC) avalia o quão fidedigno um objeto reproduz suas cores naturais ao ser iluminado por uma fonte de luz. Isso quer dizer que um objeto ao ser iluminado por uma lâmpada com IRC de 80 não terá 100% das suas cores percebidas pelo observador, enquanto para um IRC igual a 100, este mesmo objeto terá todas as cores percebidas.

2.4.2.1 Indicadores de eficiência energética

A eficiência energética de dispositivos de iluminação ou eficiência luminosa é determinada pela relação entre o fluxo luminoso e a potência em watts consumida, como explicitado na Equação 1.

$$\eta = \frac{\text{fluxo luminoso [lumens]}}{\text{potência consumida [W]}} \quad (1)$$

Além da eficiência luminosa, é possível avaliar a eficiência energética de um sistema de iluminação, utilizando o indicador denominado densidade de potência de iluminação (DPI), que é dado pela Equação 2:

$$DPI = \frac{\text{Potência Total Instalada}}{\text{Área iluminada}} \quad [W/m^2] \quad (2)$$

Deste modo, todo o sistema de iluminação pode ser avaliado por um único valor, levando em consideração todas as áreas iluminadas do edifício.

2.4.3 Sistema de Condicionamento de Ar

O uso do condicionamento de ar em edificações comerciais e públicas representa mais de 40% do consumo total de eletricidade (WRI, 2018), sendo que no Brasil sua principal função em edifícios é retirar o calor dos espaços internos, proporcionando maior conforto aos usuários.

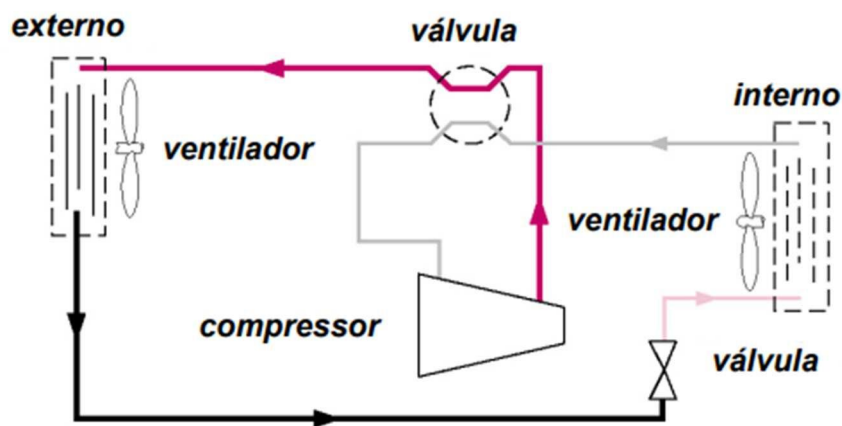
2.4.3.1 Funcionamento

O funcionamento do sistema de condicionamento de ar consiste na realização da troca de calor não espontânea entre um ambiente externo e interno, por meio de um fluido refrigerante. Para tal, são utilizadas duas unidades, a condensadora e a evaporadora, além de dois dispositivos, o compressor e válvula de expansão (SINDUSCON-SP, 2018).

A unidade condensadora é responsável por entregar calor ao ambiente externo, nela ocorre a transição do fluido refrigerante de gasoso para líquido, já na unidade evaporadora o calor do local a ser resfriado é absorvido. Este ciclo ocorre graças ao funcionamento do compressor e da válvula de expansão, que manipulam a pressão do fluido refrigerante. Já o compressor ou motor compressor, através do trabalho realizado eleva a pressão do fluido entregando-o na unidade condensadora em uma temperatura mais alta, e a válvula de expansão garante a diminuição da pressão e conseqüentemente da temperatura, entregando o fluido refrigerante à unidade evaporadora, assim absorvendo calor do ambiente de interesse (IEA, 2018).

O processo descrito anteriormente é representado na Figura 18 e pode ser chamado de máquina frigorífica cíclica. À esquerda é representada a unidade condensadora (externa) e à direita a unidade evaporadora (interno).

Figura 18 – Esquemático de uma máquina frigorífica

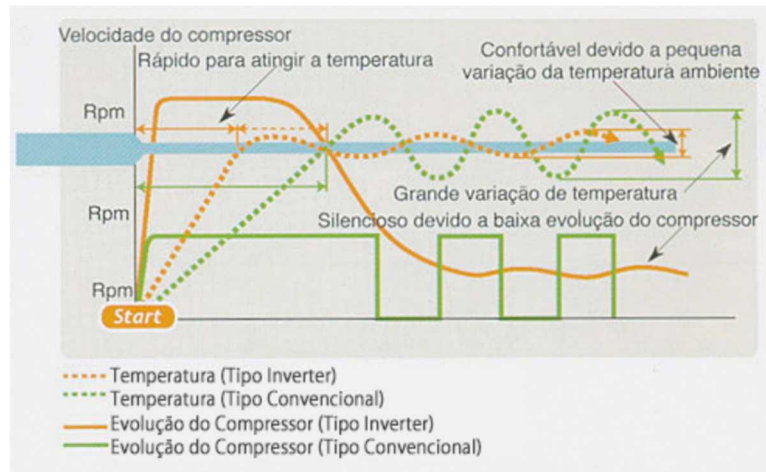


Fonte: USP (s/d)

Neste sistema, o equipamento responsável pelo consumo de energia elétrica é o compressor. Como mencionado, é ele quem realiza o trabalho, medida da energia que é transferida pela aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Neste caso a energia elétrica é utilizada para a realização deste trabalho, comprimindo o fluido refrigerante, sendo que a compressão pode ser controlada através da modulação da velocidade do motor compressor por um inversor, tecnologia conhecida como *inverter*, garantindo menor gasto de energia elétrica comparada a sistemas convencionais, pois garante melhor estabilidade no controle de pressão e temperatura, além de proporcionar redução do número de partidas dos compressores (ABRAVA, 2022).

Na Figura 19 são comparadas as características de funcionamento dos compressores com tecnologia *inverter* e convencional, demonstrando o comportamento da temperatura ambiente em função das rotações por minuto do motor compressor.

Figura 19 – Comparação do funcionamento entre ares-condicionados com e sem tecnologia *inverter*



Fonte: FUJITSU (2022)

Nota-se que o sistema convencional apresenta um comportamento de liga e desliga do compressor, que resulta em picos de corrente e por isso esse tipo de modulação apresenta menor eficiência energética comparador ao *inverter*, resultando em um aumento de até 40% do consumo de energia elétrica (FUJITSU, 2022).

2.4.3.2 Indicadores de Eficiência energética

O COP (Coeficiente de Performance) é um indicador de eficiência energética para sistemas de condicionamento de ar, dado pela relação entre a energia de aquecimento (energia térmica) e a consumida pelo trabalho do compressor (energia elétrica) ao aquecer, de acordo com a Equação 3.

$$COP = \frac{\text{Energia térmica de aquecimento [kW]}}{\text{Energia elétrica [kW]}} \quad (3)$$

Semelhantemente ao COP, é possível mensurar a eficiência pelo EER (Energy Efficiency Ratio, significa Índice de Eficiência de Energia), que é equivalente ao CEE (Coeficiente de Eficiência

Energética), muito utilizado nas avaliações realizadas pelo INMETRO, sendo definido pela razão entre a quantidade de energia de resfriamento e a energia elétrica consumida para resfriar, conforme apresentado na Equação 4.

$$EER = \frac{\text{Energia térmica de resfriamento [kW]}}{\text{Energia elétrica [kW]}} \quad (4)$$

Ressalta-se que alguns fabricantes de aparelhos de ar-condicionado utilizam o indicador COP atribuindo-o tanto resfriamento como aquecimento, substituindo o indicador EER.

2.5 Geração distribuída

Um sistema de geração fotovoltaico tem como princípio converter a irradiação solar em energia elétrica, através da utilização de painéis e inversores fotovoltaicos. Os painéis fotovoltaicos são responsáveis pela captação da irradiação solar e conversão em corrente elétrica contínua e são geralmente instalados em telhados, lajes ou até mesmo no solo.

Em conjunto com os painéis é utilizado o inversor fotovoltaico, que possui a função de transformar a corrente contínua em corrente alternada, permitindo a entrega de potência elétrica em kW à unidade consumidora e também à rede de distribuição elétrica. Como um sistema fotovoltaico é dependente da irradiação solar, é utilizada a unidade de medida kWp (quilowatt pico) para se referir à potência máxima ou de pico que o painel solar poderá fornecer, atingida normalmente em condições ideais de temperatura e pressão, sendo que a potência máxima disponibilizada para o consumo é limitada pela inversor fotovoltaico (SINDUSCON-SP, 2018).

O sistema fotovoltaico mais comum em edificações é o *on-grid*, o qual é conectado tanto à rede de distribuição quanto às cargas da unidade consumidora. Nesta configuração uma parcela da energia gerada é consumida imediatamente pelas cargas instaladas na edificação, configurando o chamado consumo instantâneo, já a parcela restante é denominada energia excedente, a qual é injetada na rede de distribuição de energia elétrica. Devido a isso, o consumo registrado pela concessionária de energia elétrica somente irá mensurar a energia injetada pela usina fotovoltaica e a energia fornecida a unidade consumidora, por isso o consumo real de eletricidade é dado pelo somatório do consumo instantâneo e o fornecido pela rede elétrica a instalação (SINDUSCON-SP, 2018).

A Figura 20 demonstra o funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*), evidenciando, por meio das setas verdes, que parte da geração é direcionada às cargas da edificação e a restante é injetada na rede elétrica de distribuição, e o fluxo representado pelas setas vermelhas demonstram a energia fornecida a instalação pela rede de distribuição.

Figura 20 – Funcionamento de um sistema fotovoltaico *on-grid*



Fonte: BLUESOL ENERGIA SOLAR (2022)

2.5.1 Sistema de compensação de energia elétrica

No Brasil, a resolução normativa da ANEEL de nº 482/2012 inaugurou o SCEE (Sistema de Compensação de Energia Elétrica), conhecido internacionalmente como *net-metering*. A resolução permitiu que a energia elétrica excedente de um sistema *on-grid* possa ser creditada em ciclos de faturamento posteriores, sendo atualizada por meio da resolução 687/2015, que alterou o prazo de validade dos créditos para 60 meses (SINDUSCON-SP, 2018).

O compartilhamento dos créditos de energia elétrica para outras unidades consumidoras é possível em algumas modalidades de geração, definidas na Lei 14.300/2021: Marco legal da microgeração e minigeração distribuída, sendo elas: autoconsumo remoto, EMUC (Empreendimento de Múltiplas Unidades Consumidoras) e geração compartilhada (BRASIL, 2022).

2.5.2 Resumo sobre a regulamentação da geração distribuída

O setor de energia solar é regido pelas resoluções normativas da ANEEL e pela Lei 14.300/2021, considerada o marco legal da geração distribuída. Devido às mudanças recentes na regulamentação do setor, surgiram medidas que podem colaborar nas ações de eficiência energética, desta forma serão abordados a seguir alguns conceitos e oportunidades que o ambiente regulatório proporciona (BRASIL, 2022).

2.5.2.1 Lei 14.300: Marco legal da geração distribuída

O marco legal da geração distribuída trouxe a alteração na valoração dos créditos de energia sobre as componentes tarifárias de energia elétrica e uso do sistema de distribuição, tendo efeito imediato para as usinas já instaladas com potência maior que 500 kW e todas que protocolar a solicitação de acesso à rede elétrica após o dia 7 de janeiro de 2023 (BRASIL, 2022).

Na Figura 21 observa-se que a tarifa de energia elétrica é formada por duas macro componentes TE (Tarifa de energia elétrica) e TUSD (Tarifa do uso do sistema de distribuição), ambas compostas por parcelas referentes a eletricidade e seu transporte.

Figura 21 – Composição da tarifa de energia elétrica

Tarifa de energia					
TE		TUSD			
ENERGIA	ENCARGOS	Fio A	Fio B	ENCARGOS	PERDAS
38%	12%	6%	28%	8%	8%

Fonte: Adaptado de BRIGHT STRATEGIES (s/d)

O SCEE previsto na resolução normativa da ANEEL nº 482 (2012) garante a compensação integral de todas as componentes tarifárias dada a energia injetada, isto é, para cada 1 kWh injetado na rede elétrica é realizada a compensação de 1 kWh consumido. Entretanto, de acordo com o Art. 27 da Lei 14.300, a compensação passará a ser parcial, pois a componente referente ao Fio B deixará de ser compensada, de forma gradativa, conforme o parágrafo primeiro do art. 27 da Lei 14.300:

[...] § 1º Para as unidades de minigeração distribuída acima de 500 kW (quinhentos quilowatts) em fonte não despachável na modalidade autoconsumo remoto ou na modalidade geração compartilhada em que um único titular detenha 25% (vinte e cinco por cento) ou mais da participação do excedente de energia elétrica, o faturamento de energia das unidades participantes do SCEE deve considerar, até 2028, a incidência: [...] (Art. 27º, Lei 14.300)

A Figura 22 apresenta a variação gradual da componente tarifária referente ao Fio B.

Figura 22 – Aumento gradual da componente referente ao Fio B, não compensada

2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
15% do fio B	30% do fio B	45% do fio B	60% do fio B	75% do fio B	90% do fio B	Nova regra

Fonte: RUBIM (2022)

No momento presente a nova valoração dos créditos ainda não está definida, tendo em vista que o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) foi incumbido de definir as diretrizes em até 6 meses após a publicação da Lei e em até 18 meses a ANEEL deve estabelecer os cálculos da valoração dos benefícios do sistema de geração distribuída à rede de distribuição, porém as definições continuam pendentes, estando em desacordo com a Lei.

A Aneel e as concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica, a fim de cumprir as disposições desta Lei, deverão adequar seus regulamentos, suas normas, seus procedimentos e seus processos em até 180 (cento e oitenta) dias da data de publicação desta Lei. (Art. 30º, Lei 14.300)

O resultado da valoração dos créditos impacta o tempo de retorno do investimento dos projetos cujos protocolos de solicitação de acesso sejam realizados após o dia 7 de janeiro de 2023, visto que a compensação não será mais integral.

Em contrapartida, o marco legal trouxe algumas mudanças positivas voltadas para o gerenciamento da energia excedente, além de novas possibilidades de agrupamento de consumidores para participarem do modelo de geração compartilhada.

Atualmente todas as modalidades de geração, apresentadas na Lei 14.300, podem ser implantadas no setor público (BRASIL, 2022), sendo elas:

- Autoconsumo local;
- Autoconsumo remoto;
- Geração compartilhada (consórcio, cooperativa, condomínio civil voluntário ou edifício ou qualquer outra forma de associação civil);
- Empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras.

Estas modalidades possibilitam melhor aproveitamento da energia excedente, permitindo beneficiar outras unidades que estejam dentro área de concessão do consumidor-gerador.

2.6 Fornecimento de energia elétrica

A resolução normativa ANEEL nº 1000/2021 é a que rege a prestação de serviços referentes à distribuição de energia elétrica no Brasil, revogando a conhecida resolução normativa nº 414/2010. A seção II da normativa traz diversas regras e definições, sendo algumas essenciais para a realização de uma análise básica do consumo de energia elétrica de uma unidade consumidora.

2.6.1 Grupo tarifário

Dada a tensão de fornecimento, as unidades consumidoras podem ser divididas em dois grupos, A e B, que são definidos da seguinte forma:

XXIII - grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo A1: tensão de conexão maior ou igual a 230 kV;
- b) subgrupo A2: tensão de conexão maior ou igual a 88 kV e menor ou igual a 138 kV;
- c) subgrupo A3: tensão de conexão igual a 69 kV;
- d) subgrupo A3a: tensão de conexão maior ou igual a 30 kV e menor ou igual a 44 kV;
- e) subgrupo A4: tensão de conexão maior ou igual a 2,3 kV e menor ou igual a 25 kV;
- e
- f) subgrupo AS: tensão de conexão menor que 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição;

XXIV - grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com conexão em tensão menor que 2,3 kV e subdividido nos seguintes subgrupos:

- a) subgrupo B1: residencial;
- b) subgrupo B2: rural;
- c) subgrupo B3: demais classes; e
- d) subgrupo B4: Iluminação Pública; (Redação dada pela REN ANEEL 1000, de 07.12.2021)

2.6.2 Modalidade tarifária

Existem duas principais categorias de modalidades tarifárias para consumidores que são a convencional e a horária, como definido nos artigos 211 e 212 da REN 1000/2021:

Art. 211. A modalidade tarifária convencional é caracterizada por uma única tarifa para o consumo de energia, sem segmentação horária no dia.

Art. 212. A modalidade tarifária horária branca é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia, sendo segmentada em 3 (três) postos tarifários:

- I - 1 (uma) tarifa para o posto tarifário ponta;
- II - 1 (uma) tarifa para o posto tarifário intermediário; e
- III - 1 (uma) tarifa para o posto tarifário fora de ponta.

Art. 213. A modalidade tarifária horária verde é caracterizada por:

- I - 1 (uma) tarifa para a demanda, sem segmentação horária;
- II - 1 (uma) tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário ponta; e
- III - 1 (uma) tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário fora de ponta.

Art. 214. A modalidade tarifária horária azul é caracterizada por:

- I - 1 (uma) tarifa para a demanda para o posto tarifário ponta;
- II - 1 (uma) tarifa para a demanda para o posto tarifário fora de ponta;
- III - 1 (uma) tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário ponta; e
- IV - 1 (uma) tarifa para o consumo de energia elétrica para o posto tarifário fora de ponta. (Redação dada pela REN ANEEL 1000, de 07.12.2021)

De acordo com o art. 219, as unidades consumidoras do grupo B devem ser enquadradas ou na modalidade convencional ou na horária branca, com exceção das subclasses baixa renda da classe residencial, da classe de iluminação pública e as faturadas pela modalidade de pré-pagamento.

Vale ressaltar que a REN 1000/2021 traz uma novidade que é a modalidade tarifária de geração, citada no art. 149 e com aplicação definida pelo art. 216:

Art. 216. A modalidade tarifária geração é aplicada à central geradora e ao agente importador conectado aos sistemas de distribuição, e é caracterizada por tarifas de demanda, independentemente das horas de utilização do dia. (Redação dada pela REN ANEEL 1000, de 07.12.2021)

Por fim, destaca-se a opção de faturamento no grupo B pelas unidades consumidoras do grupo A, popularmente conhecida como modalidade “B Optante”, definida no art. 292:

Art. 292. O consumidor pode optar por faturamento com aplicação da tarifa do grupo B para sua unidade consumidora do grupo A, desde que atendido um dos seguintes critérios

I - a soma das potências nominais dos transformadores da unidade consumidora for menor ou igual a 112,5 kVA;

II - a soma das potências nominais dos transformadores da unidade consumidora for menor ou igual a 1.125 kVA, se classificada na subclasse cooperativa de eletrificação rural;

III - a atividade desenvolvida na unidade consumidora for a exploração de serviços de hotelaria ou pousada e estiver localizada em área de veraneio ou turismo, independentemente da potência nominal total dos transformadores; ou

IV - a carga instalada dos refletores utilizados na iluminação for maior ou igual a 2/3 (dois terços) da carga instalada total em instalações permanentes para a prática de atividades esportivas ou parques de exposições agropecuárias. (Redação dada pela REN ANEEL 1000, de 07.12.2021)

2.6.3 Postos horários

As modalidades tarifárias horárias possuem diferenciação nas tarifas de acordo com o posto horário, definido pela resolução normativa 1000/2021:

XXXVIII - posto tarifário: período em horas para aplicação das tarifas de forma diferenciada ao longo do dia, considerando a seguinte divisão:

a) posto tarifário ponta: período composto por 3 horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão ou permissão, não se aplicando aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e aos feriados nacionais dos dias 1º de janeiro, 21 de abril, 1º de maio, 7 de setembro, 12 de outubro, 2 de novembro, 15 de novembro e 25 de dezembro;

b) posto tarifário intermediário: período de duas horas, sendo uma hora imediatamente anterior e outra imediatamente posterior ao horário de ponta, aplicado apenas para o grupo B; e

c) posto tarifário fora de ponta: período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas nos postos ponta e, para o grupo B, intermediário; (Redação dada pela REN ANEEL 1000, de 07.12.2021)

2.7 Diagnóstico energético

O diagnóstico energético é definido como a análise sistemática do uso de energia e do consumo de energia, a fim de identificar, quantificar e relatar as oportunidades para um melhor desempenho energético.

