

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
COLEGIADO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GUILHERME GIACOMINI BRANDÃO  
OLIVIA MARIA DA SILVA DE JESUS**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIO COMERCIAL  
PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C**

**VITÓRIA, ES  
2023**

GUILHERME GIACOMINI BRANDÃO  
OLIVIA MARIA DA SILVA DE JESUS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIO COMERCIAL  
PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciana Aparecida Netto de Jesus.

**VITÓRIA, ES  
2023**

GUILHERME GIACOMINI BRANDÃO

OLIVIA MARIA DA SILVA DE JESUS

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIO COMERCIAL  
PELO MÉTODO DE SIMULAÇÃO DA INI-C**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em \_\_\_ de julho de 2023.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciana Aparecida Netto de Jesus

Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Karla Moreira Conde

Universidade Federal do Espírito Santo

---

Eng. Civil Braz Borges de Oliveira Filho

Examinador externo

## RESUMO

O setor de edificações é um dos maiores consumidores de energia elétrica no Brasil, representando cerca de 48% do consumo total, sendo 30,07% do setor residencial e 18,18% do setor comercial. Diante disso, a eficiência energética em edificações se torna fundamental para o desenvolvimento sustentável, pois contribui para a redução do uso de recursos naturais e das emissões de gases de efeito estufa. Para incentivar o uso racional de energia elétrica em edificações, foi criado em 2003 o PROCEL EDIFICA, que posteriormente integrou o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), desenvolvido pelo INMETRO em parceria com outras instituições. O PBE EDIFICA estabeleceu os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e o equivalente para edifícios residenciais (RTQ-R), que definem um método para classificar o desempenho energético das edificações em uma escala de A a E, sendo A o mais eficiente e E o menos eficiente. Recentemente, foi publicada uma nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que atualiza e aprimora o método do RTQ-C. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo analisar e etiquetar a eficiência energética do edifício da sede do CREA-ES - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Espírito Santo, localizado na cidade de Vitória – ES, seguindo o método de simulação da INI-C. Para isso, foi realizado um estudo de caso com levantamento de dados relacionados à geometria e aos parâmetros de utilização da edificação, uma modelagem do edifício em *softwares* que realizam simulações energéticas computacionais, obtendo-se o consumo total de energia da edificação e, a partir deste, calculando-se seu consumo total de energia primária. Os sistemas avaliados na simulação foram os de envoltória, condicionamento de ar, iluminação, equipamentos e padrão de uso, conforme os critérios da INI-C. A partir desses dados, pôde-se obter a ENCE geral da edificação. Como resultado, a edificação obteve uma classificação geral A de eficiência energética, segundo a INI-C, demonstrando um excelente desempenho energético.

Palavras-chave: Eficiência Energética, INI-C, Método de Simulação, PBE-Edifica, etiquetagem energética.

## ABSTRACT

The building sector is one of the largest consumers of electricity in Brazil, accounting for around 48% of total consumption, 30.07% of which in the residential sector and 18.18% in the commercial sector. Therefore, energy efficiency in buildings becomes fundamental for sustainable development, as it contributes to reducing the use of natural resources and greenhouse gas emissions. To encourage the rational use of electricity in buildings, PROCEL EDIFICA was created in 2003, which later became part of the Brazilian Labeling Program (PBE), developed by INMETRO in partnership with other institutions. PBE EDIFICA established Quality Technicians for the Energy Efficiency Level of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C) and the equivalent for residential buildings (RTQ-R), which define a method to classify the energy performance of buildings on a scale from A to E, with A being the most efficient and E being the least efficient. Recently, a new INMETRO Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C) was published, which updates and improves the RTQ-C method. In this context, this work aimed to analyze and label the energy efficiency of the headquarters building of CREA-ES - Regional Council of Engineering and Agronomy of Espírito Santo, located in the city of Vitória - ES, following the simulation method of INI-C. For this, a case study was carried out with data collection related to the geometry and parameters of use of the building, a modeling of the building in *software* that generate computational energy simulations, obtaining the total energy consumption of the building and, from of it, calculating its total consumption of primary energy. The systems evaluated in the simulation were envelope, air conditioning, lighting, equipment and standard of use, according to the INI-C criteria. From these data, it was possible to obtain the general ENCE of the building. As a result, the building obtained an overall energy efficiency rating of A, according to INI-C, demonstrating an excellent energy performance.

Keywords: Energy Efficiency, INI-C, Simulation Method, PBE-Edifica, energy labeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação internacional da eficiência energética nos países no ano de 2022. ....	19
Figura 2 – Participação do consumo elétrico setorial - Projeção 2032.....	22
Figura 3 - Contribuição setorial para os ganhos de eficiência elétrica no ano 2032 (% do ganho total). ....	23
Figura 4 - Exemplo de ENCE geral para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.....	26
Figura 5 - Exemplo de ENCE geral e parcial para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.....	27
Figura 6 - Exemplos do que pode ser feito para obtenção da etiqueta A em um edifício. ....	28
Figura 7 - Principais diferenças entre o RTQ-C e a INI-C .....	29
Figura 8 - Estrutura do texto da INI-C Dez/2022. ....	31
Figura 9 - Estrutura metodológica simplificada deste estudo de caso.....	46
Figura 10 - Fluxograma da elaboração do arquivo na extensão “.idf”, compatível com o EnergyPlus® v23.1.0.....	50
Figura 11 - Fluxograma de adição de dados de entrada para simulação energética no EnergyPlus® v23.1.0.....	51
Figura 12 - Fluxograma de classificação energética da edificação a partir dos dados de saída da simulação termoenergética.....	52
Figura 13 - Fluxograma geral dos procedimentos de modelagem à classificação energética.....	53
Figura 14 - Mapa com localização da edificação.....	54
Figura 15 - Fachada do edifício.....	55
Figura 16 - Detalhes da fachada do edifício - Brises.....	56
Figura 17 - Vista da cobertura da edificação.....	56
Figura 18 - <i>Layout</i> do pavimento subsolo. ....	57
Figura 19 - <i>Layout</i> do pavimento térreo. ....	58
Figura 20 - <i>Layout</i> do pavimento tipo. ....	59
Figura 21 - <i>Layout</i> da cobertura. ....	60
Figura 22 - Zonas térmicas do subsolo. ....	62
Figura 23 - Zonas térmicas do pavimento térreo.....	63

Figura 24 - Zonas térmicas do primeiro pavimento tipo. ....	64
Figura 25 - Zonas térmicas do segundo pavimento tipo.....	65
Figura 26 - Zonas térmicas do terceiro pavimento tipo. ....	66
Figura 27 - Zonas térmicas da cobertura. ....	67
Figura 28 - Condensadoras VRF instaladas na cobertura. ....	76
Figura 29 - Detalhe das condensadoras VRF instaladas na cobertura. ....	76
Figura 30 - Especificações técnicas para a unidade condensadora conforme fabricante HITACHI.....	78
Figura 31 - Modelo real (vista 1).....	79
Figura 32 - Modelo real (vista 2).....	80
Figura 33 - Modelo real (vista 3).....	80
Figura 34 - Modelo de referência (vista 1).....	81
Figura 35 - Modelo de referência (vista 2).....	81
Figura 36 - Modelo de referência (Vista 3). ....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária. ....	34
Tabela 2 - Edificações de escritórios: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEPD-A), com base no fator de forma (FF) e Zona Bioclimática. ....	37
Tabela 3 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral da edificação. ....	37
Tabela 4 - Condições de elegibilidade para a classificação A. ....	38
Tabela 5 - Parâmetros de entrada da simulação termoenergética. ....	44
Tabela 6 - Detalhamento do pavimento subsolo. ....	57
Tabela 7 - Detalhamento do pavimento térreo. ....	58
Tabela 8 - Detalhamento dos pavimentos tipo. ....	59
Tabela 9 - Detalhamento da cobertura. ....	60
Tabela 10 - Valores de referência para edificações de escritório. ....	68
Tabela 11 - Padrão de uso de pessoas. ....	70
Tabela 12 - Sistemas construtivos da edificação. ....	71
Tabela 13 - Parâmetros dos materiais. ....	73
Tabela 14 - Sistema de iluminação. ....	75
Tabela 15 - Zonas térmicas condicionadas. ....	77
Tabela 16 - Consumo de Energia Elétrica na Edificação. ....	85
Tabela 17 - Consumo de energia primária da edificação. ....	86
Tabela 18 - Fator de Forma da Edificação. ....	86
Tabela 19 - Coeficiente "i" relativo ao intervalo entre as classes de eficiência energética. ....	87
Tabela 20 - Intervalos de classificação da eficiência energética geral da edificação, em função do RedCEP. ....	88
Tabela 21 - Percentual de redução do consumo de energia primária entre edificação real e de referência. ....	88



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
MME	Ministério de Minas e Energia
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para edificações comerciais, de serviços e públicas
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
CREA-ES	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Espírito Santo
GEE	Gases de Efeito Estufa
ONU	Organização das Nações Unidas
IEA	<i>International Energy Agency</i>
ACEEE	<i>American Council for an Energy Efficient</i>
PEE	Programa de Eficiência Energética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
PIB	Produto Interno Bruto
EERI	<i>Energy Efficiency Readiness Index</i>
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
LADE	Laboratório de Análise e Desenvolvimento Energético
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
RTQ-C	Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações para edifícios comerciais, de serviços e públicos
RTQ-R	Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações para edifícios residenciais
GN	Gás Natural
FF	Fator de forma da edificação
VRF	Fluxo de Refrigerante Variável

COP	Coeficiente de performance
RNA	Redes neurais artificiais
IDRS	Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal
CSPF	<i>Cooling Seasonal Performance Factor</i>
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
TRNSYS	<i>Transient System Simulation Tool</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
Crea-ES	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Espírito Santo
PcD	Pessoas com deficiências
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>
ZT	Zona térmica
PAF	Percentual de área de abertura da fachada
$\alpha$ PAR	Absortância da parede
CTpar	Capacidade térmica da parede externa
Ucob	Transmitância da cobertura
$\alpha$ COB	Absortância da cobertura
CTcob	Capacidade térmica da cobertura
FS	Fator solar do vidro
Uvid	Transmitância do vidro
AHS	Ângulo horizontal de sombreamento
AVS	Ângulo vertical de sombreamento
AOV	Ângulo de obstrução vizinha
DPI	Densidade de potência de iluminação
DPE	Densidade de potência de equipamentos
Nano	Dias de ocupação
Pav	Pavimento
FAP	Fator de ajuste de potência
APP	Área de permanência prolongada
DPE	Densidade de potência de equipamentos

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	17
2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	23
2.3. ETIQUETAGEM ENERGÉTICA.....	25
2.4. INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇO E PÚBLICAS (INI-C).....	30
2.4.1. PROCEDIMENTOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS.....	32
2.4.2. CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GERAL DA EDIFICAÇÃO.....	32
2.4.3. MÉTODO SIMPLIFICADO.....	39
2.4.4. MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....	41
2.4.4.1. PROCEDIMENTO PARA A SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA...43	
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>46</b>
3.1. ETAPA 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	46
3.2. ETAPA 1: ESCOLHA DO MÉTODO A SER APLICADO E DA EDIFICAÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO.....	47
3.3. ETAPA 2: APLICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO.....	47
3.3.1. DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA DE USO DA EDIFICAÇÃO.....	48
3.3.2. LEVANTAMENTO DOS DADOS DOS PROJETOS.....	49
3.3.3. MODELAGEM NO SKETCHUP® + EUCLID®.....	50
3.3.4. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA NO ENERGY PLUS®.....	50
3.4. ETAPA 3: AVALIAÇÃO E ETIQUETAGEM ENERGÉTICA.....	51

3.5. FLUXOGRAMA GERAL (MODELAGEM, SIMULAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO)

52

<b>4. ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>54</b>
4.1. EDIFICAÇÃO OBJETO DE ESTUDO.....	54
4.2. DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA DE USO .....	61
4.3. ZONAS TÉRMICAS .....	61
4.3.1. SUBSOLO .....	62
4.3.2. TÉRREO .....	63
4.3.3. PAVIMENTO TIPO .....	63
4.3.4. COBERTURA.....	66
4.4. LEVANTAMENTO DE DADOS .....	67
4.4.1. PARÂMETROS ADOTADOS CONFORME TIPOLOGIA DE USO.....	67
4.4.2. PADRÃO DE USO DE PESSOAS.....	69
4.4.3. MATERIAIS .....	70
4.4.4. ILUMINAÇÃO .....	75
4.4.5. AR CONDICIONADO .....	75
4.4.6. EQUIPAMENTOS.....	79
4.5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	79
4.5.1. EDIFICAÇÃO NA CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA .....	80
4.5.2. SIMULAÇÃO NO ENERGY PLUS.....	82
4.6. CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	84
4.6.1. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	84
4.6.2. CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA .....	85
4.6.3. INTERVALOS DE CLASSIFICAÇÃO .....	86
4.6.4. CLASSIFICAÇÃO GERAL.....	88
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>90</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>92</b>
<b>APÊNDICE A - PADRÃO DE USO DE PESSOAS</b> .....	<b>96</b>
<b>APÊNDICE B - SISTEMA DE ILUMINAÇÃO</b> .....	<b>99</b>
<b>APÊNDICE C – DADOS DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO DO MODELO REAL</b> .....	<b>101</b>

<b>APÊNDICE D – DADOS DE SAÍDA DA SIMULAÇÃO DO MOD. DE REFERÊNCIA</b>	
.....	<b>103</b>
<b>ANEXO A – PLANTAS DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....</b>	<b>105</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de edificações é um dos principais consumidores de energia no Brasil, representando quase metade do consumo final em 2022, segundo o Painel de Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (EPE/MME, 2022). Desse total, 30,07% correspondem ao setor residencial e 18,18% ao setor comercial. Além da energia elétrica, os setores de edificações também consomem outras fontes energéticas, como gás natural, lenha, carvão vegetal e GLP.

Neste contexto, a eficiência energética em edificações é um tema de grande relevância para o desenvolvimento sustentável, pois contribui para a redução do consumo de recursos naturais e das emissões de gases de efeito estufa, além de gerar economia para os usuários. No Brasil, existe um programa voluntário de etiquetagem de edificações, coordenado pelo Procel Edifica (ELETROBRAS/PROCEL, 2021), que visa a estimular a melhoria do desempenho energético das construções. O Procel Edifica foi instituído em 2003 pela Eletrobras/Procel e atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor de construção civil.