A aplicação do diagnóstico energético é uma grande ferramenta para encontrar ações de zero custo, e, portanto, com potencial de economia do consumo de energia elétrica imediato, haja vista que muitas das ações está atrelada ao comportamento dos ocupantes e a ausência do uso racional da energia elétrica ou até mesmo a falta de conhecimento (MITSIDI PROJETOS, 2018).

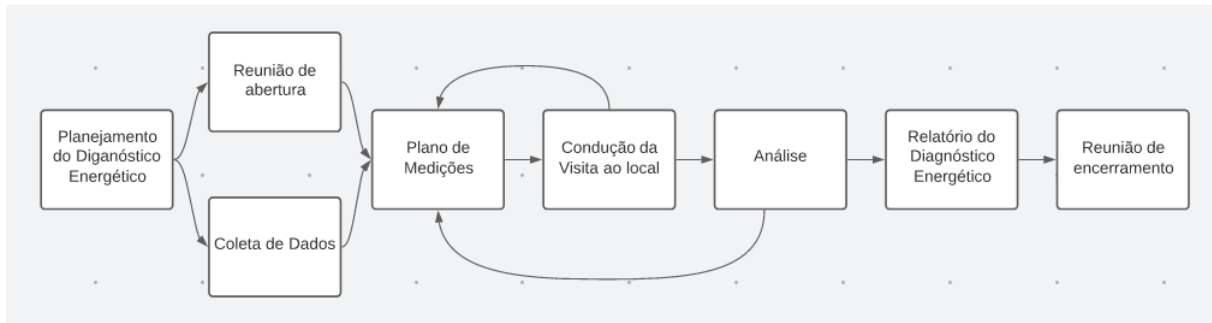
Um diagnóstico energético agrega os seguintes benefícios aos edifícios (CBCS, MITSIDI PROJETOS, 2016):

- Redução de consumo em um edifício;
- Parte de um programa de gestão energética predial de um edifício;
- Parte de um programa de gestão energética amplo com vários edifícios (política de empresa);
- Melhoria da imagem do edifício no mercado para atrair mais locatários e compradores;
- Redução de custos para a empresa ocupante;
- Redução de impactos ambientais negativos.

A NBR ISO 50002: Diagnósticos energéticos – Requisitos com orientações para uso, traz as orientações e requisitos mínimos para a realização de um diagnóstico energético e por fim a identificação de oportunidades para melhoria do desempenho energético.

O diagnóstico energético é regido por algumas etapas, apresentas na Figura 23, as quais possuem o nível de detalhamento previamente definido, dependendo das necessidades da organização e dos recursos disponíveis.

Figura 23 – Fluxograma do processo de diagnóstico energético.



Fonte: NBR ISO 50002 (2014)

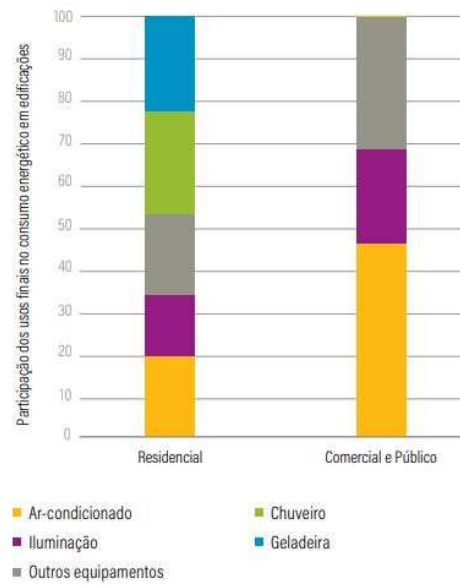
O detalhamento de um diagnóstico energético impacta diretamente em seu custo de realização, por isso é crucial definir o escopo e os requisitos para análise, englobando os seguintes fatores: nível de precisão, extensão do período em que as oportunidades de retorno são investigadas, fronteira do diagnóstico, disponibilidade de dados, relatórios anteriores e por fim a complexidade da instalação (NBR ISO 50002, 2014).

2.7.1 Benchmark

O uso de benchmark ou linhas de base energéticas é uma das formas de realizar comparações do desempenho energético de edifícios a partir de valores de típicos, sendo utilizado no diagnóstico energético para identificar pontos de melhorias. Na elaboração das equações de benchmark são consideradas características físicas da edificação e do consumo de energia dos equipamentos, buscando adequar os resultados para cada tipo de edificação (CBCS, MITSIDI PROJETOS, 2016).

Segundo o WRI Brasil (2018), o consumo energético médio por aparelhos de ar condicionado nas edificações públicas representa mais de 40%, conforme apresentado na Figura 24. Entretanto como edificações públicas apresentam diversas tipologias, se faz necessário o uso de benchmarks, permitindo a avaliação comparativa do consumo de eletricidade característico referente ao ar condicionado, por exemplo, dada uma tipologia da edificação.

Figura 24 – Consumo de energia elétrica em prédios públicos



Fonte: WRI BRASIL (2018)

Destaca-se a participação do CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) juntamente com a Eletrobras e o Procel no desenvolvimento de benchmarks para 15 tipologias de edificações, incluindo prédios públicos, escolas, hospitais entre outros (CBCS, 2017).

3 METODOLOGIA E ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

No tocante à classificação deste trabalho, conclui-se que se trata de uma pesquisa aplicada em sua natureza, uma vez visa solucionar um problema enfrentado pelos órgãos gestores de edifícios públicos. Quanto aos objetivos, este trabalho é classificado como pesquisa exploratória, já que busca explicações e comparações para uma análise mais ampla. Com relação à abordagem, é considerada uma pesquisa quantitativa, uma vez que emprega modelos matemáticos, coleta e análise de dados de consumo e geração de energia elétrica. No que diz respeito aos procedimentos técnicos, esta é uma pesquisa experimental, pois baseia-se na manipulação direta de variáveis que afetam o desempenho energético da edificação, como características do consumo de energia elétrica, bem como condições de funcionamento dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, estabelecendo relações entre as causas e efeitos.

Inicialmente, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre os conceitos e fundamentos relacionados à eficiência energética em edificações e aspectos normativos referentes ao sistema de geração distribuída e ao consumo de energia elétrica, com o objetivo de embasar o desenvolvimento do trabalho, e em paralelo foi estudado a utilização da NBR ISO 50002: Diagnósticos energéticos – Requisitos com orientações para uso e do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas).

Em seguida, foi realizada a escolha do edifício público para o desenvolvimento do estudo de caso. Na sequência, foram aplicadas as etapas da NBR ISO 50.002, que estabelece diretrizes para a elaboração de diagnósticos energéticos em edificações.

A partir das diretrizes estabelecidas na norma, foram realizadas visitas técnicas à edificação, com o objetivo de coletar informações sobre o consumo energético e as condições de funcionamento dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória. Essas informações foram utilizadas para a realização do diagnóstico energético, no qual foram identificadas as oportunidades de melhoria e as recomendações para redução do consumo de energia elétrica na edificação estudada.

Além disso, a aplicação posterior do método prescritivo do RTQ-C foi fundamental para classificar os níveis de eficiência energética da edificação estudada, conforme os critérios estabelecidos no regulamento. A partir dessa classificação, foi possível avaliar o desempenho energético parcial dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória e por fim auxiliar a identificar as medidas necessárias para melhorar o desempenho energético da edificação.

3.1 Seleção do estudo de caso

O edifício selecionado para o estudo de caso foi o CPID (Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo), localizado em Jardim América no município de Cariacica/ES.

A edificação foi inaugurada em 05 de julho de 2018, atualmente possui laboratórios de pesquisa associados à UFES (Universidade Federal do Espírito Santo) e ao IFES (Instituto Federal do Espírito Santo), como demonstrado na Tabela 5, os quais visam fomentar a inovação tecnológica no Estado, destacando-se o laboratório ELENA, apoiador deste trabalho e responsável pela disponibilização de ferramentas e dados de consumo e geração de eletricidade.

Tabela 5 – Laboratórios ativos no CPID

Laboratórios	
CIDIG	Laboratório de Cidades Inteligentes e sustentáveis
ELEM	Laboratório de Sistemas Eletrônicos Embarcados
ELENA	Laboratório de Gestão de Energias Renováveis
LABENDEN	Laboratório de ensaios não-destrutivos
LACAR	Laboratório de Caracterização física
NIADES	Núcleo de Informação sobre Água e Desenvolvimento
LSCA	Laboratório de Sistemas, Controle e Automação

Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se que em 2021 o CPID foi contemplado com a instalação de uma usina solar fotovoltaica de 279,18 kWp, para fins de pesquisa, como demonstrado na Figura 25.

Figura 25 – Imagem aérea do CPID



Fonte: FAPES (2018)

Além do aspecto de sustentabilidade ambiental trazido pela usina fotovoltaica em 2021, a edificação garante desde sua concepção um caráter inovador, sendo construída toda em estrutura metálica, ou seja, não foi utilizado lajota em seu projeto estrutural, formado apenas pela combinação de placas cimentícias e *drywall* (gesso acartonado) no interior (FAPES, 2018).

3.2 Método de avaliação energética

Para fins de avaliação energética foram empregadas as diretrizes da NBR ISO 50.002, adotando o diagnóstico energético de tipo 1, assim definindo o escopo e o nível de detalhamento.

O tipo 1 possui como aplicação típica o diagnóstico preliminar de organizações ou instalações maiores. Quanto à coleta de dados, inclui dados de energia da instalação, de ocupação e lista de equipamentos. Em relação à análise, envolve o uso da energia por equipamento e a comparação com *benchmarks* disponíveis, a fim de identificar ineficiências. No tocante aos resultados, foram identificadas e avaliadas oportunidades de baixo custo e com fácil assimilação, incluindo o entendimento do consumo de energia elétrica da instalação e garantindo maior conscientização da contribuição relativa de cada fonte de energia e benefícios da gestão energética.

Em relação ao *benchmark*, foi utilizada a equação presente na ficha técnica¹ desenvolvida pelo CBCS (Conselho Brasileiro de Construção Sustentável) aplicada para edifícios administrativos públicos, topologia que mais se aproxima das características do CPID. O benchmark (E_{Ben}) é dado em $kWh/m^2/ano$ e está explicitado pela Equação 5, ele agrega variáveis relacionadas a dimensão da instalação, taxa de ocupação e consumo de energia elétrica.

$$E_{Ben} = (A + G + B \cdot \sum_i^{i+11} GHR_i) \cdot \frac{A_{Cond}}{A_{Tot}} + \left(\frac{N}{T \cdot A_{Tot}} - \rho \right) \cdot C + T + \frac{Q_{CPD}}{A_{Tot}} + \frac{A_{Est}}{A_{Tot}} \cdot D + \frac{A_{Ilu}}{A_{Tot}} \cdot E \quad (5)$$

Onde:

$$T = \frac{\sum_i^{i+11} T_i}{12} \quad (6)$$

A_{Tot} : Área útil (excluindo estacionamentos e andares técnicos)

A_{Cond} : Área condicionada

A_{Est} : Área de estacionamentos cobertos, com iluminação e ventilação

Q_{CPD} : Consumo anual do datacenter em kWh

A_{Ilu} : Área externa iluminada durante a noite

T_i : Taxa de ocupação média do edifício durante o mês de medição (%)

ρ : Densidade média de ocupação=0,0833 pessoas/m²

A: Constante relacionada a consumos fixos do edifício (kWh/m²/ano)

B: Constante relacionada ao clima (kWh/m²/ano/GHR)

C: Constante relacionada a população (kWh/pessoa)

D: Constante relacionada a estacionamentos cobertos (kWh/m²/ano)

E: Constante relacionada a iluminação externa (kWh/m²/ano)

F: Constante relacionada ao consumo no posto horário ponta (%)

G: Constante relacionada ao consumo fixo de ar condicionado (kWh/m²/ano)

GHR_i = Grau·hora de resfriamento mensal

Acrescenta-se que o GHR é determinado como a somatória da diferença da temperatura média mensal, quando esta se encontra superior à temperatura de base adotada de 22°C no caso de resfriamento. Para efeitos de cálculo será adotado o GHR de 54,061 tabelado pelo CBCS (2018), referente à cidade de Vitória.

¹ Disponível em: <https://plataformadeo.cbcs.org.br/>

Para a utilização da equação de benchmark, foram adotadas as constantes para um nível típico, de acordo com a Tabela 6, conforme ficha técnica elaborada pela CBCS (2017).

Tabela 6 – Valores das constantes do *benchmark*.

Variável	Nível Típico
A	55,16
B	0,0014
C	480
D	14,4
E	2,3652
F	0,1
ρ	0,0833
G	25,94

Fonte: CBCS (2017)

Em complemento ao diagnóstico energético, foi obtido o nível de eficiência energética parcial dos três sistemas da edificação: iluminação, condicionamento de ar e envoltória, a partir da ferramenta denominada WebPrescritivo (PROJETO S3E, 2017).

O WebPrescritivo é uma ferramenta desenvolvida pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), que visa automatizar os procedimentos do RTQ-C, trazendo praticidade na aplicação do método prescritivo.

Para a utilização da ferramenta, é necessário alimentá-la com os dados individuais dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, obtendo automaticamente o respectivo índice de consumo para cada sistema e por conseguinte avaliando o nível de eficiência energética de ‘A’, mais eficiente, a ‘E’, menos eficiente.

3.3 Etapas da avaliação energética

A avaliação energética consistiu em seis etapas: planejamento, coleta de dados, plano de medições, análise do desempenho energético, aplicação do RTQ-C e por fim as sugestões das medidas de eficiência energética.

3.3.1 Planejamento

O processo de diagnóstico iniciou-se com o planejamento, sendo esta etapa chamada de pré-diagnóstico, que consiste em levantar as características da edificação, como o funcionamento do edifício, a identificação dos sistemas consumidores e o perfil de utilização dos equipamentos elétricos pelos ocupantes.

Em agosto de 2022 foi obtido os dados gerais do edifício, englobando dados de consumo e geração de energia elétrica e contratuais referente ao fornecimento de energia elétrica:

Dados gerais:

- Localização: Jardim América, Cariacica – ES
- Horário de funcionamento: 6:00 às 18:00, de segunda a sexta feira
- Área construída: 3.664 m²
- Área do terreno: 16.442 m²
- Zona Bioclimática: 8

Dados contratuais para fornecimento de energia elétrica:

- Grupo: A
- Subgrupo: A4
- Modalidade tarifária: Verde
- Classe/Subclasse: Poder Público
- Tipo de fornecimento: Trifásico
- Tensão de fornecimento: 11.4 kV
- Demanda contratada: 414 kW
- Horário do posto horário ponta: 18:00 h a 21:00 h
- Potência do transformador: 500 kW

Em complemento ao levantamento das características da edificação, foi realizado um plano de comunicação por meio do agendamento de reuniões periódicas com os integrantes do laboratório ELENA, pelo fato de serem responsáveis pela gestão da fatura de energia elétrica do CPID.

3.3.2 Coleta de dados

Os dados disponibilizados foram:

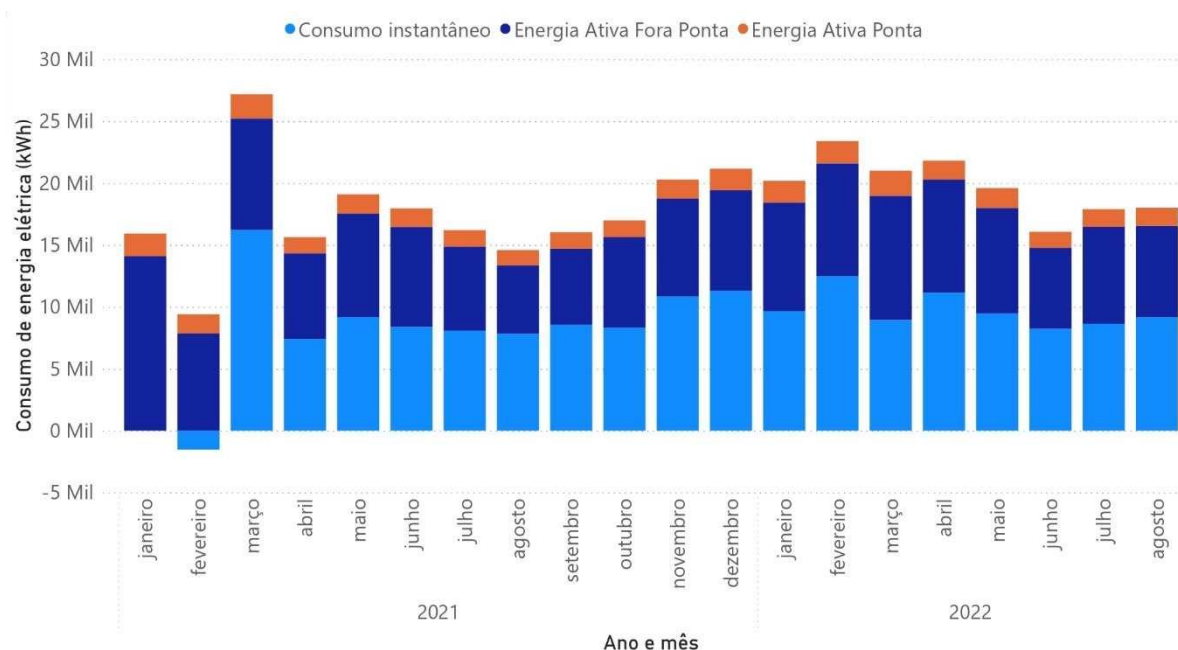
- Planta baixa;
- Planta do projeto elétrico;
- Faturas de energia elétrica;
- Dados de geração da usina fotovoltaica;
- Memória de massa do mês de março de 2022;
- Dados de temperatura média da região.

Além destas informações, foi obtido o perfil de consumo dos equipamentos que possuem padrão de consumo, por meio de entrevista com ocupantes incluindo zeladores e vigias, visando estimar o consumo de energia elétrica. Vale ressaltar que no laboratório LACAR há diversos equipamentos específicos destinados a pesquisa, dentre eles: autoclave vertical, mesa agitadora, destilador, analisador de hidrogênio, entre outros, por isso estes equipamentos foram agrupados em uma mesma categoria e junto com os demais foram tabeladas no Apêndice A.

Referente aos dados de consumo de energia elétrica, atentou-se ao fato de que o CPID possui uma usina fotovoltaica com enquadramento na modalidade de autoconsumo local, por isso o consumo de fato é dado pelo somatório do consumo instantâneo e o registrado em fatura.

O Gráfico 4 representa o consumo do CPID de janeiro de 2021 a agosto de 2022, levando em consideração o consumo registrado em fatura nos postos horários ponta e fora ponta e o consumo instantâneo, este contabilizado sempre no posto horário fora ponta, já que a irradiação solar inicia aproximadamente às 6:00 h e cessa por volta das 17:00 h.

Gráfico 4 – Histórico de consumo de energia elétrica do CPID em kWh dividido por posto horário e consumo instantâneo, de 01/2021 a 08/2022



Fonte: Elaborado pelo autor.