Para obter a etiqueta, as edificações devem atender aos critérios e métodos estabelecidos pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) (INMETRO, 2021), que foi publicada em 2021 e substituiu o antigo RTQ-C (INMETRO, 2012). A INI-C é resultado de um processo de revisão e aperfeiçoamento do método de avaliação do nível de eficiência energética das edificações, iniciado em 2014 pelo Procel Edifica junto com o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) (PBE EDIFICA, 2021). O objetivo foi melhorar o indicador de desempenho que visa a auxiliar o consumidor na tomada de decisão no momento da escolha do seu imóvel.

A INI-C propõe um novo indicador de desempenho baseado no consumo de energia primária, que permite contabilizar tanto a energia elétrica quanto a térmica provenientes de diversas fontes. A classificação da edificação é realizada comparando-se o consumo real com o consumo de referência, que corresponde à classe D de eficiência. A estimativa do consumo pode ser feita por meio de dois métodos: simplificado ou de simulação. O método simplificado é aplicável a edificações com características construtivas e operacionais padronizadas, enquanto o método de simulação é mais flexível e permite avaliar edificações com soluções arquitetônicas e tecnológicas mais complexas ou inovadoras.

O objetivo deste trabalho é analisar a eficiência energética em um edifício comercial pelo método de simulação da INI-C, utilizando o *software* SketchUp® Pro 2023 com o *plugin* Euclid® v23.1.0 e conjugado com o EnergyPlus® v23.1.0. O edifício escolhido para o estudo de caso é o edifício da sede do CREA-ES - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Espírito Santo, localizado na cidade de Vitória - ES. Ele possui uma área total construída de 6.007,91 m<sup>2</sup>, distribuídos em 6 pavimentos. O uso principal é comercial, mas também há espaços destinados à auditório, sala de arquivos e restaurante. Os sistemas avaliados neste trabalho são: envoltória completa (obrigatória), sistema de condicionamento de ar e sistema de iluminação.

Espera-se, portanto, que este trabalho contribua para a divulgação e aplicação da INI-C como uma ferramenta para a avaliação e melhoria da eficiência energética em edificações comerciais no Brasil.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo acerca da eficiência energética de uma edificação comercial, situada no Espírito Santo, por meio do método de simulação da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação da Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a atender o objetivo geral, serão realizados os seguintes objetivos específicos:

- Realizar revisão da literatura sobre eficiência energética e o método INI-C (Instruções Normativas Inmetro para edificações comerciais de serviço e públicas) através do método de simulação;
- Aprender e utilizar o *Software SketchUp® Pro 2023* e *EnergyPlus® v23.1.0* e estudar a eficiência da sua aplicação para o método de simulação;
- Classificar uma edificação comercial utilizando o método de simulação da INI-C.

### 1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução do projeto, apresentando a problemática que desencadeou o estudo de caso e aplicação da eficiência energética; relevância do tema; objetivos do trabalho; e apresentação da estrutura de capítulos presentes no trabalho.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica, criando base teórica para o tema abordado. Apresenta-se o cenário mundial e nacional da eficiência energética, além da contribuição das edificações neste cenário, bem como o programa de etiquetagem no Brasil e a INI-C.

Capítulo 3: Metodologia do estudo.

Capítulo 4: Destina-se ao detalhamento de todo o estudo de caso, abordando desde a apresentação da edificação escolhida, levantamento de dados e parâmetros



adotados na modelagem e simulação, até a sua classificação da eficiência energética pelo método de simulação. Apresenta, também, uma breve discussão dos resultados.

E por último, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética é um conceito que se refere ao uso racional e otimizado da energia elétrica em todos os setores da economia. Ela pode trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais, como a redução de custos, a melhoria da competitividade, a preservação dos recursos naturais e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

No cenário mundial, a eficiência energética também tem sido reconhecida como uma estratégia fundamental para a transição energética, que significa a passagem de uma matriz em que predomina a utilização de combustíveis fósseis, com elevada emissão de gases de efeito estufa (GEE), para uma ancorada em fontes renováveis e com baixa emissão de carbono (ONU BRASIL, 2023).

Segundo a Agência Internacional de Energia (International Energy Agency – IEA), a eficiência energética pode contribuir para cerca de 40% da redução das emissões globais necessárias para cumprir o Acordo de Paris<sup>1</sup> sobre as mudanças climáticas. Além disso, a eficiência energética pode gerar crescimento econômico, criação de empregos, melhoria da qualidade do ar e da saúde, redução da pobreza energética e aumento da segurança energética (IEA, 2020).

A IEA também publica anualmente o relatório *Energy Efficiency*, que analisa as tendências globais e regionais em eficiência energética e os impactos das políticas públicas nessa área. De acordo com o relatório de 2020, a intensidade energética global (medida pela quantidade de energia necessária para produzir uma unidade do PIB) melhorou em 1,6% em 2019, mas essa taxa foi menor do que a média anual de 2% entre 2015 e 2018. Além disso, a pandemia da COVID-19 reduziu os investimentos em eficiência energética em cerca de 9% em 2020. Já o relatório *Energy Efficiency*

---

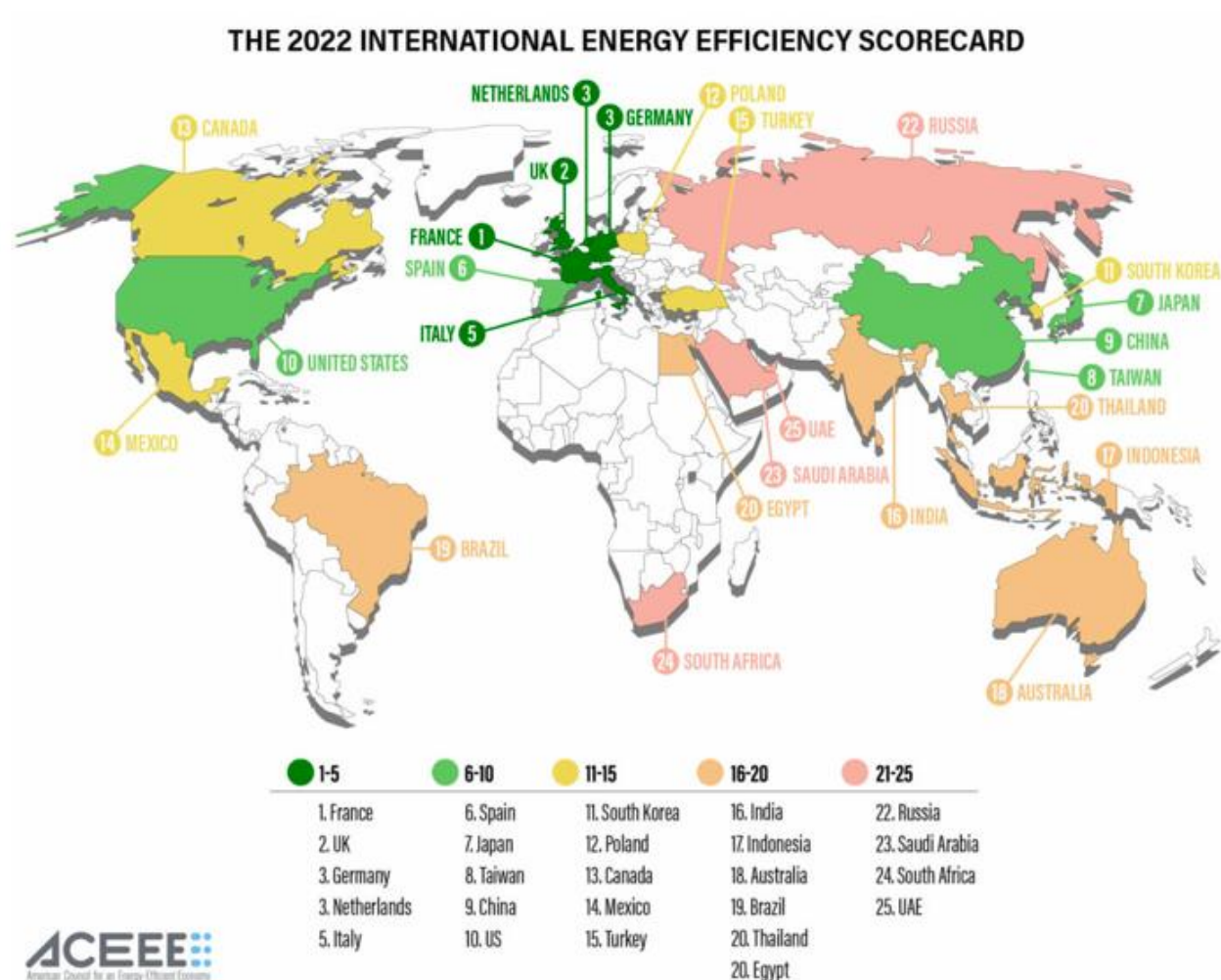
<sup>1</sup> O Acordo de Paris é um compromisso mundial sobre as mudanças climáticas, que prevê metas para a redução da emissão de gases do efeito estufa. O objetivo do acordo é manter o aumento da temperatura média mundial abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais. O acordo foi assinado por 195 países e entrou em vigor em 4 de novembro de 2016.

2022, pós pandemia, destaca que a crise energética global causada pela invasão da Ucrânia pela Rússia aumentou as preocupações com a segurança energética e o impacto inflacionário dos preços mais altos da energia nas economias mundiais. O relatório também aponta que, nos últimos 20 anos, os países membros da IEA implementaram medidas relacionadas à eficiência energética que economizaram cerca de USD 680 bilhões em 2022, o que representa cerca de 15% do total da conta de energia de USD 4,5 trilhões. No entanto, o investimento em eficiência energética ainda é altamente concentrado em países com economias avançadas. O relatório destaca que, para acelerar as melhorias globais de eficiência, é necessário aumentar o investimento e a implementação de medidas de eficiência energética em todo o mundo.

O relatório também destaca que os países têm adotado diferentes tipos de políticas e mecanismos para promover a eficiência energética em diversos setores. Alguns exemplos são: padrões mínimos de desempenho energético para produtos e edificações; etiquetagem voluntária ou obrigatória para informar os consumidores sobre a eficiência energética dos produtos; incentivos financeiros ou fiscais para estimular a adoção de tecnologias mais eficientes; metas nacionais ou setoriais de economia de energia; sistemas de gestão da energia para monitorar e melhorar o uso da energia nas organizações; esquemas de certificados de energia branca que permitem a comercialização da energia economizada; entre outros.

O *American Council for an Energy Efficient Economy* (ACEEE), que foi fundado para classificar e relatar periodicamente a eficiência energética em cidades nos Estados Unidos, também informa sobre a eficiência energética internacional. Ele avalia e classifica a eficiência energética dos países com base em esforços nacionais, edifícios, indústria e transportes. Existem 36 métricas dentro das quatro categorias (23 de política e 13 de desempenho), e a pontuação mais alta totaliza 100, sendo 60 pontos obtidos em métricas de política e 40 em métricas de desempenho). Essa classificação gera, anualmente, o *International Energy Efficiency Scorecard*, onde os países são elencados dos que são mais eficientes energeticamente para os que são menos. Em 2022, a França foi nomeada o país com maior eficiência energética, seguida pelo Reino Unido, Holanda e Alemanha. A Figura 1 representa a classificação completa de 2022 e mostra que o Brasil, nesta classificação, ocupou a 19ª posição.

Figura 1 - Classificação internacional da eficiência energética nos países no ano de 2022.



Fonte: ACEEE (2023)

No Brasil, a eficiência energética tem sido objeto de diversas políticas públicas, programas e iniciativas que visam a promover o uso eficiente da energia elétrica nas indústrias, nos edifícios, nos transportes e nos eletrodomésticos. Um dos principais programas é o Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que obriga as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica a aplicar anualmente um montante de sua receita líquida em projetos de eficiência energética que demonstrem a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia (BRASIL, 2022).

Esse programa busca maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada, promovendo a transformação do mercado de eficiência energética, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

Outro programa relevante é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobras, que tem como objetivo estimular a racionalização do consumo de energia elétrica por meio de ações de informação, educação, pesquisa e desenvolvimento, assistência técnica, financiamento e incentivos fiscais (BRASIL, 2021). O Procel atua em diversos segmentos como indústria, comércio e serviços, iluminação pública, saneamento básico, edificações públicas e privadas, entre outros.

Um terceiro programa importante é o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) em parceria com o MME e o Procel, que estabelece critérios para a avaliação do desempenho energético de produtos e edificações, fornecendo informações aos consumidores sobre o consumo de energia e a eficiência energética dos mesmos (BRASIL, 2021). O PBE abrange diversos produtos como refrigeradores, ar-condicionado, televisores, lâmpadas, motores elétricos, entre outros. Também avalia o desempenho energético das edificações residenciais e comerciais.

Um quarto programa que merece destaque é o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (Conpet), coordenado pelo MME e executado pela Petrobras, que tem como objetivo promover o uso racional dos combustíveis fósseis nos setores industrial, comercial, residencial e de transportes, por meio de ações de informação, educação, pesquisa e desenvolvimento, assistência técnica e financiamento (BRASIL, 2021). O Conpet atua em áreas como transporte rodoviário de cargas e passageiros, transporte ferroviário, transporte marítimo e fluvial, geração distribuída com gás natural ou biogás.

Um contraponto entre o cenário da eficiência energética no Brasil e no mundo pode ser feito a partir de alguns indicadores. Por exemplo, segundo o relatório *Energy Efficiency 2020* da IEA, a intensidade energética do Brasil em 2019 foi de 3,9

megajoules por dólar (em paridade de poder de compra), enquanto a média mundial foi de 4,6 megajoules por dólar. Isso significa que o Brasil utilizou menos energia para produzir uma unidade do PIB do que a média global. No entanto, essa vantagem relativa do Brasil se deve em grande parte à estrutura da sua economia, que é baseada em serviços e agricultura, que são setores menos intensivos em energia do que a indústria. Além disso, o Brasil tem uma matriz elétrica predominantemente renovável, o que reduz a intensidade de carbono da sua energia.