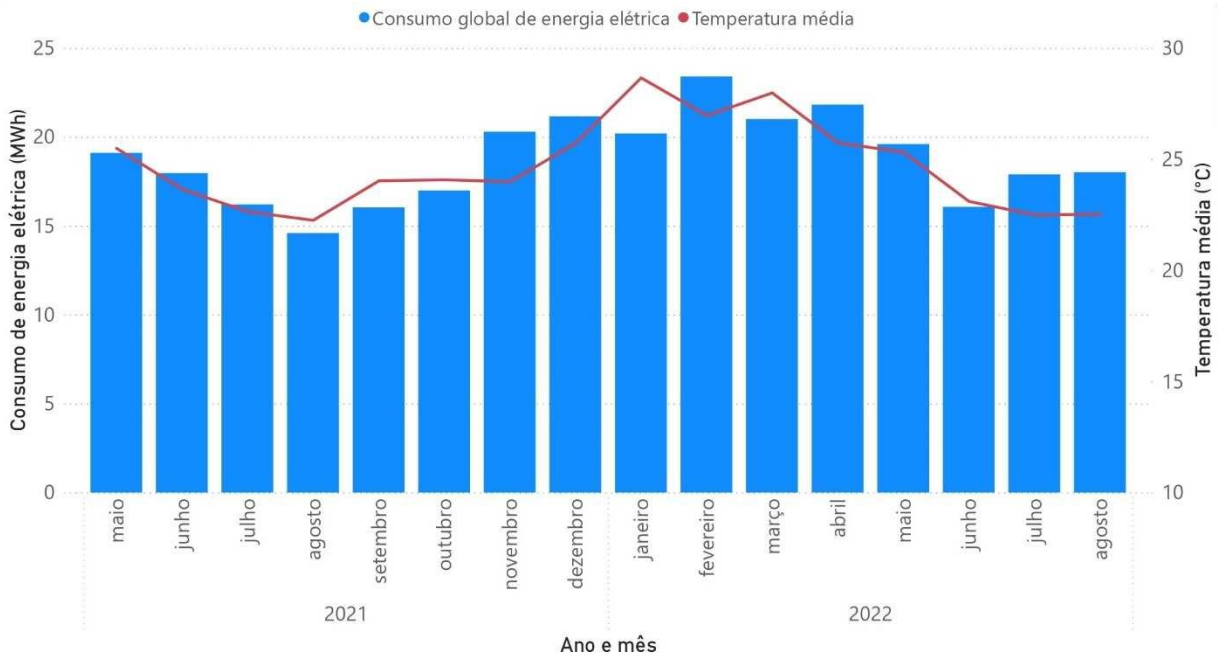
Nota-se que o consumo instantâneo em fevereiro de 2021 é negativo, indicando erroneamente que a energia injetada foi maior que a gerada, e que o consumo em março de 2021 ultrapassou 25 MWh. Isto se deve ao período de troca do medidor de energia elétrica e comissionamento da usina fotovoltaica, pois o período de faturamento foi modificado ocasionando a inconsistência nos dados de geração e consumo referentes aos meses de fevereiro e março de 2021.

Dado a inconsistência em parte dos dados de geração e consumo, para efeitos de análise serão considerados o período de abril de 2021 a agosto de 2022, possibilitando a obtenção de dados fidedignos.

Os dados de temperatura média² foram obtidos através da estação meteorológica mais próxima localizada no campus de Goiabeiras da UFES, disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), assim foi extraído informações a partir de maio de 2021 até agosto de 2022 obtendo a representação do Gráfico 5 onde os dados de temperatura média (linha) estão em conjunto com o consumo global mensal do CPID (coluna).

² Disponível em: <https://mapas.inmet.gov.br/>

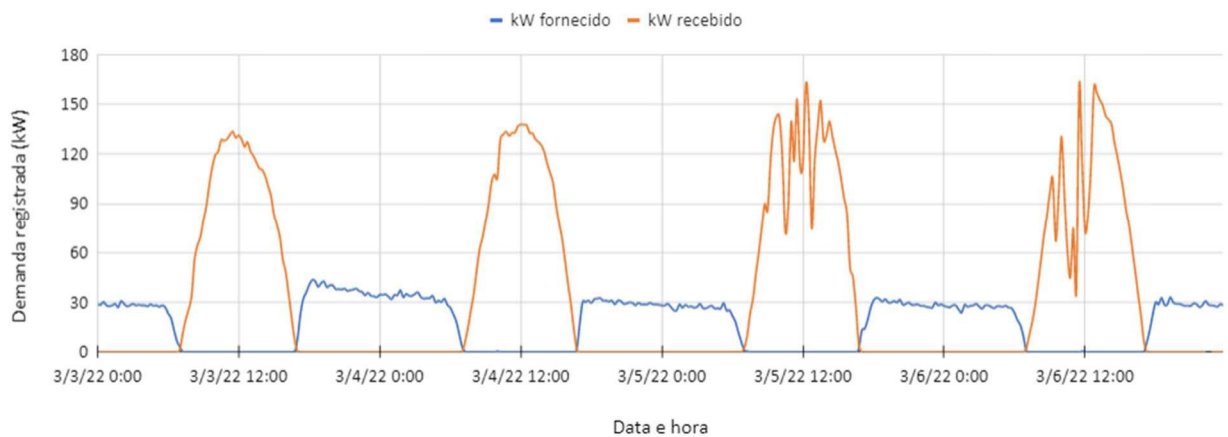
Gráfico 5 – Consumo de energia elétrica global do CPID em kWh e temperatura média da região em °C



Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto aos dados de memória de massa, foram obtidos por meio de solicitação feita pelo laboratório ELENA à concessionária de energia elétrica EDP ES. Assim, foram obtidos os dados do mês de março de 2022. O Gráfico 6 apresenta o registro de demanda entre os dias 3 e 6 de março de 2022, fazendo distinção entre a demanda fornecida e a recebida pela concessionária de energia elétrica.

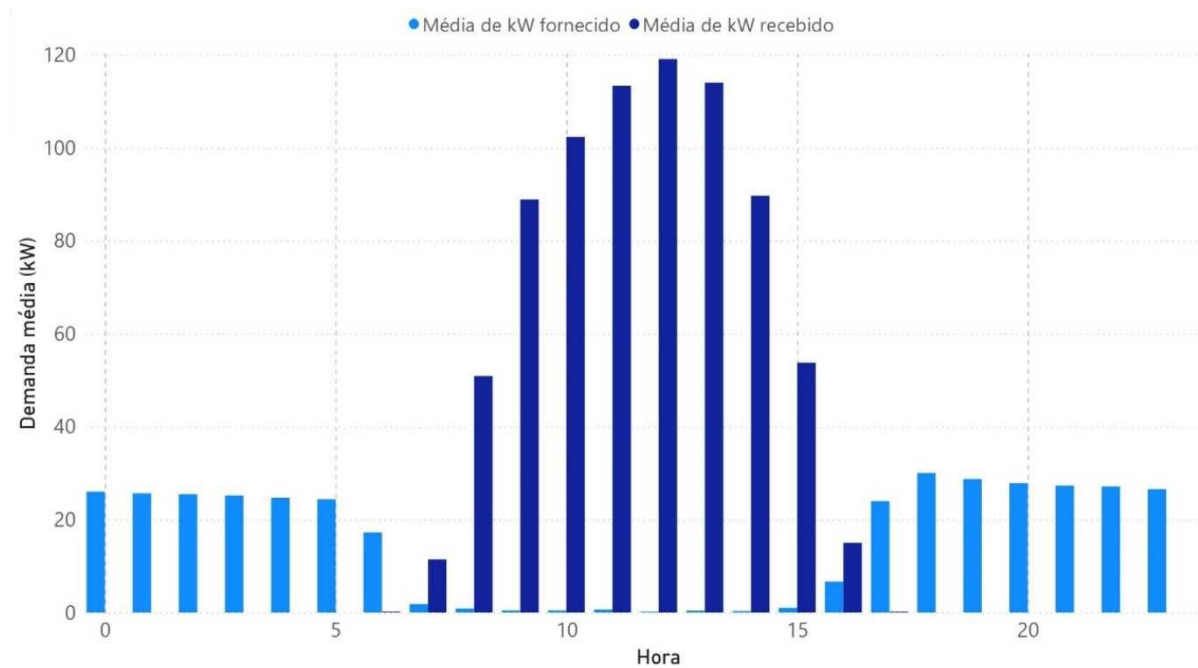
Gráfico 6 – Amostra da curva de carga em kW dos dias 3 a 6 de março de 2022



Fonte: Memória de massa fornecida pela EDP ES.

Conforme a apuração dos dados de memória de massa, o padrão da curva de carga permanece com comportamento similar ao apresentado anteriormente no Gráfico 6 durante todo o mês de março de 2022, sendo assim foi elaborado o Gráfico 7, que apresenta a média por hora das demandas fornecida e recebida pela concessionária de energia elétrica.

Gráfico 7 – Demanda média por hora em kW fornecido e recebido pela concessionária referente ao mês de março de 2022



Fonte: Memória de massa fornecida pela EDP ES

Destaca-se que o consumo médio nos intervalos das 00:00 h a 06:00 h e 18:00 h a 23:00 h é aproximadamente 26 kW, havendo variações somente na energia elétrica recebida pela concessionária durante o dia, devido à intercorrência da irradiação solar que afeta a geração da usina fotovoltaica.

O registro de demanda médio de 26 kW compreende um período total de 11 horas, conforme o Gráfico 7, equivalente ao consumo mensal de 8.580 kWh. Para averiguar tal registro, foram agrupados os equipamentos que permanecem ligados à noite, indicando a potência total de cada categoria conforme apresentando na Tabela 7, resultando em uma demanda total de 19.583 kW.

Tabela 7 – Potência dos equipamentos que possuem funcionamento noturno no CPID

Categoria	Potência (W)
Iluminação externa	4.844
Transformadores	3.200
Equipamento TI	994
Ar-condicionado e refrigeração	10.545
Total	19.583

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que a demanda média registrada de 26 kW pela memória de massa do mês de março de 2022 foi superior a demanda noturna total contabilizada na Tabela 7, evidenciando que pode haver outros equipamentos com consumo neste período ou o consumo está acima do esperado.

Constatado consumo considerável durante a noite, na etapa do plano de medição foi investigado em maior detalhe o sistema de iluminação externa acionada automaticamente durante a noite.

3.3.3 Plano de medições

Dada as limitações de acesso aos quadros de distribuição de cada laboratório e a falta de equipamentos adequados não foi elaborado plano de medição por equipamento, com exceção do período de 24/10/2022 a 31/10/2022, em que foi disponibilizada a utilização de um analisador de energia e optou-se em medir os quadros de distribuição QD09 e QD10, conforme apresentado na Figura 26, pois os mesmos alimentam o sistema automático de iluminação externa e conforme obtido na coleta de dados por meio da memória de massa, foi constatado consumo noturno considerável, apresentando valores aproximados de 26 kW.

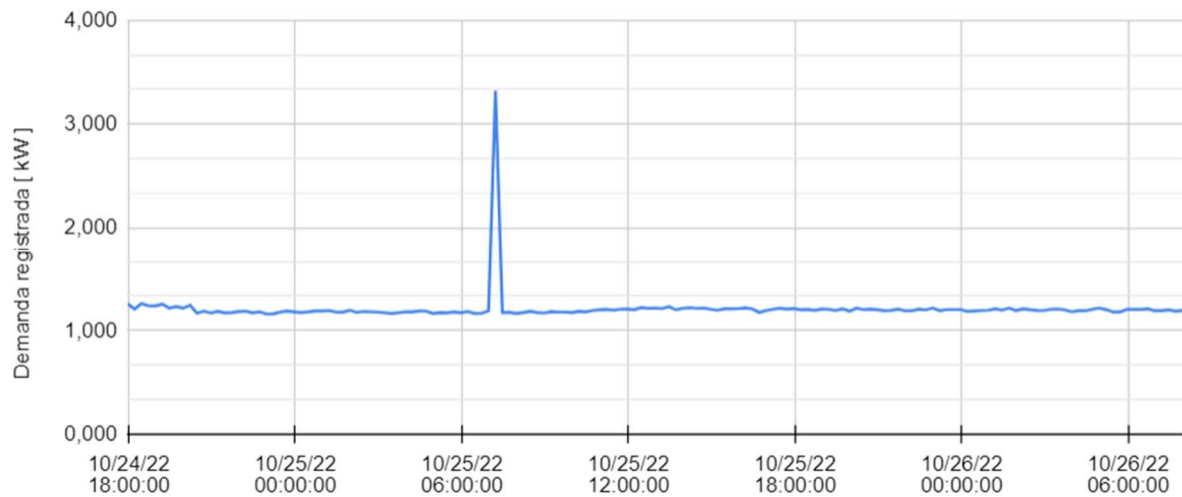
Figura 26 – Medição com analisador de energia dos quadros de distribuição referentes à iluminação externa.



Fonte: Elaborado pelo autor

Assim, realizou-se a medida de demanda dos quadros supracitados, conforme os Gráficos 8 e 9, que apresentam o registro de demanda em kW feito pelo analisador de energia, sendo realizada amostragem a cada 15 minutos.

Gráfico 8 – Demanda medida em kW referente ao quadro de distribuição QD09 entre os dias 24 e 26 de outubro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor

O comportamento observado no Gráfico 8 demonstra demanda constante de aproximadamente 1,2 kW na maior parte do período de medição, que reflete o acionamento constante de lâmpadas da área externa, fato que foi observado durante as visitas ao local. Entretanto, nota-se um pico na demanda registrada após as 6:00 h, sendo provável erro de medição ou acionamento de carga não prevista no quadro de distribuição QD09 ou algum distúrbio causado pelo módulo de acionamento automático da iluminação externa, pois o pico ocorre dentro do possível intervalo de desligamento do sistema.

Gráfico 9 – Demanda medida em kW referente ao quadro de distribuição QD10 entre os dias 29 e 31 de outubro de 2022



Fonte: Elaborado pelo autor

No Gráfico 9 observa-se um padrão no comportamento da curva de demanda, pois cerca de 18:00 h a demanda atinge 2 kW havendo oscilação de aproximadamente 250 W, resultando no registro intercalado de 2.000 e 2.250 W e após 00:00 h a demanda decresce. O comportamento oscilante com amplitude de 250 W indica provável intermitência no acionamento da iluminação presente nos postes do estacionamento, pois as mesmas são compostas por lâmpadas de vapor metálico com potência de 250 W e a característica de aumento da demanda às 18:00 h e decréscimo após 00:00 h indica provável distúrbio no módulo de acionamento automático da iluminação externa ou o desligamento programado de circuitos que compõem a iluminação.

Apesar das observações e provável distúrbio no acionamento automático, tais medições apresentadas nos Gráficos 8 e 9 excluem a suspeita de consumo excessivo pela iluminação externa do CPID, pois não foi registrada demanda acima do esperado.

3.3.4 Análise do desempenho energético

O desempenho energético foi avaliado através do detalhamento do consumo de energia por uso, da comparação com valores de referência de edificações similares, utilizando a equação de *benchmark* e da verificação do contrato de energia elétrica. Por fim, de forma a agregar na análise foi analisado os níveis de eficiência energética dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória.

Os dados sobre o detalhamento de consumo de energia elétrica foram obtidos através das visitas realizadas ao CPID, considerando somente equipamentos com padrão de consumo informado pelos usuários, sendo a potência elétrica consultada nas especificações técnicas dos equipamentos.

Vale ressaltar que o CPID possui um sistema central de condicionamento de ar, sendo que os laboratórios possuem unidades evaporadoras do tipo cassete de 4 vias, porém como não foi identificado o modelo dos equipamentos e suas especificações técnicas, alternativamente foram verificadas as dimensões das evaporadoras em comparação às do mercado, assim adotando a potência elétrica compatível de 1.700 kW para cada unidade de ar-condicionado.

Em relação aos transformadores, foram listados o transformador a seco de 500 kVA, que faz parte do circuito que fornece energia elétrica ao CPID e os dois transformadores de 100 e 150 kVA que compõem a usina fotovoltaica, sendo que para a contabilização do consumo de eletricidade destes equipamentos foi adotado somente as perdas a vazio, como apresentado no Apêndice A, haja vista que a demanda elétrica fornecida ao CPID nos intervalos que não há geração fotovoltaica é de aproximadamente 26 kW, representando cerca de 5,2 % da carga nominal do transformador de 500 kVA, enquanto que os dois transformadores da usina fotovoltaica permanecem a vazio quando não há geração de energia elétrica.

O consumo de eletricidade de cada tipo de equipamento listado foi explicitado na Tabela 8.

Tabela 8 – Consumo mensal estimado de energia elétrica em kWh por grupo de equipamentos

Tipo de equipamento	Consumo estimado (kWh / mês)
Refrigeração	4.230
Condicionamento de ar	5.766
Iluminação	2.644
Equipamentos TI	764
Equipamentos LACAR	334
Transformador	2150
Motobomba	160
Consumo total	16.048

Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida foi realizada a comparação do consumo energético por tipo de equipamento com valores de referência publicados pelo WRI Brasil (2018) para edificações públicas.

A partir dos dados da Figura 24 apresentada na seção 2.7.1 foi feita uma comparação preliminar entre os valores de o consumo em edificações públicas, conforme distribuídos na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação do consumo do CPID com valores padrões para edificações públicas.

	Ar-condicionado	Iluminação	Equipamentos TI / Outros Equipamentos
Referência	48%	24%	15%
CPID	36,3%	14,7%	3,8%
Diferença	-11,7%	-9,3%	-11,2%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dada a necessidade da comparação entre tipologias semelhantes e por conseguinte a avaliação da eficiência energética, foi utilizada o benchmark. Para tal, foram obtidas as variáveis referentes ao CPID e substituídas na Equação 5 do benchmark, explicitados na Tabela 10.

Tabela 10 – Variáveis e constantes utilizadas na equação de *benchmark*

Variáveis do Benchmark	
A_{tot}	2.916,92
A_{cond}	2.916,92
A_{est}	1.400,00
N	30
Q_{CPD}	1920
A_{ilu}	1.400,00
$F_{gerador}$	0
T_i (%)	0,104
ρ	0,0833
Constantes	
A	55,16
B	0,0014
C	480,00
D	14,4
E	2,3652
F	0,10
G	25,94
GHR	54,061

Fonte: Elaborado pelo autor

A ficha técnica do *benchmark* também disponibiliza as equações para o consumo por uso final em kWh mensal de cinco sistemas consumidores, apresentados nas equações 7 a 11, explicitadas a seguir.

$$\text{Ar condicionado} = (G + B \cdot \sum_i^{i+11} GHR_i) \cdot \frac{A_{Cond}}{A_{Tot}} \cdot T \quad (7)$$

$$\text{Tomadas e iluminação interna} = (A + (\frac{N}{T \cdot A_{Tot}} - \rho) \cdot C) \cdot T \quad (8)$$

$$\text{Iluminação externa} = \frac{A_{Ilu}}{A_{Tot}} \cdot E \quad (9)$$

$$\text{Datacenter} = \frac{Q_{CPD}}{A_{Tot}} \quad (10)$$

$$\text{Estacionamento} = \frac{A_{Est}}{A_{Tot}} \cdot D \quad (11)$$

Quanto ao contrato de energia elétrica foram avaliados o enquadramento nas modalidades tarifárias disponíveis e o contrato de demanda, considerando somente os gastos com fornecimento de energia elétrica, isto é, sem considerar impostos, tributos e contribuição com iluminação pública.

A concessionária de energia que atende o CPID é a EDP ES (Energias de Portugal Espírito Santo), a qual possui reajuste tarifário anual em 07 de agosto, pois esta é a data de vigência do contrato de concessão, com isso, no período de 01 de janeiro de 2021 a 07 de agosto de 2021 estava em vigor as tarifas apresentadas na Tabela 12, e no período de 08 de agosto de 2022 até a próximo reajuste tarifário as tarifas utilizadas foram as apresentadas na Tabelas 11.