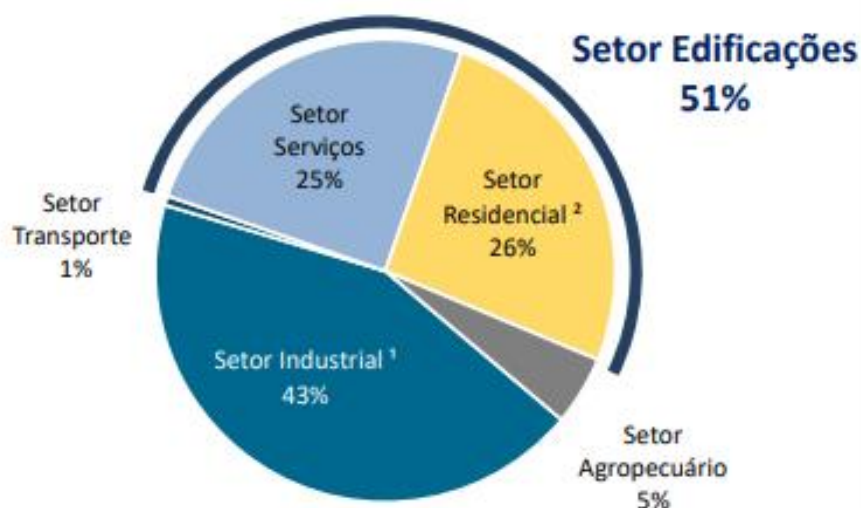
Outro indicador que pode ser usado para comparar o cenário da eficiência energética no Brasil e no mundo é o Índice de Prontidão para a Eficiência Energética (Energy Efficiency Readiness Index – EERI), desenvolvido pela IEA. Esse índice avalia o grau de preparação dos países para implementar políticas e programas de eficiência energética em cinco dimensões: política nacional; planejamento setorial; apoio financeiro; conscientização e capacitação; monitoramento, verificação e avaliação. Cada dimensão é composta por vários indicadores que recebem uma pontuação de 0 a 5, sendo 5 a pontuação máxima. A pontuação final do índice é a média das pontuações das cinco dimensões.

Segundo o relatório *Energy Efficiency 2019* da IEA, o Brasil obteve uma pontuação final de 2,1 no EERI, ficando abaixo da média mundial de 2,3 e da média dos países da América Latina e Caribe de 2,2. O Brasil teve as maiores pontuações nas dimensões de política nacional (3) e planejamento setorial (2,8), mas as menores nas dimensões de apoio financeiro (1) e monitoramento, verificação e avaliação (1,4). Isso indica que o Brasil tem um arcabouço legal e institucional para a eficiência energética, mas enfrenta desafios para mobilizar recursos financeiros e para medir e avaliar os resultados das suas políticas e programas.

Portanto, o Brasil tem um potencial para melhorar a sua eficiência energética em diversos setores e para se alinhar aos objetivos globais de transição energética e mitigação das mudanças climáticas. No entanto, para isso, é preciso superar as barreiras existentes e fortalecer as políticas e os mecanismos que incentivam o uso racional e otimizado da energia elétrica no país.

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2022, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), os setores que mais consumiram energia elétrica no país foram o industrial, com 36,3% do total, o residencial, com 30,1% e o comercial, com 17,4% (EPE, 2022). Além disso, conforme estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 (PDE 2032), nos quesitos demanda e eficiência energética, projeta-se que, em 2032, as edificações representem cerca de metade do consumo elétrico no país, conforme mostrado na Figura 2, sendo 26% para as residências, 17% para o setor comercial e 8% para o setor público, totalizando um consumo de 416 TWh (EPE, 2023). Para efeito de projeção, o setor de edificações compreende os setores de serviços (comércio, iluminação pública, água, esgoto e saneamento) e residencial (domicílios urbanos e rurais).

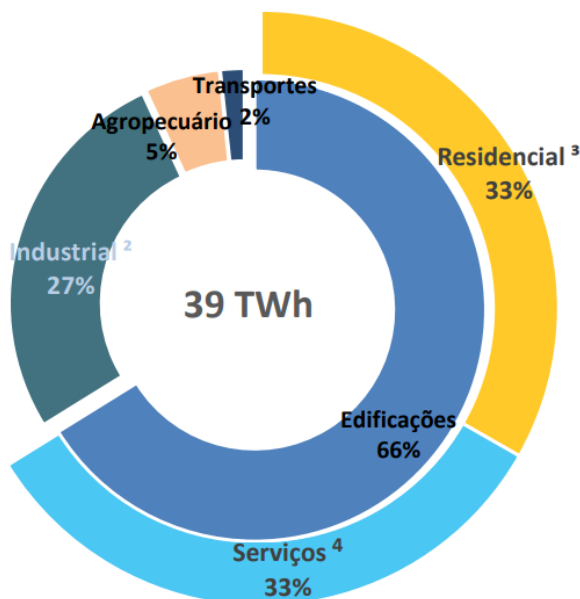
Figura 2 – Participação do consumo elétrico setorial - Projeção 2032



Fonte: EPE (2023)

Ainda conforme estudos do PDE 2032, projeta-se um ganho de eficiência elétrica de 39 TWh para tal ano, considerando um contexto de eficiência energética onde haja reposição tecnológica pelo término da vida útil e implementação das políticas vigentes. O setor de edificações, segundo essa projeção, contribui com a maior parcela dos ganhos de eficiência elétrica (66% do total) conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Contribuição setorial para os ganhos de eficiência elétrica no ano 2032 (% do ganho total).



Fonte: EPE (2023)

Será aprofundada a seguir, a eficiência energética neste setor, que é foco deste trabalho.

## 2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A eficiência energética em edificações é um conceito que visa a reduzir o consumo de energia elétrica sem comprometer o conforto e a qualidade do ambiente construído (CBIC, 2017). Segundo o LADE (Laboratório de Análise e Desenvolvimento Energético), a eficiência energética em edificações tem como finalidade a economia no uso da energia sem comprometimento do conforto lumínico, acústico e ergonômico, de modo a atingir melhoria na qualidade do ambiente e do processo produtivo (LADE, 2021).

Para alcançar a eficiência energética em edificações, é necessário adotar técnicas de projeto e construção que levem em conta as características climáticas, geométricas, arquitetônicas e funcionais da edificação (CBIC, 2017). Alguns exemplos dessas técnicas são: iluminação e ventilação natural, uso de materiais isolantes térmicos,



aproveitamento de energias renováveis, como solar e eólica, e sistemas de gestão e controle de energia (CARLUC, 2023).

O consumo energético de uma edificação é o conjunto de gastos energéticos realizados em todo seu ciclo de vida. O ciclo de vida de uma edificação é dividido em três fases distintas: construção, que inclui desde as especificações em projeto até a extração, fabricação, transporte e usos das matérias primas e insumos; operação, que é o uso efetivo da edificação pelos seus ocupantes, que representa o período mais longo e de maior impacto ambiental quanto ao consumo de energia elétrica; demolição ou requalificação, representando o término do ciclo de vida da edificação (FILHO *et al.*, 2018)

O setor de edificações é responsável por cerca de 48% do consumo de energia elétrica no Brasil, chegando a cerca de 15% do total de energia disponibilizada no país, o que equivale a 258 TWh, ou R\$ 60 bilhões (EFICIENERGY, 2018). O potencial de redução de consumo nos prédios *green buildings* é cerca de 77,49 TWh, fomentado por uma política integrada de eficiência energética que englobe todas as etapas que representam consumo energético de uma edificação (construção, reforma e operação) (EFICIENERGY, 2018).

As formas de aprimorar a eficiência energética nas edificações envolvem desde o projeto integrado visando à otimização dos recursos naturais e dos sistemas construtivos, até a simulação energética para avaliar o desempenho térmico e luminoso da edificação. Além disso, o comissionamento é uma prática que visa a garantir que os sistemas instalados funcionem conforme os requisitos de projeto e atendam às necessidades dos usuários. Por fim, os sistemas de gestão de energia permitem monitorar e controlar o consumo e a demanda de energia nas edificações, identificando oportunidades de melhoria contínua (CBIC, 2017).

Considerando o aprimoramento da eficiência energética nas edificações, o estabelecimento de classificações, e de critérios mínimos para atingi-las, é de suma importância para representar a eficiência energética de uma edificação e nortear o setor quanto aos parâmetros que tornam uma edificação mais eficiente energeticamente. No Brasil, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade

e Tecnologia) é o órgão responsável pela avaliação da conformidade de edificações comerciais e residenciais quanto à eficiência energética e a ferramenta utilizada para classificação das edificações é o programa brasileiro de etiquetagem (PBE).

### **2.3. ETIQUETAGEM ENERGÉTICA**

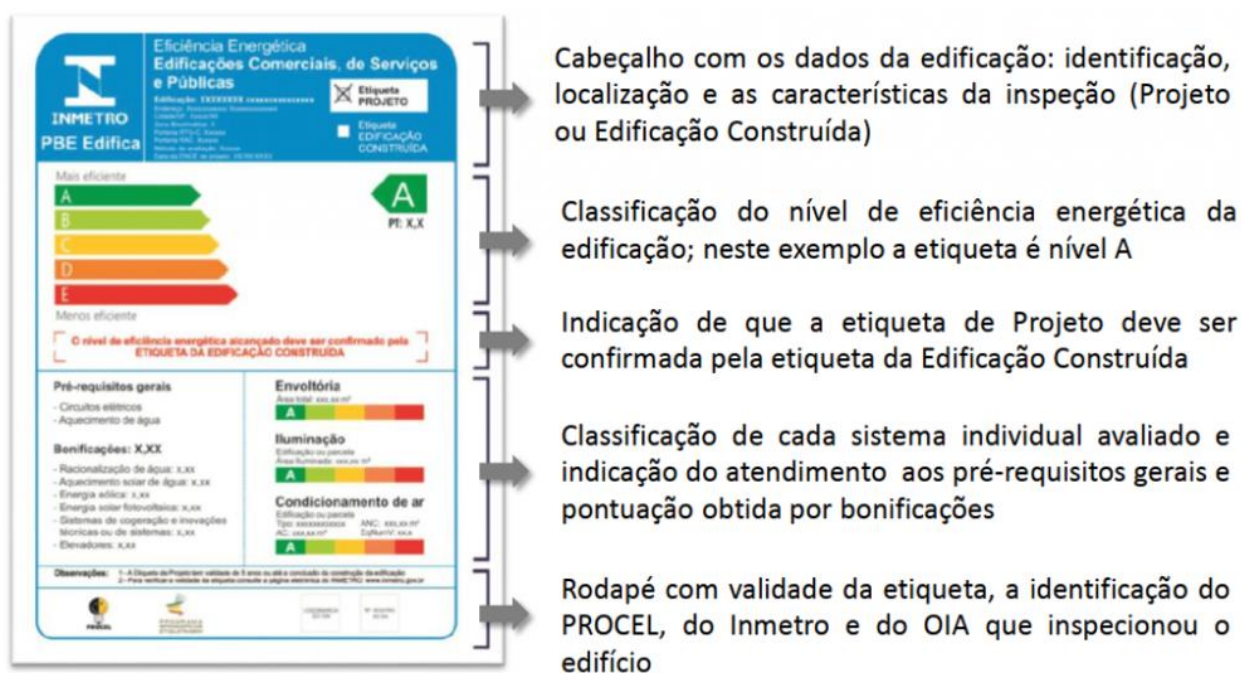
O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) é uma iniciativa do INMETRO que visa a informar aos consumidores sobre a eficiência energética dos produtos comercializados no país, por meio da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). O programa teve início em 1984 com a etiquetagem de refrigeradores e foi se expandindo para outros produtos ao longo dos anos, tais como condicionadores de ar, lâmpadas, motores elétricos, veículos automotivos, edificações e sistemas de energia fotovoltaica (INMETRO, 2021).

O processo de etiquetagem de edificações teve início em 2001, com a Lei nº 10.295, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (BRASIL, 2001). Essa lei visa desenvolver, difundir e estimular a eficiência energética no país, e estabelece que o Inmetro é o órgão responsável pela regulamentação e fiscalização dos produtos e serviços que envolvam o consumo de energia.

Em 2003, foi criado o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - PROCEL EDIFICA, um programa do Procel que tem por objetivo promover o uso racional e eficiente de energia elétrica em edificações. A partir daí, foram sendo desenvolvidos métodos de avaliação da eficiência energética de edificações, em parceria com o Inmetro, que conferem a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para as edificações (PBE EDIFICA, 2021). Os métodos em questão são os RTQ-C e RTQ-R, que são os Regulamentos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações para edifícios comerciais, de serviços e públicos (RTQ-C) e para edifícios residenciais (RTQ-R). Eles contêm os requisitos e os critérios para a avaliação da eficiência energética dos edifícios, considerando aspectos como envoltória, iluminação, condicionamento de ar e aquecimento de água. Suas primeiras versões foram publicadas em 2010 (INMETRO, 2012) e, a partir delas, era possível solicitar a ENCE, a etiqueta que informa o nível de eficiência energética dos edifícios, sendo A (mais eficiente) até E (menos eficiente), e pode ser concedida de forma

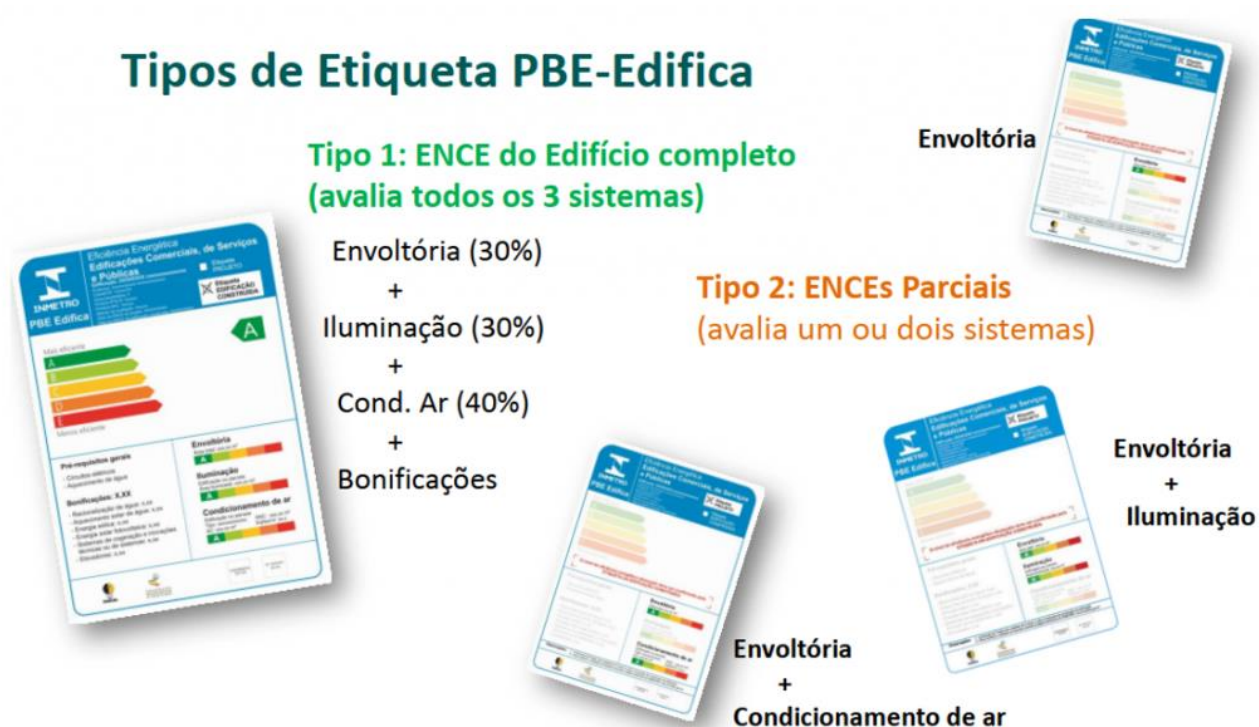
parcial ou geral, dependendo dos sistemas avaliados. A Figura 4 apresenta um exemplo de ENCE geral, com explicação de seu conteúdo, e a Figura 5 apresenta exemplos de ENCE geral e parcial.