Tabela 11 – Tarifas vigentes de agosto/2021 a agosto/2022

Modalidade tarifária	Tarifa (R\$/kWh)		Tarifa (R\$/kWh)		DEMANDA (R\$/kW)	
	PONTA	FORA PONTA	PONTA	FORA PONTA	PONTA	FORA PONTA
Verde	0,42	1,25	0,26	0,12	31,03	31,03
Azul	0,42	0,12	0,26	0,12	46,48	31,03

Fonte: EDP ES

Tabela 12 – Tarifas vigentes de agosto/2020 a agosto/2021

Modalidade tarifária	Tarifa (R\$/kWh) PONTA		Tarifa (R\$/kWh) FORA PONTA		DEMANDA (R\$/kW)	
	TE	TUSD	TE	TUSD	PONTA	FORA PONTA
Verde	0,41	1,08	0,25	0,09	26,96	26,96
Azul	0,41	0,09	0,25	0,09	40,61	26,96

Fonte: EDP ES

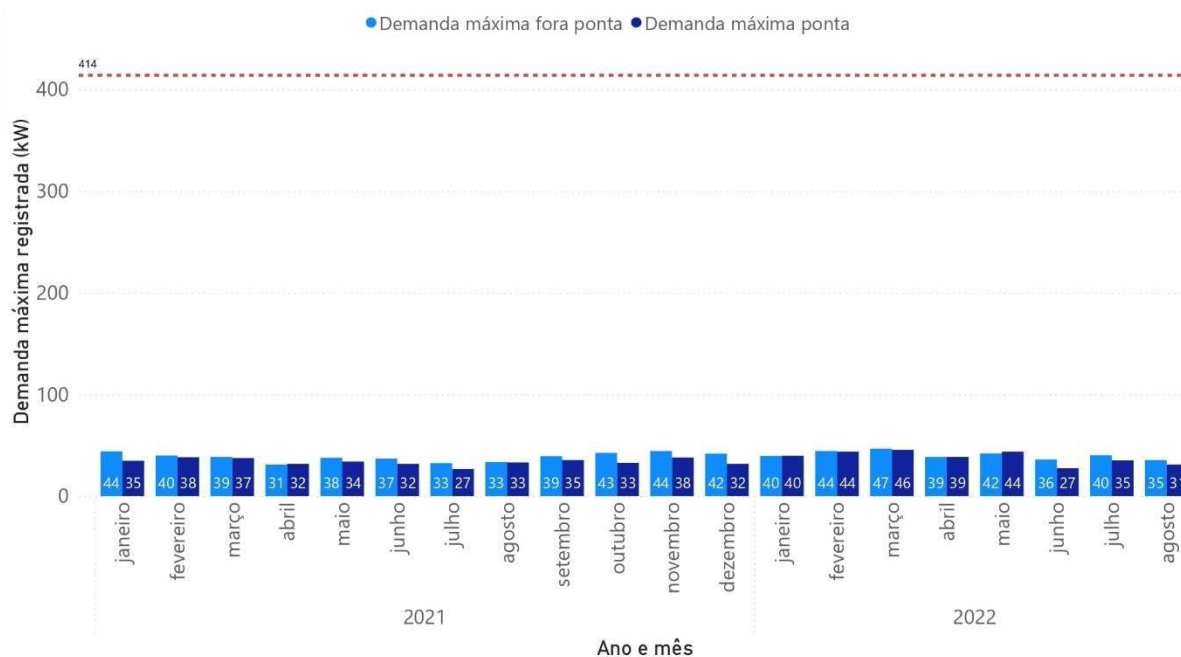
O faturamento do fornecimento de energia elétrica para unidades consumidoras atendidas em média tensão é dado pela Equação 12, obedecendo os respectivos valores por posto horário:

$$Faturamento = Consumo [kWh] \times (TE + TUSD) + Demanda_{faturada} [kW] \times TUSD_c, \quad (12)$$

onde a demanda faturada é o maior valor entre a contratada e medida.

No que tange ao contrato de demanda, foi elaborado no Gráfico 10 o histórico da demanda máxima registrada por posto horário, tornando evidente que a demanda registrada está bem abaixo do valor contratado de 414 kW, representado pela linha pontilhada, observando-se que a demanda máxima registrada foi de 46,7 kW no mês de março de 2022 no posto horário fora ponta, sendo arredondada para 47 kW na representação gráfica.

Gráfico 10 – Histórico de demanda mensal máxima registrada e demanda contratada de 414 kW pelo CPID



Fonte: Faturas de energia elétrica do CPID

De acordo com a REN 482 e REN 687 a demanda contratada deve ser maior ou igual à potência máxima disponibilizada pela usina fotovoltaica. Entretanto, a REN 1000/2021, em conjunto com a Lei 14.300, trouxeram a diferenciação entre demanda de carga e de geração, possibilitando a contratação de demanda específica para usinas de geração distribuída.

Assim, tornou-se possível contratar a demanda da carga, que está vinculada à potência instalada na unidade consumidora, e a demanda referente à central geradora, porém isso só se faz necessário quando a demanda da central geradora é maior que a carga, caso contrário a demanda da carga prevaleceria e não haveria mudança alguma com a nova aplicação trazida pela REN 1000/2021.

Como o CPID possui uma usina com potência dos inversores igual a 230 kW, a demanda de geração contratada deve ser de 230 kW e para a carga pode-se adotar o valor adequado à demanda consumida, evitando um contrato sobredimensionado e/ou valores de ultrapassagem.

O valor de ultrapassagem é dado pela diferença da demanda faturável (maior demanda registrada) e a contratada, multiplicado pela TUSD do posto horário da demanda faturável vezes dois, como explicitado na Equação 13.

$$\text{Valor de ultrapassagem} = (\text{Demanda}_{\text{faturável}} - \text{Demanda}_{\text{contrada}}) \times 2 \times \text{TUSD}_{p/f} \quad (13)$$

O valor total faturado é dado pela Equação 14.

$$\text{Valor total} = \text{Demanda}_{\text{faturável}} \times \text{TUSD}_{p/f} + \text{Valor de ultrapassagem} \quad (14)$$

Tendo em vista a mudança trazida pela REN 1000/2021, nos casos em que a demanda de geração for maior que a de carga, deverá ser feito um balanço no momento do faturamento entre os contratos de demanda, como apresentado na Equação 15.

$$F = \text{Demanda de carga} \times \text{TUSD}_c + (\text{Demanda de geração} - \text{Demanda de carga}) \times \text{TUSD}_g, \quad (15)$$

onde:

F : Faturamento de demanda

$TUSD_c$: Tarifa de uso do sistema de distribuição referente à carga

$TUSD_g$: Tarifa de uso do sistema de distribuição referente à central geradora

As tarifas de carga e geração vigentes na concessionária de energia elétrica EDP ES são apresentadas na Tabela 13, e foram utilizadas para obtenção da simulação de faturamento.

Tabela 13 – Tarifas do uso do sistema de distribuição para modalidade tarifária verde.

TUSD_C (R\$/kW)		TUSD_G (R\$/kW)	
Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
	30,44		12,99

Fonte: EDP ES (2022)

De modo a verificar a otimização do contrato de demanda antes da publicação da Resolução Normativa 1000/2021, foi utilizada a Equação 16 em adequação às resoluções normativas 482 e 687, tendo em vista que a demanda de carga faturável deve ser maior ou igual a potência de inversores da usina fotovoltaica, sendo 230 kW para o caso do CPID.

$$Faturamento = Demanda\ de\ carga_{faturável} \times TUSD_c \quad (16)$$

3.3.5 Aplicação do RTQ-C

Este tópico consiste na obtenção dos níveis de eficiência energética para os três principais sistemas da edificação: envoltória, condicionamento de ar e iluminação.

3.3.5.1 Envoltória

A cobertura do CPID, é constituída por telhas metálicas que em janeiro de 2021 foram sobrepostas por painéis solares como visualizado na Figura 25 na Seção 3.1.

Além disso, a fachada do CPID possui corredores cruzando a edificação que possibilitam uma ventilação cruzada, como demonstrado na Figura 27.

Figura 27 – Fachada de entrada aos laboratórios



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com o projeto arquitetônico, a envoltória possui predominantemente os seguintes componentes construtivos e materiais de revestimento:

Componentes construtivos:

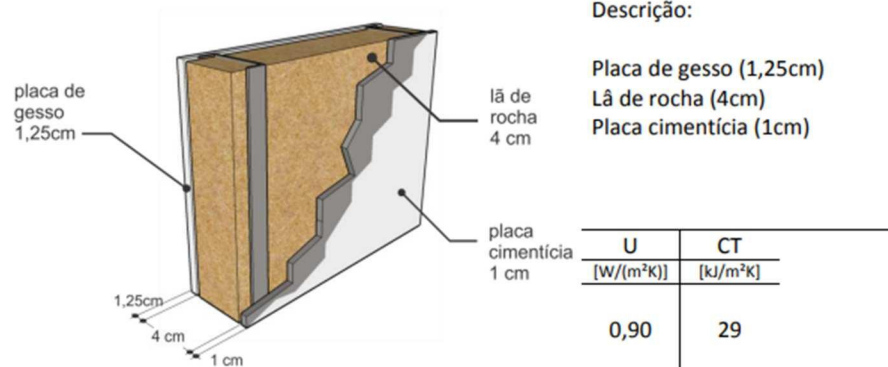
- Cobertura: Laje emassada, coberta por telha metálica termoacústica com poliuretano, sendo coberta por painéis solares.
- Fachada: Camada externa de placa cimentícia com junta flexível impermeabilizada, camada interna em *drywall* (gesso acartonado) e com preenchimento de fibra do tipo lã de rocha.
- Fachadas com brises.

Materiais de revestimento:

- Teto: Laje emassada em cor branco gelo.
- Paredes: Tinta acrílica acabamento fosco na cor branco neve.
- Piso: Cimentício de alta resistência com 5% de agregados brancos

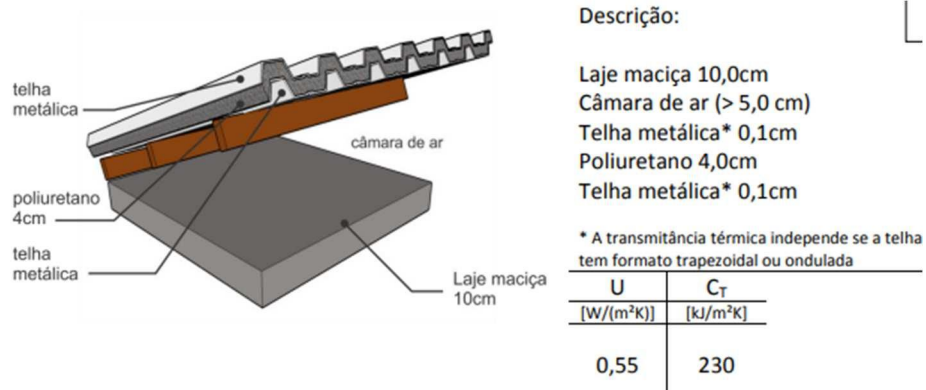
Dadas as informações anteriores sobre os materiais construtivos, é possível obter as propriedades térmicas das paredes externas e cobertura, como apresentado nas Figuras 28 e 29, as quais serão utilizados para determinar a eficiência energética da envoltória.

Figura 28 – Propriedades térmicas da parede



Fonte: INMETRO (2017)























Figura 29 – Propriedades térmicas da cobertura



Fonte: INMETRO (2017)

No mesmo documento disponibilizado pelo Inmetro é encontrada a absorvância (α) das paredes e cobertura, conforme a Tabela 14:

Tabela 14 – Valores de absorvância (α) para revestimentos de paredes e coberturas.

Tipo	Número	Cor	Nome	α
Látex PVA Fosca	40		Branco Gelo	34,0
	41		Erva doce	21,9
	42		Flamingo	46,8
	43		Laranja	39,9
	44		Marfim	29,7
	45		Palha	28,5
	46		Pérola	25,7
	47		Pêssego	39,5
Acrílica Fosca	48		Alecrim	64,0
	49		Azul bali	48,9
	50		Branco Neve	10,2
	51		Branco Gelo	29,7
	52		Camurça	55,8
	53		Concreto	71,5
	54		Marfim	26,7
	55		Marrocos	54,7
	56		Mel	41,8
	57		Palha	27,2
	58		Pérola	22,1
	59		Pêssego	35,0
	60		Telha	70,8
	61		Vanila	23,9

Fonte: INMETRO (2017)

Assim, obtém-se a absorvância de 10,2 para as paredes, correspondente a tinta acrílica fosca na cor branco neve e 29,7 para a cobertura, que possui pintura acrílica fosca na cor branco gelo.

Em conjunto com as propriedades térmicas dos componentes construtivos, foram obtidos os valores referentes à geometria da edificação, explicitados na Tabela 15, conforme descritos na Seção 2.4.

Tabela 15 – Dados de inserção no WebPrescritivo

Pré-requisitos	
U_{COB-AC}	0,53
$U_{COB-ANC}$	0,53
U_{PAR}	0,90
PAZ	0
α_{COB}	29,7
CT_{PAR}	29
α_{PAR}	10,2
Dimensões da edificação	
A_{Tot}	3.664,94
A_{PCOB}	1.631,97
A_{PE}	1.631,97
V_{Tot}	18772,88
A_{Env}	4.083,17
Características das Aberturas	
FS	0,428
PAF_T	0,16
PAF_O	3,07
AVS	39,63
AHS	15

Fonte: Elaborado pelo autor

U_{COB-AC} : Transmitância térmica da cobertura para área condicionada (W/m^2K)

$U_{COB-ANC}$: Transmitância térmica da cobertura para área não condicionada (W/m^2K)

U_{PAR} : Transmitância térmica das paredes (W/m^2K)

PAZ : Percentual de abertura zenital

α_{COB} : Absortância da cobertura

α_{PAR} : Absortância da parede

CT_{PAR} : Capacidade térmica das paredes (kJ/m^2K)

A_{Tot} : Área total construída (m^2)

A_{PCOB} : Área de projeção da cobertura (m^2)

A_{PE} : Área de projeção do edifício (m^2)

V_{Tot} : Volume total da edificação (m^3)

A_{Env} : Área da envoltória (m^2)

FS : Fator solar (adotado valor para vidro monolítico 6mm, fabricante: CEBRACE Cool – lite KNT 155)

PAF_T : Percentual de área de abertura na fachada total (%)

PAF_O : Percentual de área de abertura na fachada oeste (%)

AVS : Ângulo vertical de sombreamento ($^\circ$)

AHS : Ângulo horizontal de sombreamento ($^\circ$)

Por fim, os valores obtidos são alimentados na plataforma WebPrescritivo, responsável por automatizar a aplicação da Equação 17, que resulta no denominado índice de consumo da envoltória, e a comparação aos respectivos limites adequados para as dimensões do CPID conforme prescrito no RTQ-C e informado na Tabela 16, assim encontrando o nível de eficiência energética da envoltória.

$$IC_{env} = -160,36 \cdot \frac{A_{cob}}{A_{Tot}} + 1.277,29 \cdot 0,17 - PAF_T + 2,95 \cdot FS - 0,36 \cdot AVS - 0,16 \cdot AHS + 290,55 \cdot 0,17 \cdot PAF_T + 0,01 \cdot PAF_T \cdot AVS \cdot AHS - 120,58 \quad (17)$$

Substituindo os valores do CPID na Equação 17, encontra-se o valor de 18,44, que deve ser comparado aos valores da Tabela 16 para determinar o nível de eficiência da envoltória.

Tabela 16 – Limites dos intervalos dos níveis de eficiência energética adequados para a envoltória do CPID.

Nível de eficiência	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	36,61	43,07	49,53	55,99
Limite máximo	36,6	43,06	49,52	55,98	-

Fonte: INMETRO (2010)

3.3.5.2 Iluminação

A potência instalada referente à iluminação, de acordo com o projeto elétrico, é de 55.045 W, sendo que a iluminação interna representa 41.295 W e a externa 13.750 W. Entretanto cerca de 80% da iluminação externa está danificada, como constatado nas visitas in loco e exemplificado na Figura 30.

Figura 30 – Iluminação externa danificada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A iluminação externa é constituída por postes com lâmpadas de vapor metálico de 125 W, com exceção da área do estacionamento, onde são utilizadas lâmpadas com as mesmas características, porém de potência de 250 W.

Já na parte interna da edificação são utilizadas luminárias com um conjunto de quatro lâmpadas fluorescentes de 16 W, totalizando 74 W por luminária, como exemplificado na Figura 31.

Figura 31 – Iluminação interna ao laboratório LACAR



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 17 apresenta a potência instalada da iluminação na edificação:

Tabela 17 – Distribuição da iluminação no CPID

Área	Tipo	Potência por lâmpada (W)	Potência total (W)
Internamente à edificação	Fluorescente	16	41.295
Estacionamento	Vapor metálico	250	2.000
Perímetro externo	Vapor metálico	125	11.750

Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentre os pré-requisitos para o sistema de iluminação exigidos pelo RTQ-C, o CPID atende os de divisão de circuitos e contribuição natural, restando apenas o requisito de desligamento automático do sistema de iluminação.

Assim, para determinar a eficiência energética foi utilizado o método de área do edifício, pois o CPID possui um único tipo de atividade.

Então, para obter a densidade de potência de iluminação é aplicada a Equação 18.

$$DPI = \frac{\text{Potência Total Instalada}}{\text{Área iluminada}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (18)$$

Os valores de densidade de potência instalada limite para cada atividade são descritos na Tabela 18, tendo em vista que para o CPID foi adotado o valor corresponde à função de escritório.

Tabela 18 – Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) para o nível de eficiência pretendido – Método da área do edifício

Função do Edifício	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível A)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível B)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível C)	Densidade de Potência de Iluminação limite W/m ² (Nível D)
Academia	9,5	10,9	12,4	13,8
Armazém	7,1	8,2	9,2	10,3
Biblioteca	12,7	14,6	16,5	18,4
Bombeiros	7,6	8,7	9,9	11,0
Centro de Convenções	11,6	13,3	15,1	16,8
Cinema	8,9	10,2	11,6	12,9
Comércio	15,1	17,4	19,6	21,9
Correios	9,4	10,8	12,2	13,6
Venda e Locação de Veículos	8,8	10,1	11,4	12,8
Escola/Universidade	10,7	12,3	13,9	15,5
Escritório	9,7	11,2	12,6	14,1
Estádio de esportes	8,4	9,7	10,9	12,2

Fonte: INMETRO (2010)

3.3.5.3 Condicionamento de ar

O CPID possui um sistema central de refrigeração, denominado Multi Split, composto por 10 unidades condensadoras, representadas na Figura 32, que estão ligadas a outras 72 unidades evaporadoras, além de 6 sistemas individuais, usados somente no prédio da administração, conforme a Figura 33.

Figura 32 – Unidades condensadoras instaladas na cobertura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33 – Unidades condensadoras instalados no prédio da administração



Fonte: Elaborado pelo autor.

As unidades evaporadoras no prédio principal são compostas pelos tipos split cassete (Figura 34) e hi-wall (Figura 35), enquanto no prédio da administração são utilizadas somente unidades do tipo split hi-wall.

Figura 34 – Unidade evaporadora do tipo split cassette



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35 – Unidade evaporadora do tipo split hi-wall



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 19 é apresentada a distribuição da potência instalada dos equipamentos de condicionamento de ar no CPID.

Tabela 19 – Distribuição os equipamentos de condicionamento de ar.

Local	Sistema de refrigeração	Potência Instalada de condensadoras (kW)
Laboratórios	Multi split	246,00
Administração	Split hi-wall	10,50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sistemas instalados na edificação da administração são regulamentados pelo Inmetro e possuem, todos, a classificação nível A como exemplificado na Figura 36.

Figura 36 – Etiqueta de nível A em ar-condicionado tipo split hi-wall, instalado na administração.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sabendo que o modelo dos ares-condicionados da administração é o 42MBCA18M5, foi encontrado o CEE de 3,4 na tabela de eficiência energética disponibilizada pelo Inmetro³.

Já o sistema central, Multi Split, não possui regulamentação do Inmetro e, portanto, a avaliação de eficiência energética passará pelos requisitos técnicos impostos no RTQ-C, sendo que inicialmente há dois pré-requisitos gerais, um relacionado a espessura mínima do material isolante dos dutos do sistema de condicionamento de ar (refrigeração) e o outro destinado aos casos que há utilização do sistema de aquecimento, não aplicado ao CPID.