Figura 4 - Exemplo de ENCE geral para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.



Fonte: Quali-A

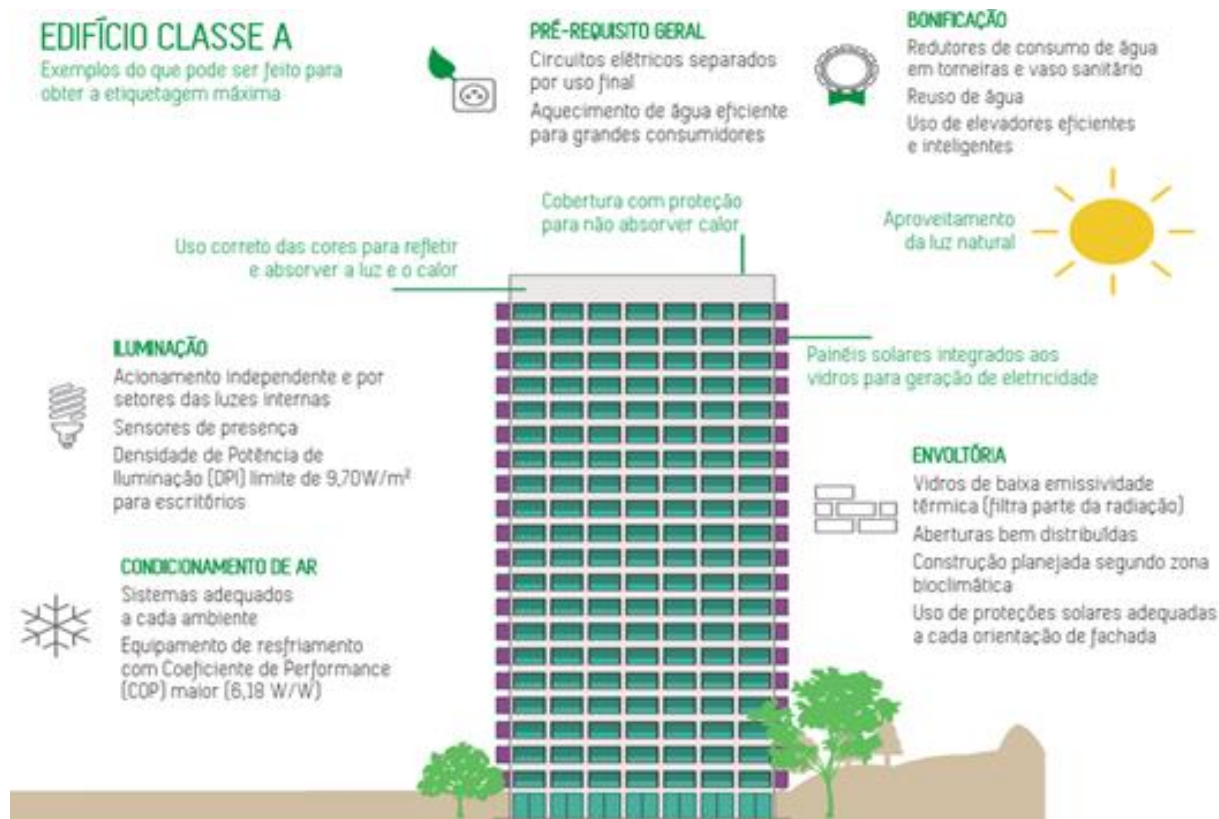
Figura 5 - Exemplo de ENCE geral e parcial para Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.



Fonte: Quali-A

Em 2014, a etiquetagem de edificações tornou-se obrigatória para os edifícios da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional, por meio da Instrução Normativa SLTI n.º 2/2014, do Ministério de Planejamento Orçamento e Gestão (MPOG) (PROCEL INFO, 2021). Essa norma dispõe sobre as regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores de energia e o uso da ENCE nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam *retrofit*. Segundo a norma, os projetos devem visar à obtenção da ENCE Geral de Projeto classe “A”, assim como a construção da nova Edificação deve garantir a obtenção da ENCE Geral da Edificação Construída classe “A”. A Figura 6 traz alguns exemplos do que pode ser feito para obtenção da etiquetagem máxima.

Figura 6 - Exemplos do que pode ser feito para obtenção da etiqueta A em um edifício.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2020)

Embora os RTQ-C e RTQ-R estivessem em vigor, eles apresentavam limitações. Carlo e Lamberts (2010) destacam que, desde o lançamento do RTQ-C, foram constatadas lacunas no método prescritivo que sintetizam o processo de etiquetagem, como pré-requisitos limitadores que podem gerar variações de níveis altos para os de baixa eficiência (VIEIRA, 2019). O RTQ-C também desconsidera a orientação dos elementos de sombreamento resultando em ganhos térmicos que classificam o edifício de forma insatisfatória (GALAFASSI; PEREIRA, 2013). Além disso, não possui diretrizes que diferenciem a orientação para as áreas envidraçadas. Essas duas variáveis podem ser favoráveis ou não, dependendo das condições climáticas da região, entretanto, o regulamento apenas conclui que o percentual de abertura (PAF) é inversamente proporcional ao nível de eficiência (FOSSATI; LAMBERTS, 2010). Essas são algumas das limitações apresentadas pelos métodos em vigor e, diante delas, em 2017, foram criadas as INI-C (Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas) e INI-R (Instrução Normativa Inmetro para Classificação de Eficiência

Energética de Edificações Residenciais), pelo Inmetro e pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). As INI-C e INI-R aperfeiçoaram os RTQ-C e RTQ-R, respectivamente, especificando os critérios e métodos para classificação de edificações quanto a sua eficiência energética, sanando algumas das limitações existentes em seus antecessores. A Figura 7 apresenta, como exemplo, um quadro comparativo entre o RTQ-C e a INI-C, retirado de um estudo que realizou a etiquetagem da envoltória de uma edificação pelos métodos prescritivo, do RTQ-C, e de simulação, da INI-C. A próxima seção abordará a INI-C, que será utilizada neste trabalho.