Assim realizou-se a vistoria das tubulações que conduzem o fluido refrigerante, apresentadas nas Figuras 37 e 38. Verificou-se que as tubulações são isoladas termicamente com espuma elastomérica e possuem aproximadamente 10 cm de diâmetro, além da espuma ter espessura maior que 2,5 mm, atendendo o pré-requisito exigido pelo RTQ-C, conforme a Tabela 20.

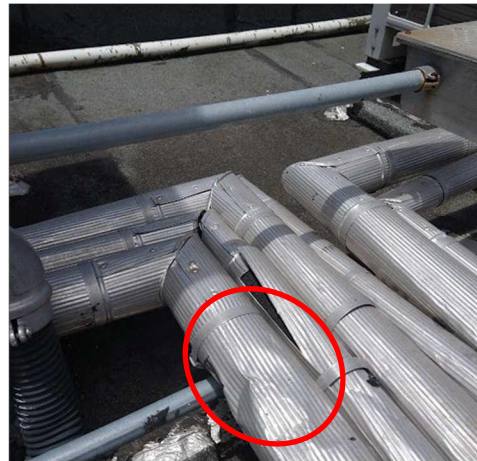
³ Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/condicionadores-de-ar>

Figura 37 – Tubulação de refrigeração do sistema Multi Split



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 – Tubulação de refrigeração com exposição do material isolante, composto pela espuma elastomérica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 – Espessura mínima (cm) de isolamento de tubulações para sistemas de resfriamento

Faixa de temperatura do fluido (°C)	Condutividade do isolamento		Diâmetro nominal da tubulação (mm)				
	Condutividade térmica (W/mK)	Temperatura de ensaio (°C)	< 25	25 a <40	40 a <100	100 a <200	≥ 200
4 < T < 16	0,032 a 0,040	24	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5
T < 4	0,032 a 0,040	10	1,5	2,5	2,5	2,5	4,0

Fonte: INMETRO (2010)

Adicionalmente o RTQ-C estabelece requisitos mínimos para os sistemas Multi Split que operam no sistema de refrigeração, sendo estes relacionados ao coeficiente de eficiência mínima definidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Eficiência mínima de condicionadores de ar do tipo Multi Split que operam somente em refrigeração (sem ciclo reverso) para classificação no nível A

Tipo de equipamento	Capacidade	Tipo de aquecimento	Subcategoria ou condição de classificação	Eficiência a mínima	Procedimento de teste
Condicionadores de ar VRF com condensação a ar	< 19 kW	Todos	Multi-split VRF	3,81 SCOP	AHRI 1230
	≥ 19 kW e < 40 kW	Ausente ou Resistência elétrica	Multi-split VRF	3,28 COP 3,84 ICOP	
	≥ 40 kW e < 70 kW	Ausente ou Resistência elétrica	Multi-split VRF	3,22 COP 3,78 ICOP	
	≥ 70 kW	Ausente ou Resistência elétrica	Multi-split VRF	2,93 COP 3,40 ICOP	

Fonte: INMETRO (2010)

Nota-se que na Tabela 21 foram apresentadas variações do coeficiente de performance, como o ICOP (Coeficiente integrado de performance), que considera a ponderação da eficiência para diferentes pontos de operação mediante capacidade de carga distinta, e o SCOP (Coeficiente sazonal de performance) o qual leva em consideração o perfil de carga térmica ponderando a eficiência para distintas sazonalidades.

A composição do sistema Multi Split do CPID é apresentada na Tabela 22, a qual contém dados de capacidade em kW e BTU/h, além do coeficiente de performance de cada unidade condensadora.

Tabela 22 – Dados técnicos das unidades condensadores do sistema Multi-Split do CPID

Condensadores	Referência do equipamento	Capacidade (kW)	Capacidade (BTU/h)	COP (kW/kW)	EER (kW/kW)
1	ARUN200LTE4	63,0	214.956	4,72	4,85
2	ARUN120LTE4	37,8	128.973	4,84	4,90
3	ARUN180LTE4	56,7	193.460	5,04	5,12
4	ARUN180LTE4	56,7	193.460	5,04	5,12
5	ARUN200LTE4	63,0	214.956	4,72	4,85
6	ARUN180LTE4	56,7	193.460	5,04	5,12
7	ARUN160 LTE4	50,4	171.964	4,42	4,30
8	ARUN120LTE4	37,8	128.973	4,84	4,90
9	ARUN180LTE4	56,7	193.460	5,04	5,12
10	ARUN180LTE4	56,7	193.460	5,04	5,12

Fonte: LG (2014)

Importante salientar que um dos pré-requisitos definidos pelo RTQ-C para um sistema Multi-Split envolve a obtenção da carga térmica da edificação utilizando ferramentas computacionais, porém esta abordagem está fora do escopo deste trabalho, limitando a avaliação da eficiência para o condicionamento de ar ao nível B.

O CPID apresenta além do sistema central um sistema com unidades split etiquetadas pelo Inmetro, que é avaliado conforme a ENCE individual de cada equipamento, assim foi necessário ponderar os resultados dos sistemas através do equivalente numérico de cada classificação e por fim verificar a classificação geral.

3.3.6 Sugestões das medidas de eficiência energética

Nesta etapa foram identificadas as oportunidades de melhoria no desempenho energético da edificação com base nos resultados obtidos por meio do diagnóstico energético e RTQ-C, visando alcançar os níveis de eficiência energética máximos para os sistemas da envoltória, condicionamento de ar e iluminação.

Esta etapa conta com a própria competência do avaliador, levando em consideração as necessidades e prioridades da edificação.

Como este trabalho visa a otimização do consumo de energia elétrica, envolvendo reduções dos gastos com fornecimento de energia elétrica e visando propor medidas de eficiência energética, foram identificados os principais pontos de melhoria, podendo quantificar a redução de consumo de eletricidade ou não.

Em relação à avaliação das ações de eficiência energética propostas, foi realizada a avaliação financeira quando possível quantificar, por meio da análise de *payback*. O cálculo do *payback* é dado pela Equação 19, sendo o custo inicial referente à aquisição dos equipamentos e à economia dada em função do custo da energia elétrica referente à modalidade tarifária verde para o subgrupo A4, conforme a Tabela 11 na Seção 3.3.4.

$$Payback = \frac{\text{Custo inicial (R\$)}}{\text{Economia mensal (R\$/mês)}} \quad (19)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os níveis de eficiência energética resultantes da aplicação do RTQ-C para a envoltória, iluminação e condicionamento de ar, além dos resultados obtidos pelo diagnóstico energético.

4.1 Resultados obtidos pelo RTQ-C

4.1.1 Envoltória

A partir dos parâmetros da envoltória do CPID descrito na Seção 3.3.5.1 e da utilização do WebPrescritivo, foi encontrado o resultado apresentado na Figura 39.

Figura 39 – Avaliação da eficiência energética da envoltória com parâmetros inseridos pelo autor

Envoltória

Localização
 Zona Bioclimática ZB 8 Cidade Água Branca AL

Pré-requisitos

U_{COB-AC}	0.53	W/(m ² K)	α_{COB}	29.7	%
$U_{COB-ANC}$	0.53	W/(m ² K)	CT_{PAR}	29	kJ/(m ² K)
U_{PAR}	0.9	W/(m ² K)	α_{PAR}	10.2	%
PAZ	0	%	FS	0	

Calcular Eficiência Limpar

A

Dados Dimensionais da Edificação

A_{TOT}	3664.94	m ²	FA: 0.45
A_{PCOB}	1631.97	m ²	
A_{PE}	1631.97	m ²	
V_{TOT}	18772.88	m ³	FF: 0.22
A_{ENV}	4083.17	m ²	

Características das Aberturas

FS	0.428
PAF_T	0.16 %
PAF_O	3.07 %
AVS	39.63 °
AHS	15 °

Fonte: PROJETO S3E (2017)

Todos os pré-requisitos foram atendidos, assim como os dados dimensionais, e as características das aberturas consolidaram o resultado de nível A, sendo verificado a partir da Equação 17 apresentada na Seção 3.3.5.1, que o índice de consumo da envoltória do CPID é igual a 18,44, estando abaixo do limite máximo para o enquadramento no nível A de eficiência energética, evidenciando um ótimo nível de eficiência energética para a envoltória.

4.1.2 Iluminação

Sabe-se que a potência instalada internamente ao edifício é igual a 41.295 W e a área iluminada é 3.641,2 m², assim aplicando a Equação 2 apresentada na Seção 2.4.2, obtém-se o *DPI* resultante de 11,34 W/m².

Desta forma, segundo a Tabela 18 contida na Seção 3.3.5.2 e tendo em vista que para o método da área do edifício foi adotado os valores referentes a função de escritório para o CPID, tem-se que o sistema de iluminação possui o nível C de eficiência energética, como confirmado na avaliação pelo WebPrescritivo, apresentada na Figura 40.

Figura 40 – Classificação do nível de eficiência energética do sistema de iluminação pelo WebPrescritivo com parâmetros inseridos pelo autor

Iluminação

Por áreas do edifício Por atividades do edifício

Pré-Requisitos de todos os ambientes

Divisão de circuitos Atende Não atende

Contribuição da luz natural Atende Não atende Não se aplica

Desligamento automático Atende Não atende Não se aplica

Atividade	Nº. de Unidades	Pré-Requisitos por ambientes			Potência [W]	Área [m ²]
		Divisão de circuitos	Contribuição da luz natural	Desligamento automático		
1 Escritório	- 1 +	Atende	Atende	Não atende	41295	3641.29

Calcular Eficiência Limpar

■ ■ ■ C ■ ■

Fonte: PROJETO S3E (2017)

Sabe-se que a iluminação interna dos laboratórios do CPID é formada por lâmpadas tubulares fluorescentes com potência de 16 W. Assim, de acordo com a eficiência energética apresentada na Tabela 3 na Seção 2.4.2, uma lâmpada LED é em média 43% mais eficiente do que as lâmpadas usadas atualmente, por isso uma substituição das luminárias por LED reduziria a potência instalada internamente a edificação para cerca de 23.538 W, resultando em um DPI de 6,46 W/m² alcançando então o nível A de eficiência energética para o sistema de iluminação.

4.1.3 Condicionamento de ar

Os condensadores referentes ao sistema central de condicionamento de ar, possuem valores de COP dentro dos requisitos apresentados na Tabela 21 da Seção 3.3.5.3. Deste modo, caso

assumindo que os pré requisitos sejam atendidos, a classificação do sistema central será nível A.

Entretanto, para verificação dos pré requisitos em casos de sistemas centrais de condicionamento é necessário obter a carga térmica da edificação utilizando ferramentas computacionais apropriadas, sendo que essa abordagem está fora do escopo deste trabalho, limitando a avaliação da eficiência energética até o nível B.

Devido à existência do sistema com unidades split etiquetadas com nível A pelo Inmetro, os resultados foram ponderados, como apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 – Ponderação e classificação do sistema de condicionamento de ar

Sistema	Capacidade total (BTU/h)	Classificação	Equivalente numérico	Coefficiente de ponderação	Equivalente numérico
Split Hi-Wall	108.000,00	A	5	0,056	0,279
Multi Split	1.827.126,00	B	4	0,944	3,777
Total	1.935.126,00	-	-	1,00	4,056

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 23, o coeficiente de ponderação é dado pela relação entre a capacidade do aparelho pelo total dos dois sistemas e o resultado ponderado é o produto do equivalente numérico por esse coeficiente de ponderação.

Através da classificação dos níveis de eficiência energética de A a E, conclui-se que a classificação resultante é a de nível B para o sistema de condicionamento de ar, havendo necessidade de realizar simulação da carga térmica a fim de verificar a classificação nível A.

4.2 Resultados obtidos pelo diagnóstico energético

4.2.1 Perfil de consumo

Em relação ao perfil de consumo do CPID, foi identificado que o maior consumo de energia elétrica se dá pelo consumo instantâneo, isto é, no período em que há geração fotovoltaica o consumo de eletricidade é majoritário, tendo em vista que a geração de eletricidade por parte da usina fotovoltaica compreende o período de 06:00 h a 17:00 h, conforme apresentado no Gráfico 7 da Seção 3.3.2.

A Tabela 24 apresenta os parâmetros de consumo e geração obtidos na coleta de dados, notando-se que o segundo maior consumo se dá no horário fora ponta, correspondente ao período das 00:00h às 17:59h e das 21:01h às 23:59h, entretanto como o CPID possui geração fotovoltaica na modalidade conectada à carga, pode-se considerar que a maior parte do consumo fora ponta se dá no período das 17:00h às 23:59h e das 00:00 às 06:00h, pois neste intervalo não há geração fotovoltaica.

Tabela 24 – Parâmetros de consumo e geração de energia elétrica do CPID.

Parâmetro	Energia elétrica consumida/gerada média (kWh/mês)	Porcentagem em relação ao consumo global (%)
Energia Gerada	28.288	152,21
Consumo Instantâneo	9.272	49,89
Consumo Fora Ponta	7.796	41,95
Consumo Ponta	1.517	8,16
Consumo Global	18.585	100

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir deste resultado constata-se que a demanda estimada de 19,583 kW obtida pela listagem dos equipamentos com funcionamento noturno, conforme Tabela 7 da Seção 3.3.2, é compatível ao consumo registrado fora ponta, pois, considerando-se a carga noturna obtida constante diariamente no intervalo de 17:00 às 06:00, resultaria em um consumo mensal de 7.637,37 kWh, aproximando-se do valor apresentado na Tabela 24.

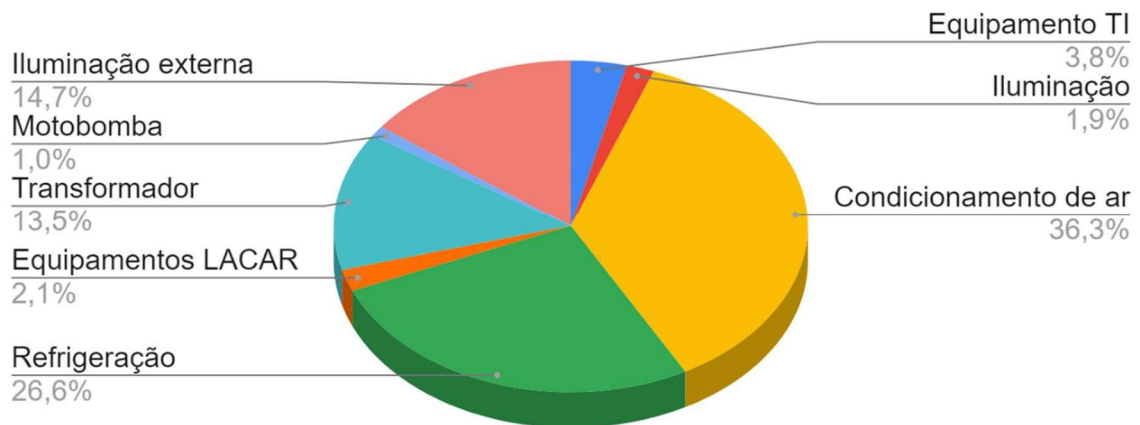
No tocante ao consumo mensal total do CPID, foi estimado o valor de 16.048 kWh, conforme Tabela 8 na Seção 3.3.4, porém o consumo real registrado total do CPID foi de 18.585 kWh. Tal diferença é esperada, pois a estimativa foi obtida somente pela listagem de equipamentos

que possuíam algum padrão de consumo, os demais não foram apurados. É importante enfatizar que a diferença de 2.547 kWh mensal entre o consumo estimado e o global é equivalente ao consumo de nove ares-condicionados de 1.700 W, supondo a utilização constante em um mês por 8 horas de segunda a sexta-feira.

Além disto constatou-se por meio do consumo estimado de energia elétrica, que o CPID possui contribuição majoritária dos equipamentos de refrigeração e condicionamento ar, conforme representado percentualmente no Gráfico 11.

Gráfico 11 – Contribuição percentual do consumo de energia elétrica por equipamento no CPID

Consumo em kWh por equipamento



Fonte: Elaborado pelo autor.

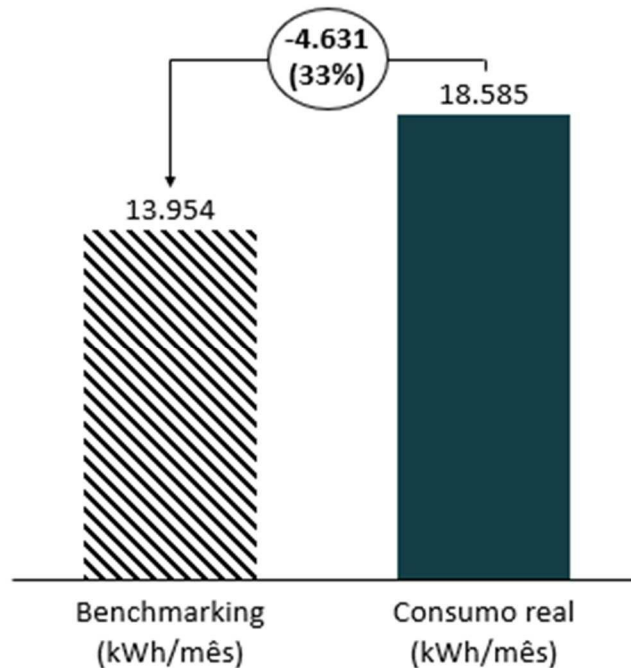
O resultado referente à refrigeração está intimamente atrelado ao laboratório LACAR, pois o mesmo possui seis geladeiras, três incubadoras (equipamento similar a uma geladeira) e um ultra freezer, correspondendo a carga total de 3,415 kW, conforme listado no Apêndice A. É importante salientar que durante as visitas foi identificado que algumas das geladeiras e incubadoras estavam vazias.

A contribuição de 62,9 % referente aos equipamentos de refrigeração e condicionamento de ar evidencia a provável relação do consumo de energia elétrica com a temperatura ambiente média, tendo em vista que no Gráfico 5 da seção 3.3.2 observa-se a variação do consumo de eletricidade ao longo do ano, de acordo com a temperatura.

4.2.2 Benchmark

O resultado do *benchmark* utilizando constantes para um nível típico de consumo de energia elétrica é apresentado no Gráfico 12, sendo comparado ao consumo mensal em kWh do CPID.

Gráfico 12 – Comparação do consumo real do CPID e benchmark típico em kWh mensais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando as equações de *benchmark* por uso final apresentadas na Seção 3.3.2, foram obtidos os resultados em kWh/m²/ano por uso final, sendo multiplicado pela área total (A_{tot}) e dividido por doze para encontrar os valores mensais explicitados na Tabela 25, incluindo os dados de consumo estimado para comparação.

Tabela 25 – Resultado do *benchmark* por uso final comparado ao consumo mensal estimado.

Uso final	kWh/m ² /ano	kWh / mês	kWh/mês (estimado)
Ar-condicionado	50,13	12.186	5.766
Tomadas e iluminação interna	5,43	1320	2.776
Iluminação externa	0,05	5,6	1.995
Datacenter	0,48	117	173,2
Estacionamento	1,14	132	1.072

Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante dos dados obtidos pelo *benchmark*, nota-se que o CPID apresenta consumo total de eletricidade acima da média referente a tipologia de escritório público definida pelo CBCS.

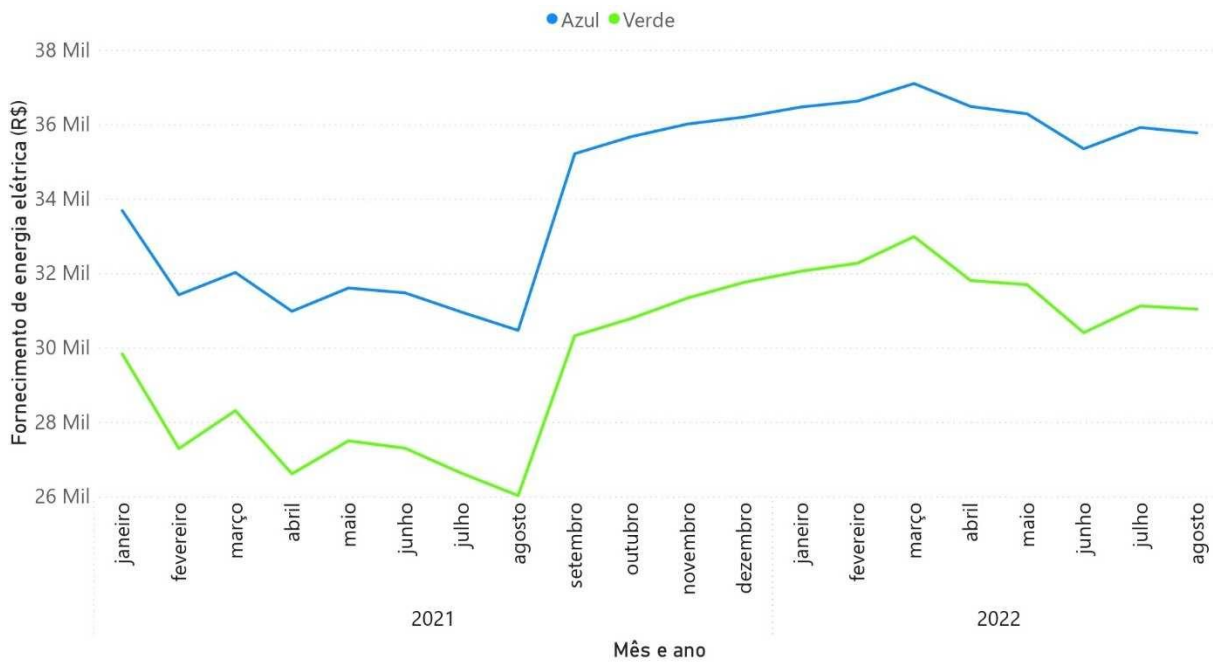
Destaca-se que os resultados por uso final que envolvem iluminação apresentaram consumos acima de 100% em relação ao *benchmark*, já o consumo de eletricidade referente ao data center, correspondente aos equipamentos de TI instalados na sala do cluster, mostra-se 48% acima do consumo típico. Por fim os ares-condicionados apresentaram consumo estimado inferior, visto que a estimativa de consumo mensal contempla apenas os equipamentos para as quais foi informado padrão de consumo pelos usuários, deste modo compreendendo área condicionada inferior a adotada na equação de *benchmark*.

A área condicionada equivalente aos ambientes listados nas visitas é de aproximadamente 520 m², deste modo aplicando-a na Equação 7 da Seção 3.3.4, obtém-se que o consumo de eletricidade dos ares-condicionados é de 8,94 kWh/m²/ano, resultando em um consumo típico de 26.067,60 kWh/ano e 2.172,3 kWh/mês. Nota-se então que para a área em que o condicionamento de ar está atuando o consumo estimado está 65,43% acima do valor típico.

4.2.3 Contrato de energia elétrica

O Gráfico 13 apresenta o resultado da simulação mensal dos gastos com fornecimento de energia elétrica para as modalidades tarifárias verde e azul, considerando demanda faturável de 414 kW, de acordo com o contrato vigente no período de análise.

Gráfico 13 – Faturamento do fornecimento de energia elétrica por modalidade tarifária.



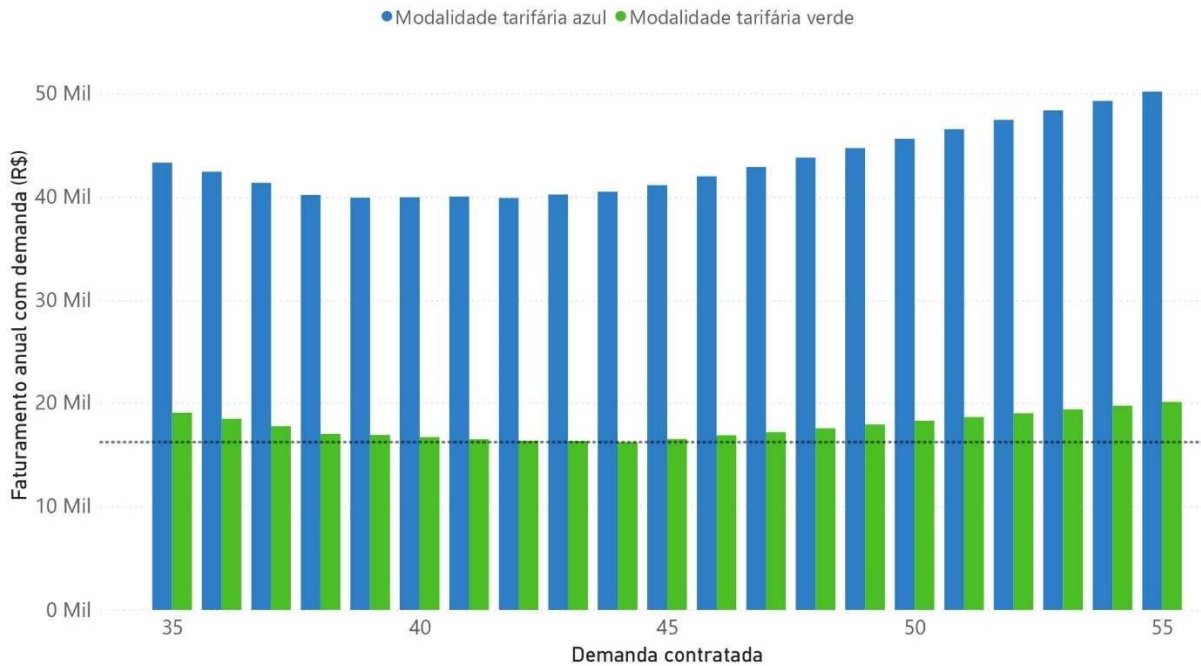
Fonte: Elaborado pelo autor.

Identifica-se que a modalidade tarifária verde é a mais adequada para as condições atuais de contrato de demanda, pois apresenta em todos os meses o menor gasto com fornecimento de energia elétrica.

Nota-se que não foi simulada a modalidade tarifária B Optante, pois a mesma não pode ser contratada devido à potência do transformador da unidade consumidora exceder os 112,5 kVA, sendo vedada a contratação conforme exposto na REN 1000/2021.

No tocante ao contrato de demanda, o Gráfico 14 apresenta o valor faturado anual para um intervalo de demandas contratadas referente às modalidades tarifárias verde e azul, possibilitando identificar qual a demanda que minimiza o faturamento.

Gráfico 14 – Simulação do faturamento anual por demanda contratada para as modalidades tarifárias verde e azul



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, fica claro que a modalidade tarifária verde é mais vantajosa devido ao menor faturamento anual com a demanda contratada de 43 kW, sendo alcançado o valor anual mínimo de R\$ 16.306,00, correspondente a R\$ 1.358,00 por mês.

A Tabela 26 apresenta uma comparação entre o valor gasto mensalmente com o contrato de demanda otimizado antes da resolução normativa 1000/2021, sendo contratada uma demanda de 230 kW; após a aplicação da resolução normativa 1000/2021, havendo a contratação da demanda de geração de 230 kW e a demanda de carga de 43 kW; e por fim o valor gasto pelo contrato vigente durante os meses de análise, sendo considerado que a carga faturável mensal para todos os casos seja 43 kW e que o contrato vigente possua demanda contratada de 414 kW.

Tabela 26 – Custo mensal com contrato de demanda para as resoluções normativas 482/2012, REN 1000/2021 e considerando o contrato vigente do CPID.

REN 482/2012	REN 1000/2021	Contrato vigente
R\$ 7.001,20	R\$ 4.296,62	R\$ 12.602,16

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4 Propostas de medidas de eficiência energética

No Quadro 1 foram levantadas e categorizadas as oportunidades de melhoria mais adequadas para melhorar o desempenho energético do CPID, com base nos resultados anteriormente obtidos, incluindo informações obtidas nas visitas ao local.

Quadro 1 – Medidas de eficiência energética por categoria para o CPID

Categoria	Medida de Eficiência energética
Plano de manutenção	Manutenção do sistema de iluminação externa
Gestão	Estimular a pesquisa e desenvolvimento e a formação de parcerias para adoção de melhores práticas de eficiência energética (ELENA)
Conscientização dos usuários	Campanha de sensibilização para utilização racional de equipamentos (geladeiras e lâmpadas) e vedação de ambientes climatizados
Iluminação	<i>Retrofit</i> de lâmpadas fluorescentes por LED
Condicionamento de ar	Realizar manutenção periódica
Contrato de demanda	Aplicar a REN 1000/2021, reduzindo demanda de carga para 43 kW e demanda de geração para 230 kW
Transformação de energia	Troca para transformador de menor potência

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.4.1 Transformação de energia

Uma das ações identificadas é a substituição do transformador para um de menor potência. A Figura 41 mostra o transformador instalado atualmente no CPID.

Figura 41. Transformador a seco



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi realizado contato com a empresa União Transformadores, fabricante do equipamento instalado atualmente, assim verificou-se que o preço atual do transformador do CPID é de R\$ 76.750,00 e uma opção comercial para substituição é o transformador a seco de 300 kVA, que possui custo de R\$ 63.900,00. As características do transformador atual e o proposto estão apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 – Dados técnicos do transformador do CPID

Transformadores trifásico a seco		
Classe de tensão	15 kV	15 kV
Tensão AT/BT	13.8kV/0.22kV	13.8kV/0.22kV
Potência	500 kVA	300 kVA
Perdas a vazio	1.800 W	1.300 W
Perdas totais	9.000 W	5.800 W
Perdas no cobre	7.200 W	4.500 W

Fonte: UNIÃO TRANSFORMADORES (2022)

Com a substituição haveria uma redução de perdas a vazio de 500 W, que resultaria na redução mensal de 336 kWh (42 kWh ponta e 294 kWh fora ponta). Supondo as tarifas apresentadas na Tabela 11 da Seção 3.3.4, a redução monetária mensal seria de R\$ 181,72, que anualmente resultaria na economia de R\$ 2.180,64.

Assim, aplicando na Equação 19 o custo de aquisição do novo transformador e a economia obtida, o *payback* seria de aproximadamente 29 anos, demonstrando um baixo retorno

financeiro dado a substituição do equipamento, tendo em vista que a vida útil de um transformador a seco está na ordem de 35 anos.

4.2.4.2 Iluminação

O sistema de iluminação interna atual possui lâmpadas fluorescentes de 16 W e a proposta para atingir maior nível de eficiência energética é a substituição por lâmpadas LED. Dado isso a Tabela 28 evidencia as características das lâmpadas atual e proposta.

Tabela 28 – Características das lâmpadas tubulares T8 fluorescente e LED

Características	Fluorescente	LED
Fabricante	Elgin	Philips
Lúmens	1050	1050
Potência (W)	16	10
Temperatura de cor (K)	6.500	6.500
IRC	80	83
Vida útil (h)	8.000	40.000
Custo (R\$)	14,00	25,00

Fonte: ELGIN e PHILIPS (2022)

A substituição proposta manteria as características do sistema atual, porém a eficiência energética passaria de 65,6 lm/W para 105 lm/W, garantindo redução de 37,5% na potência instalada.

Conforme avaliação do RTQ-C, o CPID apresentou classificação nível C de eficiência energética para o sistema de iluminação. Tendo em vista que o DPI_L para obtenção do nível A é de 9,7 W/m² e a área iluminada no CPID é equivalente a 3.641,2 m², então a potência interna instalada necessária para obtenção do nível A deve ser menor ou igual a 35.319,64 W, sendo necessária uma redução de no mínimo 5.975,36 da potência interna instalada total, que é 41.295 W, conforme Tabela 17 na Seção 3.3.5.2.

Assim, sabendo que a lâmpada LED proposta para o *retrofit* é 37,5% mais eficiente que a fluorescente, tem-se que a parcela do sistema de iluminação interna a ser substituída é dada pela Equação 20:

$$Parcela\ retrofit(\%) = \frac{5.975,36}{0,375 \cdot 41.295}, \quad (20)$$

resultando no *retrofit* de 38,58% do sistema de iluminação interna, correspondente a 15.933,33 W, sendo equivalente à troca de 886 lâmpadas fluorescentes pela tecnologia LED.

Entretanto foi listada a utilização de apenas 2.112 W (132 lâmpadas de 16W) referente a iluminação interna, que resultam conforme Apêndice A no consumo estimado mensal de 301 kWh.

Supondo que o *retrofit* de iluminação seja realizado somente para o sistema contabilizado, a proposta resultaria na redução de 112,875 kWh mensal, equivalente a economia de R\$ 16,06 mensais e R\$ 192,00 anuais. Assim aplicando na Equação 19 o custo inicial de R\$ 3.300,00 para aquisição das 132 lâmpadas LED, resultaria em um *payback* de mais de 17 anos, não sendo atrativo financeiramente, tendo em vista que a vida útil das lâmpadas LED é de até 50.000 horas, aproximadamente 18 anos para utilização diária de 8 horas.

4.2.4.3 Reparo da iluminação externa

Foi identificado que cinco lâmpadas de vapor metálico da iluminação externa ficam acionadas ininterruptamente devido alguma anomalia no módulo de acionamento automático, resultando numa potência constante de 1.000 W, pois são três lâmpadas de 250 W e duas de 125 W, conforme apurado durante as visitas ao CPID e listado no Apêndice A.

A Figura 42 demonstra alguns dos postes que permanecem com a iluminação acionada durante o dia.

Figura 42 – Postes de iluminação externa com lâmpadas de vapor metálico



Fonte: Elaborado pelo autor.

O reparo do sistema consistira na correção do módulo de acionamento automático e/ou circuito da iluminação externa, evitando que estas lâmpadas fiquem ligadas durante o dia consumindo cerca de 1 kWh a cada hora. Supondo que a iluminação seja corrigida e desligada durante o dia, isto é das 6:00h às 18:00h, a economia seria de aproximadamente 360 kWh por mês, equivalente a R\$ 140,00 referente ao fornecimento de energia elétrica, resultando em uma economia anual de R\$ 1.680,00.

Não foi obtido orçamento para o reparo do módulo de acionamento ou circuito da iluminação externa, assim foi considerado somente a economia gerada pelo resultado do reparo.

4.2.4.4 Contrato de demanda

O contrato de demanda demonstrou-se superdimensionado em todo o período de análise, compreendido de janeiro de 2021 a agosto de 2022. Como neste período era aplicada a resolução normativa 482/2012, foi considerada a economia da otimização comparada ao cenário correspondente.

Deste modo, conforme obtido na Tabela 26 na Seção 4.2.3, a economia gerada entre o contrato vigente e o contrato otimizado no cenário da resolução normativa 482/2012 é de R\$ 5.600,96 mensais, correspondendo a uma economia anual de R\$ 67.211,52.

4.2.4.5 Conscientização dos ocupantes

A conscientização dos usuários da edificação envolve o compartilhamento de conceitos e boas práticas sobre uso racional da energia elétrica, visando trazer conhecimento aos gestores e ocupantes da edificação sobre o uso racional da eletricidade, sendo também uma forma de manter as medidas de eficiência energética, isto é, garantir que os ocupantes tenham consciência das ações e possam ser mantenedores delas.

É importante salientar que durante as visitas ao CPID foi identificado frequentemente iluminação ligada sem necessidade nos corredores e salas, observado que diversas salas dos laboratórios permanecem abertas juntamente com o acionamento dos ares-condicionados, exigindo mais dos aparelhos e aumentando o consumo de eletricidade. Estas observações evidenciam a importância da conscientização dos ocupantes da edificação.

Uma das maneiras de atingir a conscientização dos ocupantes do edifício é oferecer treinamento especializado, como: cursos, *workshops* e palestras sobre eficiência energética em edificações. Para tal, foi verificado orçamento junto à empresa Mitsidi, a qual disponibilizou um orçamento para uma capacitação presencial para gestores, coordenadores e ocupantes da edificação com duração de 5 horas no valor de R\$ 9.200,00, havendo a opção de treinamento na modalidade *online* no valor de R\$ 8.100,00.

Vale salientar que existem alternativas gratuitas de treinamento, uma delas é através do Procel que, além de promover capacitações presenciais, possui um curso⁴ sobre eficiência energética no formato de ensino a distância, denominado “Curso Eficiência Energética: Contexto e Atualidades”. Além disso, os próprios usuários podem se mobilizar e criar campanhas internas a edificação a fim de promover o uso eficiente da energia elétrica.

Estas e outras medidas propostas, como o plano de manutenções periódicas, o incentivo por parcerias com laboratórios e a promoção de educação aos ocupantes, não possuem mensuração tangível da economia do consumo de eletricidade neste trabalho, portanto não foi quantificada economia para elas.

Deste modo, obtém-se o detalhamento final das medidas de eficiência energética propostas apresentadas na Tabela 29, representado, quando possível, a economia monetária e as emissões de GEE evitadas levando em consideração o fator de emissões médias de 100 gCO₂eq/kWh.

⁴ Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={53740AD5-A7DF-4964-8A13-57C71EE546C8}>

Tabela 29 – Detalhamento das medidas de eficiência energética.

Medida de Eficiência energética	Custo Inicial (R\$)	Economia (R\$/anual)	Payback (anos)	Emissões evitadas (kgCO₂eq/ano)
Reparo da iluminação externa	-	1.680,00	-	432
Estimular pesquisa, desenvolvimento e a formação de parcerias para adoção de melhores práticas de eficiência energética (ELENA)	Zero	-	-	-
Promover educação em eficiência energética para os ocupantes	Zero	-	-	-
<i>Retrofit</i> de lâmpadas fluorescentes por LED	3.300,00	192,00	17,18	1.404
Adequação do contrato de demanda contratada	Zero	67.211,52	Retorno imediato	0
Troca para transformador de menor potência	63.900	2.180	29	403

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que as medidas de eficiência energética relacionadas a promoção de educação aos ocupantes e ao estímulo à pesquisa, desenvolvimento e formação de parcerias, implicam um trabalho conjunto de conscientização das partes interessadas presentes no CPID, isto é, ocupantes, laboratórios e a gestão, que beneficiará de forma qualitativa e provavelmente quantitativa, pois a colaboração entre as partes auxiliará na mudança de consciência e comportamento, havendo potencial de redução do consumo de eletricidade e por fim, provável redução dos gastos no fornecimento de energia elétrica.

Os benefícios qualitativos poderão ser medidos por meio do feedback dos ocupantes e da participação das partes interessadas em campanhas ou programas de eficiência energética, enquanto os benefícios quantitativos, poderão ser observados através do consumo de energia elétrica antes e depois do período do período de início de estímulos e treinamentos aplicados, observando as variáveis que influenciam o consumo na edificação.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi desenvolvida uma abordagem que utiliza duas ferramentas para avaliar o desempenho energético e os níveis de eficiência de uma edificação, sendo elas o diagnóstico energético e o RTQ-C. O objetivo principal foi propor medidas de eficiência energética para a edificação pública referente ao CPID, visando a otimização do consumo de eletricidade, a redução de gastos financeiros e a mitigação dos impactos dos gases do efeito estufa.

A utilização de ferramentas para avaliar o desempenho de uma edificação pública é de grande importância para otimizar o consumo de energia e tornar notórias as ações de eficiência energética necessárias no âmbito das edificações, alcançando desde gestores e usuários comuns, como pesquisadores, alunos e professores.

O diagnóstico energético aplicado demonstrou-se satisfatório, do mesmo modo que foi capaz de identificar pontos de melhoria relacionadas ao sistema de iluminação e condicionamento de ar. Destaca-se que com a utilização do *benchmark* para a topologia de edifícios administrativos públicos foi possível identificar o elevado consumo dos ares-condicionados, no entanto como o CPID possui características peculiares como as atividades realizadas no laboratório LACAR, as quais envolvem grande carga instalada de equipamentos refrigeradores, estas não foram previstas pela equação de consumo típico resultando em consumo típico ainda menor.

No tocante ao RTQ-C, demonstrou-se suficiente para identificar os níveis de eficiência dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória, atestando pontos de acerto no projeto da edificação e pontos de melhoria.

Conclui-se que o ciclo de operação da edificação deve ser monitorado e avaliado para evitar gastos e consumos excessivos, evidenciando a importância da conscientização e do monitoramento por parte de administradores e ocupante das edificações, principalmente no âmbito das edificações públicas.

Com a implementação das medidas propostas, envolvendo o reparo no sistema de iluminação externa, adequação do contrato de demanda, manutenções periódicas, estímulo a pesquisa na área de eficiência energética e promoção da educação aos ocupantes em relação ao uso racional

da eletricidade, espera-se uma economia monetária mensal de mais de 9 mil reais e a mitigação de mais de 36 kg de CO₂ equivalentes por mês, haja vista que nem todas as medidas foram possíveis mensurar a economia de eletricidade.

Como trabalhos futuros, sugere-se:

- Realização de medições dedicadas para o sistema de condicionamento de ar;
- Realização do cálculo da carga térmica da edificação;
- Utilização da nova INI-C em substituição ao RTQ-C;
- Utilizar o diagnóstico energético para implementar sistema de gestão de energia elétrica, conforme ISO 50.001.

6 REFERÊNCIAS

ABESCO. **O que é eficiência energética**, 2023. Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee/>>. Acesso em: 17 abril 2023.

ABRAVA. **A relação da refrigeração e a eficiência energética**. [S.l.], p. 32. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, p. 133, 2012. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 28 julho 2023.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **BlueSol Energia Solar**, 2022. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>. Acesso em: 17 abril 2023.

BRASIL, **Lei 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Diário Oficial da União, Brasília, DF, seção 1, p. 4, 2022. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>>. Acesso em: 28 julho 2023.

BRIGHT STRATEGIES. **Blog Bright Strategies**. Disponível em: <<https://www.br-strategies.com/>>. Acesso em: 25 dezembro 2022.

CB3E. **Diretrizes para obtenção de classificação nível A para edificações comerciais, de serviços e públicas**. CB3E. [S.l.]. 2014.

CB3E. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações**. Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_GruposClimaticos.pdf> Acesso em: 28 Julho 2023.

CBCS. **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação**. CBCS. [S.l.]. 2014.

CBCS. **Ficha Técnica: Benckmarking de escritório público**. CBCS. [S.l.]. 2017.

CBCS, MITSIDI PROJETOS. **Guia Prático para Realização de Diagnósticos Energéticos em Edificações**. CBCS, MITSIDI Projetos. São Paulo. 2016.

CLASP. **Avaliação do Programa Brasileiro de Etiquetagem para Ar-condicionado**. CLASP. [S.l.]. 2019.

COOPERAÇÃO ALEMÃ PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Quem é Quem da Eficiência Energética no Brasil**. Cooperação alemã. Rio de Janeiro. 2019.

DEO, CBCS. **Capacitação em auditoria e benchmark 1º dia - Projeto DEO CBCS. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável.** [S.l.]. 2021.

ELETROBRAS. **Plano de Implementação da Compulsoriedade**, 2022. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Plano%20de%20Implementa%C3%A7%C3%A3o%20PBE%20Edifica.pdf>>. Acesso em: 26 julho 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional**, 2021a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 17 abril 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Escassez hídrica e o fornecimento de energia elétrica no Brasil.** <https://www.epe.gov.br/>, 2021b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/mme-e-epe-lancam-cartilha-sobre-a-situacao-hidrica-e-o-impacto-na-geracao-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica**, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 17 abril 2023.

FAPES. **Equipe da área administrativa do IOPES visita obra do CPID, em Cariacica.** <https://fapes.es.gov.br/>, 2018. Disponível em: <<https://fapes.es.gov.br/Not%C3%ADcia/equipe-da-area-administrativa-do-iopes-visita-obra-do-cpid-em-cariacica>>. Acesso em: 11 janeiro 2023.

FUJITSU. **Ar-condicionado: Tecnologia Inverter.** Fujitsu, 2022. Disponível em: <<https://www.fujitsu-general.com/br/products/tecnologiainverter.html>>. Acesso em: 17 abril 2023.

HENRIQUE, L. **Lâmpada de LED e a eficiência energética.** Blog da Engenharia, 2022. Disponível em: <<https://blogdaengenharia.com/engenharia/lampada-de-led-por-que-e-tao-eficiente/>>. Acesso em: 25 dezembro 2022.

IEA, **The Future of Cooling**, 2018. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0bb45525-277f-4c9c-8d0c-9c0cb5e7d525/The_Future_of_Cooling.pdf>. Acesso em: 23 dezembro 2022. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>

IEA, **Buldings**, 2022a. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/buildings>>. Acesso em: 23 dezembro 2022.

IEA, **Lighting**, 2022b. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/lighting>>. Acesso em: 25 dezembro 2022.

INMETRO. **Anexo da portaria Inmetro Nº 50, 2013.** INMETRO. [S.l.]. 2013.

INMETRO. **Ar-condicionado: nova classificação de eficiência energética.** Consumo em pauta, 2021. Disponível em: <<https://consumoempauta.com.br/eficiencia-energetica/>>. Acesso em: 25 dezembro 2022.

INMETRO. **Portaria N° 42, 2021.** Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002707.pdf>> Acesso em: 26 julho 2023.

INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Procel Edifica. [S.l.]. 2010.

KURAMOTO, R. &. **Análise comparativa das alternativas energéticas,** [s.d]. Disponível em: <http://www.zonaeletrica.com.br/downloads/20080410_ibama_3.pdf>. Acesso em: 03 maio 2023.

LG. **Exterior Multi V IV. LG Business Solution,** 2014. Disponível em: <<https://www.lgbusiness.es/climatizacion/multi-v/exteriores-multi-v-iv>>. Acesso em: 03 janeiro 2023.

MAMEDE, J. **INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS:** de acordo com a norma brasileira NBR 5419:2015. 9ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Fator médio - Inventários corporativos.** gov.br, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>>. Acesso em: 03 maio 2023.

MITSIDI PROJETOS. **Elaboração de estudos e insumos para auxiliar o desenvolvimento do plano de ação,** p. 78. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/habitacao/arquivos/7-_plano_ee_em_edificacoes_relatorio_final_-_2018_r01.pdf>. Acesso em: 19 janeiro 2023

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estratégias bioclimáticas,** 2023a. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/efeito-chamine/>>. Acesso em: 28 julho 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estratégias bioclimáticas,** 2023b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/implementacao/ventilacao-cruzada/>>. Acesso em: 28 julho 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estratégias bioclimáticas.** Projeteer, 2023c. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/estrategia/ventilacao-natural/>>. Acesso em: 28 julho 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estratégias bioclimáticas.** Projeteer, 2023d. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/projeteee/estrategia/inercia-termica-para-resfriamento/#:~:text=A%20in%C3%A9rcia%20t%C3%A9rmica%20total%20da,de%20absorver%20e%20armazenar%20calor.>>. Acesso em: 28 julho 2023.

MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031.** Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro. 2022.

NBR ISO 50002. **NBR ISO 50002:** Diagnóstico energéticos – Requisitos com orientações para uso. [S.l.]. 2014.

PBE EDIFICA. **Edificações públicas. PBE Edifica**, 2020. Disponível em: <<https://www.pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

PBE EDIFICA. **PBE Edifica**, 2022. Disponível em: <<https://pbeedifica.com.br/portariaconsolidada>>. Acesso em: 27 dezembro 2022.

PROCEL INFO. **Lei de Eficiência Energética**, 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 06 janeiro 2022.

PROCEL INFO. **Etiquetagem em edificações**, [s.d]. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>>. Acesso em: 06 janeiro 2023.

PROCEL INFO. **Selo Procel Edificações**, 2006. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>. Acesso em: 03 janeiro 2023.

PROJETO S3E. **WebPrescritivo**, 2017. Disponível em: <<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>>. Acesso em: 12 janeiro 2023.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0**. ANTAC: São Carlos, 2014.

RUBIM, B. RUBIM, **Lei 14.300: Valoração dos Créditos de Energia**, 2022. Ebook

SCHUMER, C. et al. **6 conclusões do relatório do IPCC de 2022 sobre mitigação das mudanças climáticas**. Insights WRI, abril 2022.

SEEG. **Plataforma SEEG**, 2021. Disponível em: <<https://plataforma.seeg.eco.br/territories/espírito-santo/card?year=2021&cities=false>>. Acesso em: 07 maio 2022.

SINDUSCON-SP. **Guia interativo de eficiência energética em edificações**, 2018. Disponível em: <<https://www.guiaenergiaedificacoes.com.br/wp-content/themes/sinduscon/pdfs/guia-de-eficiencia-energetica.pdf>>. Acesso em: 17 abril 2023.

UNIÃO TRANSFORMADORES. **Catálogo União transformadores**. [S.l.]. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. **Termodinâmica: ciclos de refrigeração**, [s.d]. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5123295/mod_resource/content/2/12%20-%20Ciclos%20de%20refrigerac%CC%A7a%CC%83o_2015.pdf>. Acesso em: 18 julho 2023.

WRI BRASIL. **Acelerando a eficiência das edificações no Brasil: ações prioritárias para líderes urbanos**. WRI Brasil. Porto Alegre. 2018.

APÊNDICE A – PESQUISA DO PERFIL DE CONSUMO POR EQUIPAMENTO

Tabela A 1 – Listagem de equipamentos com padrão utilização no CPID.

(continua)

LABORATÓRIO	SALA / SETOR	EQUIPAMENTO	CATEGORIA	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA TOTAL (W)	Nº DIAS POR SEMANA	TEMPO DE UTILIZAÇÃO (h)	CONSUMO MENSAL (kWh)
CIDIG	Data center (Sala do cluster)	Switchs	Equipamento TI	8	29,8	238,4	7	24	160,20
CIDIG	Data center (Sala do cluster)	No break	Equipamento TI	1	20	20	7	24	13,44
CIDIG	Corredor CDIG	Câmeras de segurança	Equipamento TI	8	8	64	7	24	43,00
CIDIG	Corredor CDIG	Roteador Wifi	Equipamento TI	1	12	12	7	24	8,064
CIDIG	Sala 4	Luminária (4x16W)	Iluminação	2	64	128	5	8	20,48
CIDIG	Sala 3	Luminária (4x16W)	Iluminação	2	64	128	5	8	20,48
CIDIG	Sala 1	Luminária (4x16W)	Iluminação	2	64	128	5	8	20,48
CIDIG	Secretaria	Luminária (4x16W)	Iluminação	3	64	192	5	8	30,72
CIDIG	Sala pesquisador 3	Luminária (4x16W)	Iluminação	2	64	128	5	8	20,48
CIDIG	Sala 4	Computador	Equipamento TI	2	60	120	5	8	19,2
CIDIG	Sala 3	Computador	Equipamento TI	2	60	120	5	8	19,2
CIDIG	Sala 1	Computador	Equipamento TI	2	60	120	5	8	19,2
CIDIG	Secretaria	Computador	Equipamento TI	2	60	120	5	8	19,2
CIDIG	Sala pesquisador 3	Computador	Equipamento TI	2	60	120	5	8	19,2
CIDIG	Sala 4	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	5	8	272
CIDIG	Sala 3	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	5	8	272
CIDIG	Sala 1	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	5	8	272

Tabela A 1 – Listagem de equipamentos com padrão utilização no CPID.

(continuação)

LABORATÓRIO	SALA / SETOR	EQUIPAMENTO	CATEGORIA	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA TOTAL (W)	Nº DIAS POR SEMANA	TEMPO DE UTILIZAÇÃO (h)	CONSUMO MENSAL (kWh)
CIDIG	Secretaria	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	5	8	272
CIDIG	Sala pesquisador 3	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	5	8	272
CIDIG	Sala com servidores	No break	Equipamento TI	2	20	40	7	24	26,88
CIDIG	Sala com servidores	Servidor em rack	Equipamento TI	4	100	400	7	24	268,8
CIDIG	Data center (Sala do cluster)	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	7	24	1142,4
CIDIG	Sala com servidores	Servidor em torre	Equipamento TI	2	100	200	7	24	134,4
CIDIG	Sala com servidores	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	7	24	1142,4
LSCA	Sala planta industrial	Luminária (4x16W)	Iluminação	4	64	256	2	6	12,28
LSCA	Sala planta industrial	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	3	1700	5100	2	6	244,8
LSCA	Sala de computadores	Luminária (4x16W)	Iluminação	2	64	128	3	8	12,288
LSCA	Sala de computadores	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	3	8	163,2
LACAR	Área de bancadas	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	6	1700	10200	5	8	1632
LACAR	Área de bancadas	Incubadora	Refrigeração	2	1000	2000	7	24	1344
LACAR	Área de bancadas	Ultra Freezer	Refrigeração	1	1500	1500	7	24	1008
LACAR	Área de bancadas	Geladeira	Refrigeração	3	115	345	7	24	231,84

Tabela A 1 – Listagem de equipamentos com padrão utilização no CPID.

(continuação)

LABORATÓRIO	SALA / SETOR	EQUIPAMENTO	CATEGORIA	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA TOTAL (W)	Nº DIAS POR SEMANA	TEMPO DE UTILIZAÇÃO (h)	CONSUMO MENSAL (kWh)
LACAR	Área de bancadas	Incubadora	Refrigeração	1	400	400	7	24	268,8
LACAR	Área de bancadas	Mesa agitadora	Equipamentos LACAR	1	500	500	5	8	80
LACAR	Área de bancadas	Filtro	Equipamentos LACAR	1	72	72	4	2	2,304
LACAR	Área de bancadas	Destilador	Equipamentos LACAR	1	11	11	4	2	0,352
LACAR	Área de bancadas	Geladeira	Refrigeração	3	400	1200	7	24	806,4
LACAR	Área de bancadas	Capela	Equipamentos LACAR	1	220	220	1	2	1,76
LACAR	Área de bancadas	Autoclave vertical	Equipamentos LACAR	1	4000	4000	3	4	192
LACAR	Sala equipamentos 2	No break	Equipamento TI	1	20	20	7	24	13,44
LACAR	Sala equipamentos 2	Analizador de hidrogênio	Equipamentos LACAR	1	1200	1200	3	4	57,6
LACAR	Sala equipamentos 2	Ar-condicionado	Condicionamento de ar	1	1700	1700	3	4	81,6
LACAR	Área de bancadas	Luminária (4x16W)	Iluminação	12	64	768	5	8	122,88
LACAR	Sala equipamentos 2	Luminária (4x16W)	Iluminação	4	64	256	5	8	40,96
Subestação	Sala 1	Transformador de 500 kVA	Transformador	1	1800	1800	7	24	1209,6
Subestação	Sala 2	Transformador de 150 kVA	Transformador	1	800	800	7	24	537,6

Tabela A 1 – Listagem de equipamentos com padrão utilização no CPID.

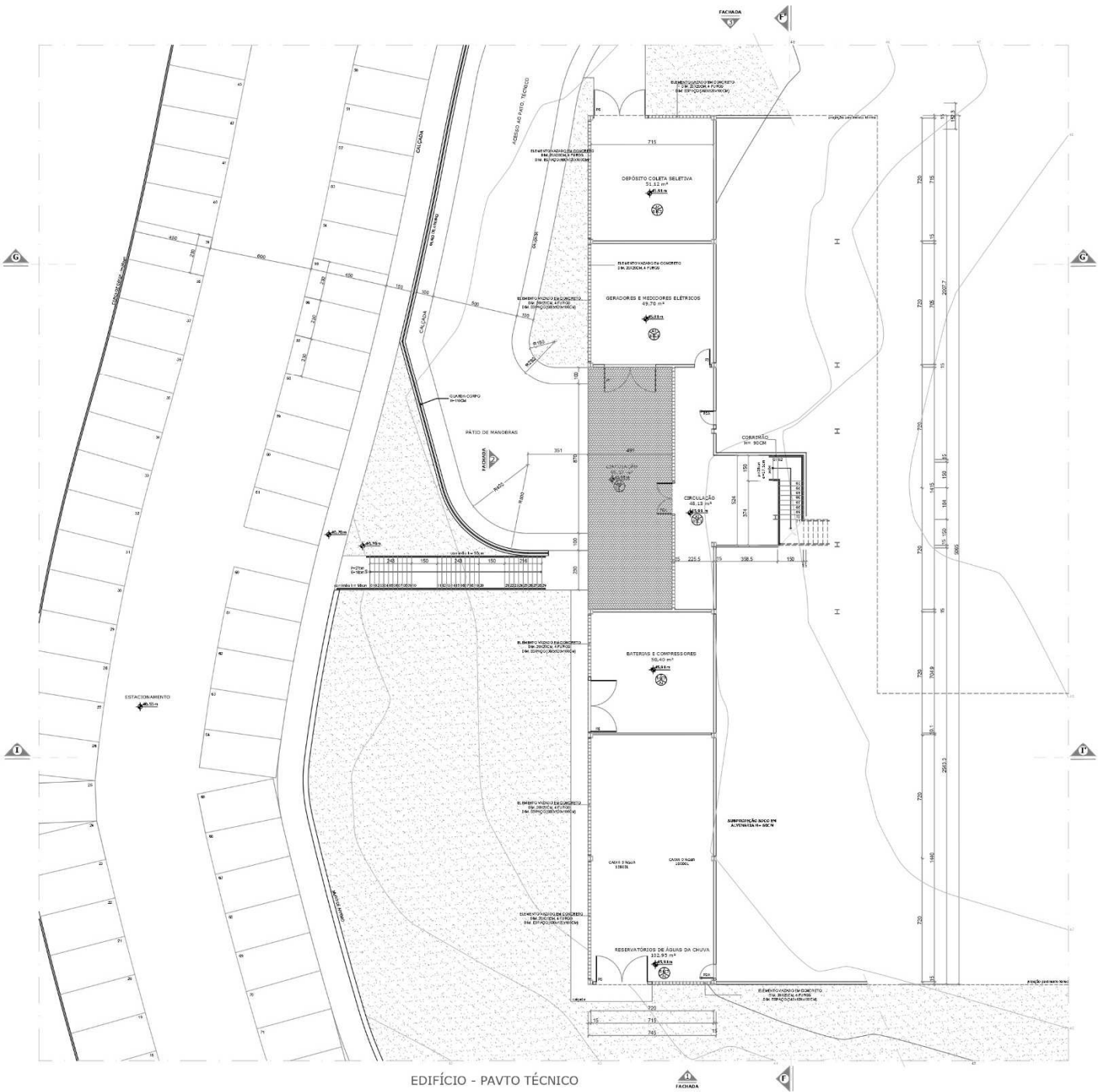
(conclusão)

LABORATÓRIO	SALA / SETOR	EQUIPAMENTO	CATEGORIA	QUANTIDADE	POTÊNCIA (W)	POTÊNCIA TOTAL (W)	Nº DIAS POR SEMANA	TEMPO DE UTILIZAÇÃO (h)	CONSUMO MENSAL (kWh)
Subestação	Sala 2	Transformador de 100 kVA	Transformador	1	600	600	7	24	403,2
Subestação	Sala 2	Ar-condicionado	Refrigeração	1	1700	1700	7	12	571,2
Área externa	Perímetro externo	Bomba recalque	Motobomba	2	2000	4000	4	2,5	160
Iluminação externa	Estacionamento	Poste (250W)	Iluminação externa	8	250	2000	7	12	672
Iluminação externa	Perímetro de acesso	Luminárias (100W)	Iluminação externa	10	100	1000	7	12	336
Iluminação externa	Perímetro externo	Poste (125W)	Iluminação externa	6	125	750	7	12	252
Iluminação externa	Perímetro externo	Poste (250W)	Iluminação externa	3	250	750	7	24	504
Iluminação externa	Perímetro externo	Poste (125W)	Iluminação externa	2	125	250	7	24	168
Iluminação externa	Carport	Luminárias carpot	Iluminação externa	34	18	612	7	24	411,264

Fonte: Elaborado pelo autor.

ANEXO A – PLANTA BAIXA DO CPID

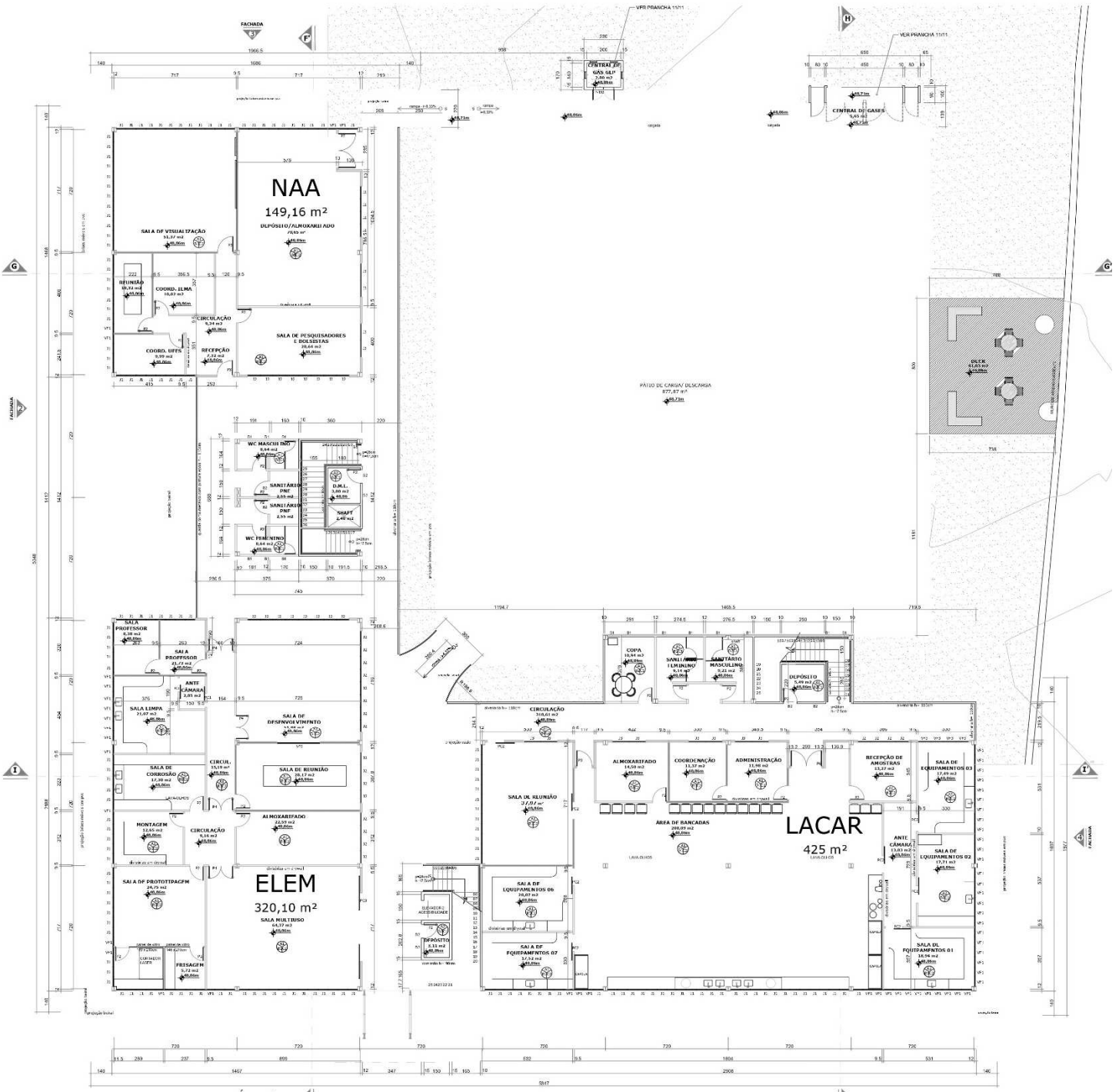
Figura A 1 – Planta baixa do pavimento técnico do CPID



EDIFÍCIO - PAVTO TÉCNICO

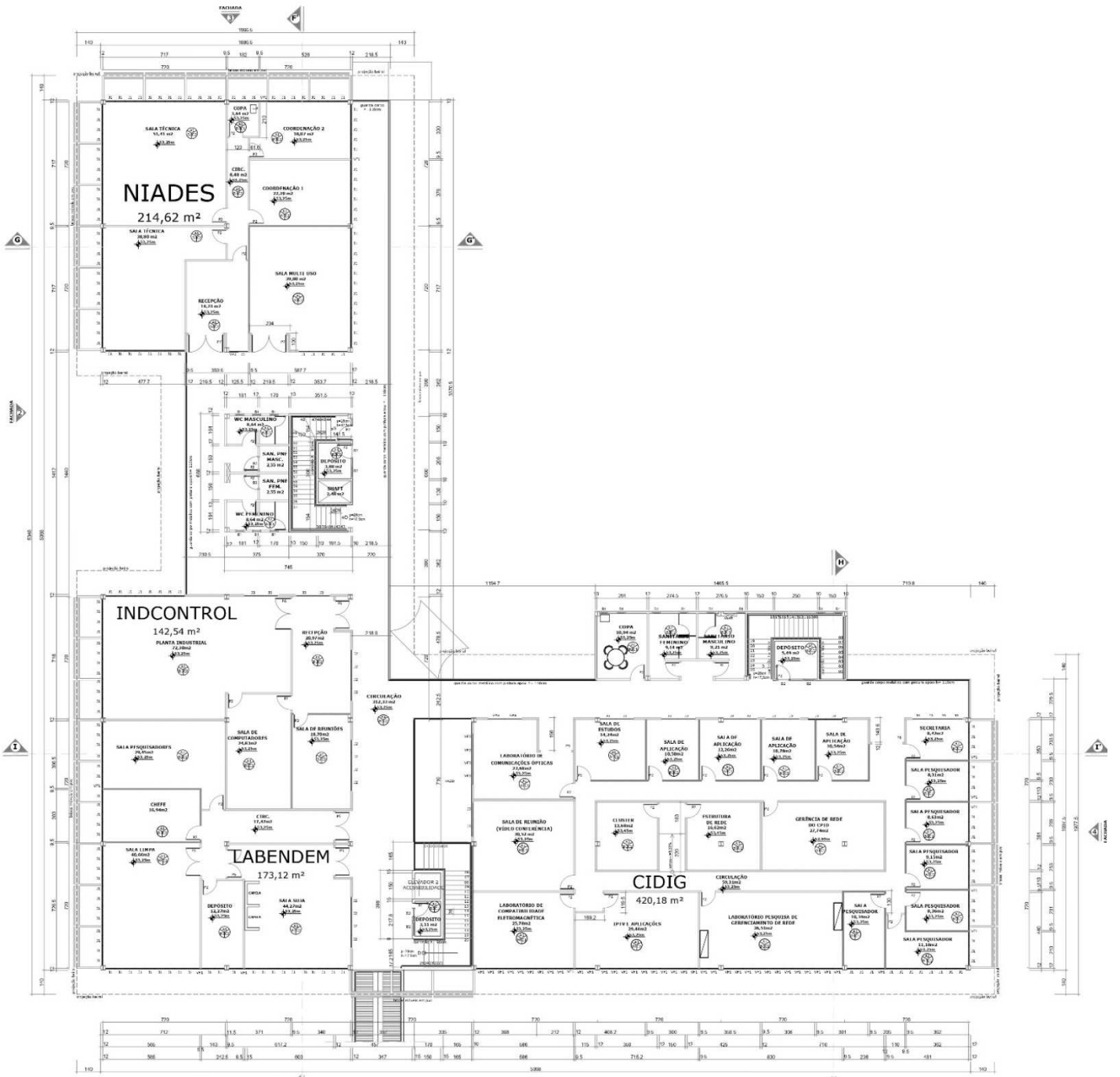
Fonte: Projeto arquitetônico disponibilizado pelo CPID.

Figura A 2 – Planta baixa do pavimento térreo CPID



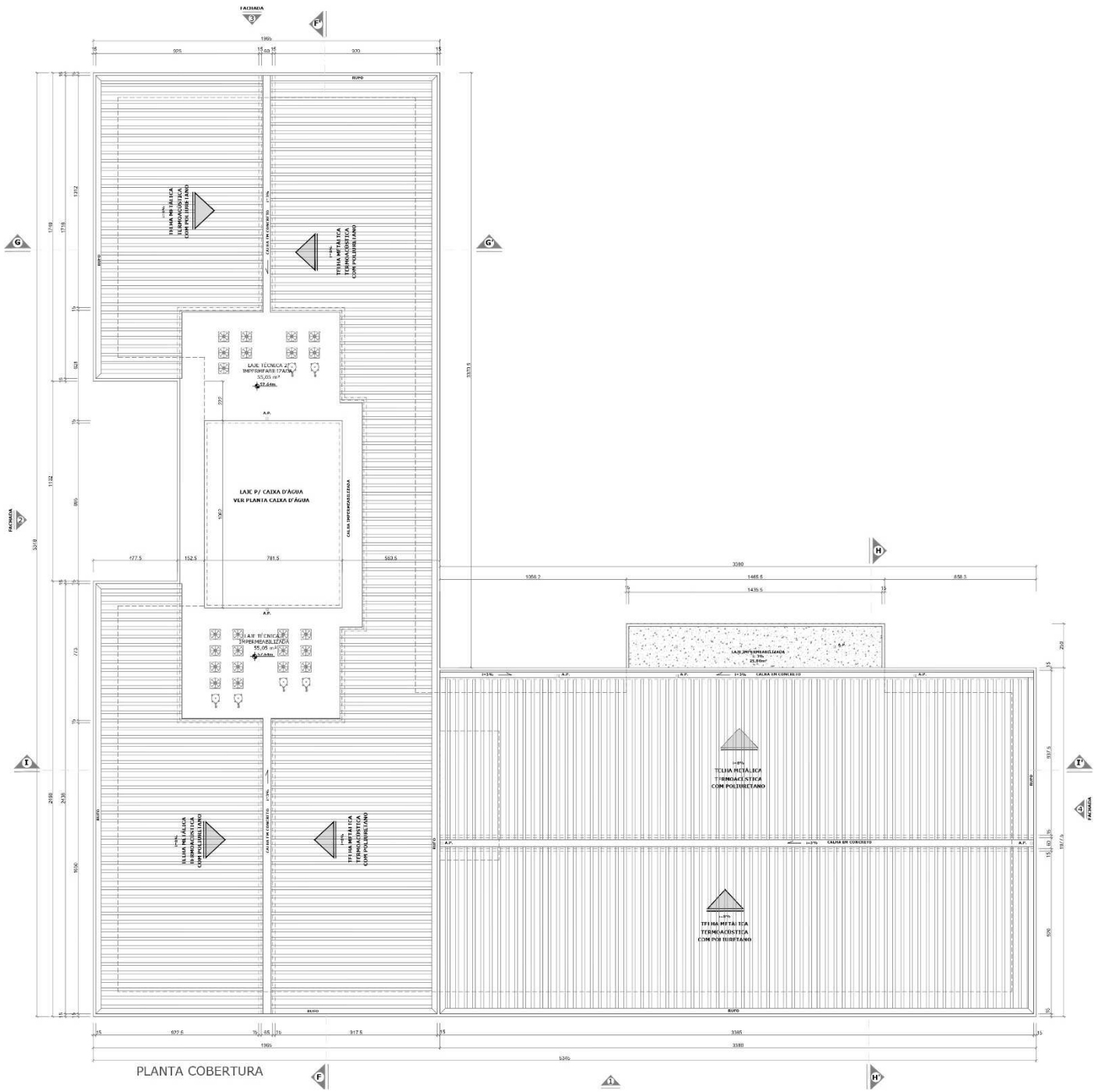
Fonte: Projeto arquitetônico disponibilizado pelo CPID.

Figura A 3 – Planta baixa do segundo pavimento do CPID



Fonte: Projeto arquitetônico disponibilizado pelo CPID.

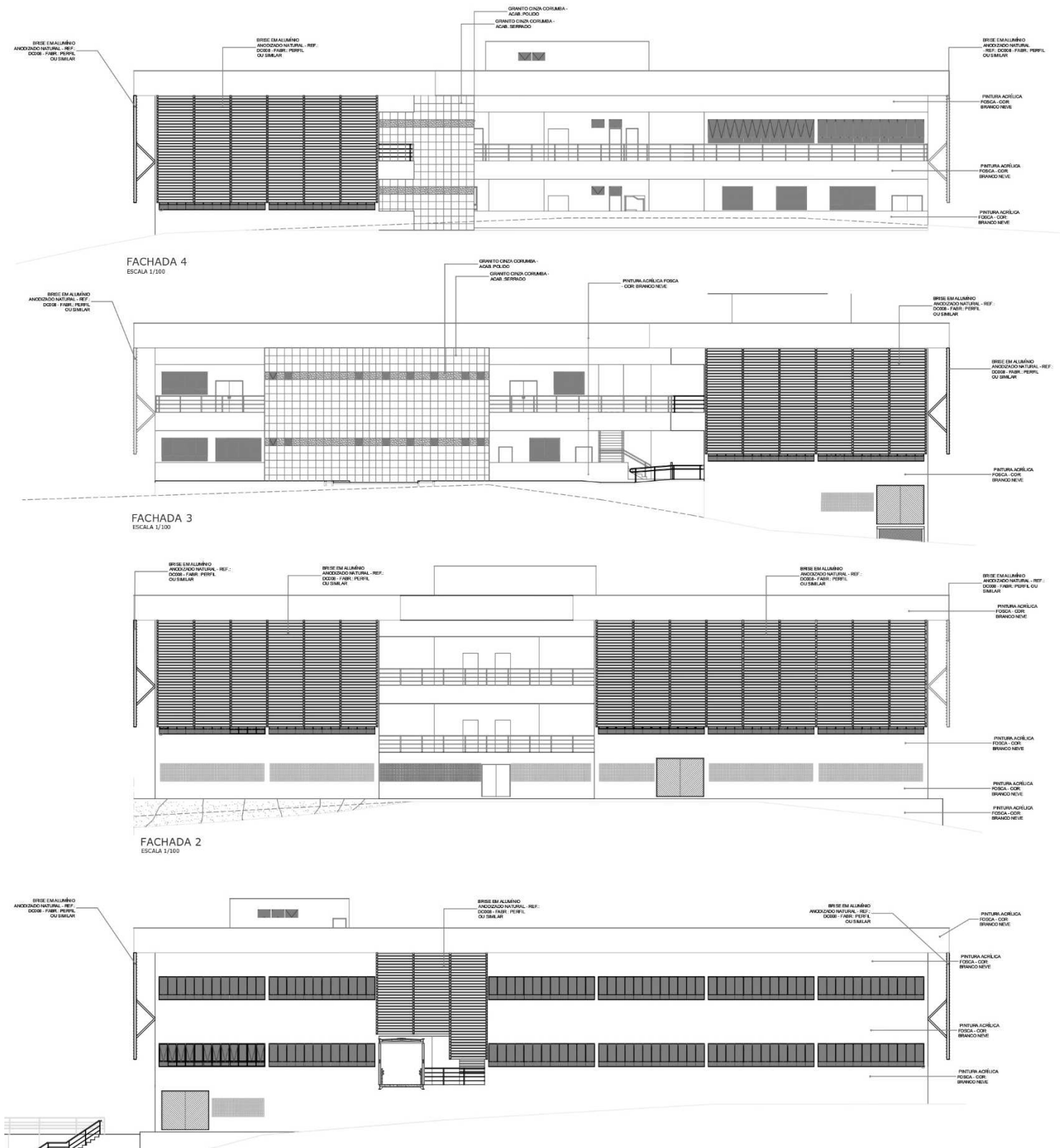
Figura A 4 – Planta baixa da cobertura do CPID



Fonte: Projeto arquitetônico disponibilizado pelo CPID.

ANEXO B – FACHADAS DO CPID

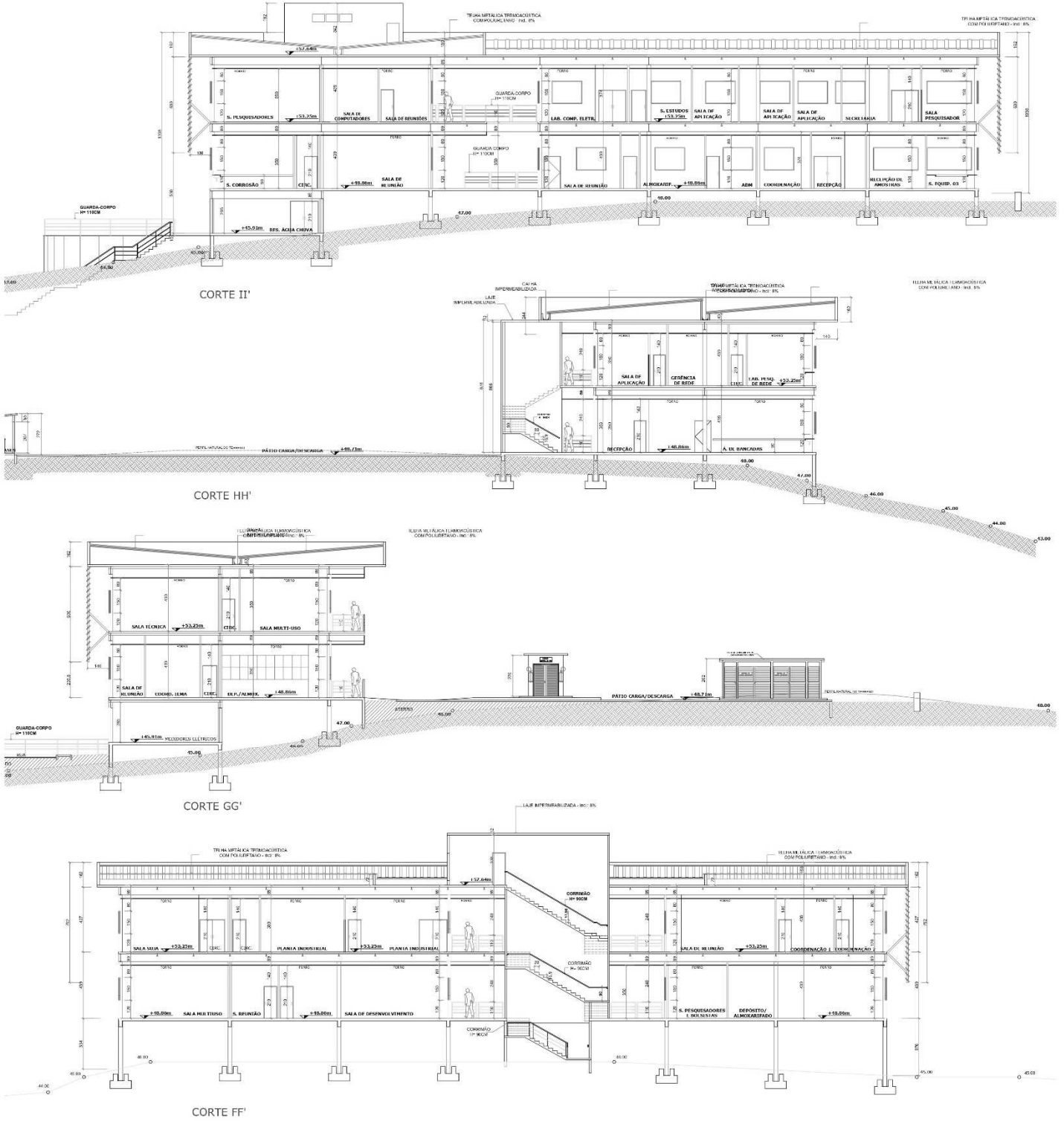
Figura B 1 – Representação das quatro fachadas do CPID



Fonte: Projeto arquitetônico disponibilizado pelo CPID.

ANEXO C – CORTES DO CPID

Figura B 2 – Representação em cortes do CPID



Fonte: Projeto arquitetônico disponibilizado pelo CPID.