Figura 7 - Principais diferenças entre o RTQ-C e a INI-C

RTQ-C	INI-C	Melhorias constatadas da INI-C em relação ao RTQ-C
Portaria Inmetro nº 372/2010	Proposta de aperfeiçoamento – 2018	
Não diferencia área envidraçada e proteções solares por orientação	Permite a entrada de dados diferenciados por fachada	Permite que a insolação sobre as fachadas seja melhor caracterizada e conseqüentemente os ganhos térmicos se assemelhem mais com a realidade da edificação
Limitação na representação por volumetria da edificação	Permite a modelagem de diferentes formas geométricas	A volumetria da edificação é modelada de forma que a influência do sombreamento e da insolação sobre sua envoltória é melhor representada
Considera apenas um tipo de sistema HVAC (Split)	Possibilita a avaliação de qualquer sistema de HVAC	Pode-se configurar exatamente o tipo de sistema de condicionamento de ar utilizado na edificação, o que caracteriza de forma mais eficiente o consumo de energia
Não considera o ângulo de obstrução vizinha	Considera o ângulo de obstrução vizinha	O entorno é modelado de forma que a influência de seu sombreamento sobre a edificação é melhor representado
Os pré-requisitos de paredes e coberturas podem penalizar uma edificação em que estes itens não são representativos	Permite a entrada das características térmicas de paredes e cobertura, independente de pré-requisitos	Permite a avaliação de edificações com valores de propriedades térmicas diversas, como as históricas, que devido às grandes espessuras de paredes, possuem altos valores de capacidade térmica, por exemplo
Impossibilidade das equações descreverem diversas variações volumétricas	Permite a modelagem de diferentes formas geométricas	Pode-se modelar a edificação suas características formais existentes
Uso de apenas um padrão de carga térmica interna e padrão de uso e ocupação	Permite a especificação do tipo de uso da edificação	Dependendo dos tipos de uso, os gastos energéticos variam, principalmente os relacionados aos sistemas HVAC. E a especificação de uso permite que sejam inseridos padrões de consumo condizentes com o uso do edifício
Não considera a influência da iluminação e ventilação natural	Permite a avaliação da iluminação natural e ventilação natural	Esses dois fatores impactam diretamente nos gastos energéticos da edificação, e com a sua inserção na avaliação a etiquetagem torna-se mais confiável
Utiliza índices de consumo sem relação direta com o consumo de energia da edificação	Adota o consumo de energia da edificação como parâmetro de avaliação	Essa alteração relaciona o nível de eficiência da edificação com o seu próprio consumo, o que torna o processo mais confiável e realista
Dados generalizados das zonas térmicas	Dados de grupos bioclimáticos	Considera o novo zoneamento bioclimático brasileiro para os dados dos cálculos, o que aumenta as possibilidades e torna menos genérica a avaliação

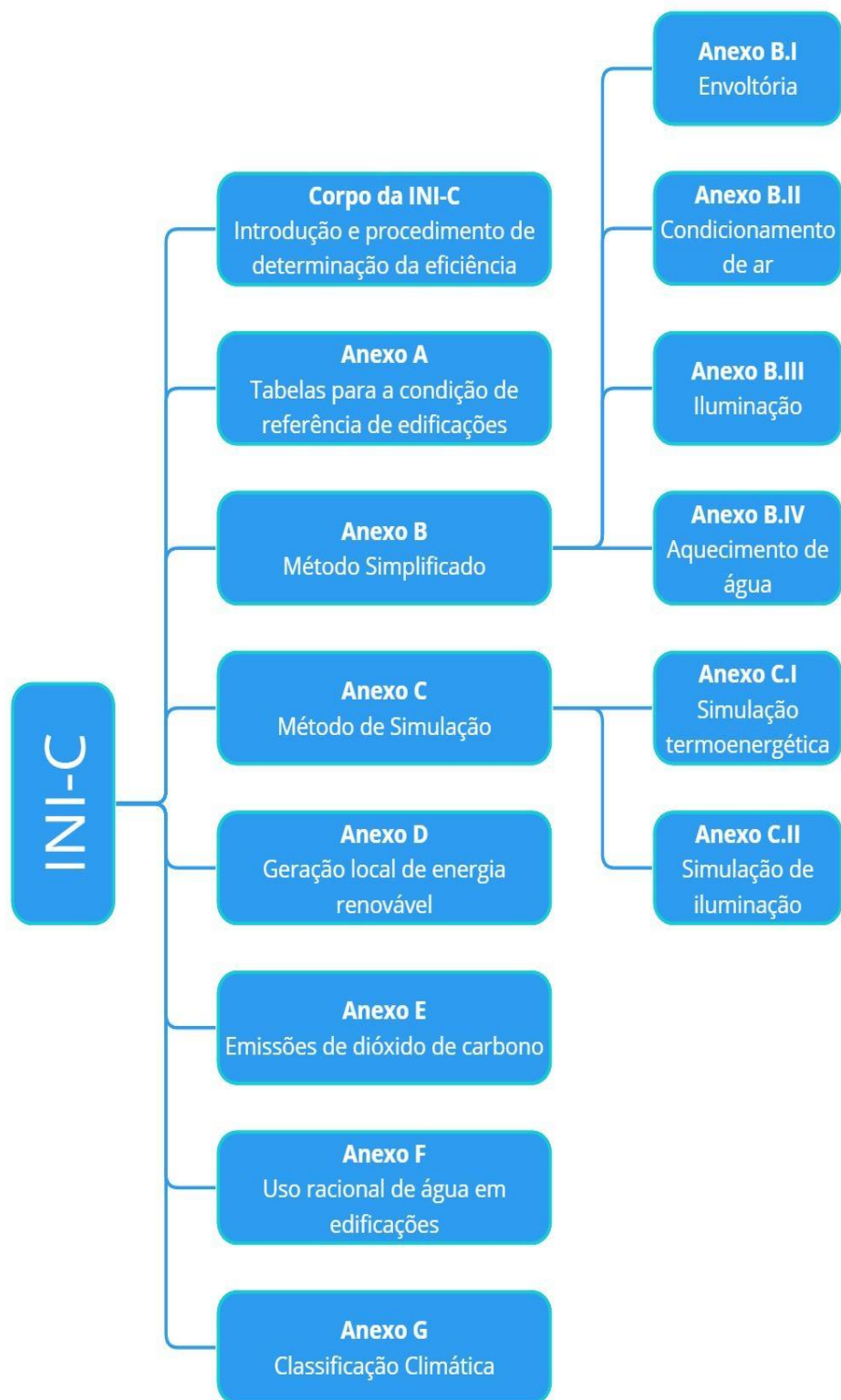
Fonte: SIRTULI, DIAS E RODRIGUES (2022)

## **2.4. INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇO E PÚBLICAS (INI-C)**

A INI-C é a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas, que especifica os critérios e os métodos para avaliar o desempenho energético dessas edificações, com o objetivo de promover a etiquetagem de edificações (BRASIL, 2021). Essa instrução normativa foi aprovada em março de 2021 e substituiu os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (UFSC, 2021).

A classificação de eficiência energética da edificação considera os seguintes sistemas: envoltória completa, sistema de condicionamento de ar, sistema de iluminação, sistema de aquecimento de água. Ela pode ser geral, a qual se considera o consumo de energia primária de todos os sistemas da edificação, ou parcial, a qual considera o consumo de energia primária de apenas alguns sistemas, sendo obrigatória a avaliação da envoltória completa (BRASIL, 2021). Em ambos os casos, ela é realizada com base no consumo de energia primária, comparando-se o consumo da edificação real com a mesma edificação em uma condição de referência, equivalente à classificação D. A estimativa do consumo de energia pode ser realizada por meio dos métodos simplificado e de simulação, sendo que o sistema de aquecimento de água pode ser avaliado somente pelo método simplificado (BRASIL, 2021). A Figura 8 mostra a estrutura do texto da INI-C.

Figura 8 - Estrutura do texto da INI-C Dez/2022.



miro

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2020)



### 2.4.1. PROCEDIMENTOS PARA A DETERMINAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICAS

Para a determinação da ENCE Geral, são avaliados todos os sistemas da edificação. O Capítulo 8 da INI-C, Versão Dezembro/2022, destina-se a explicar como é feito o cálculo do consumo de energia primária da edificação real e da edificação de referência, usando os métodos simplificado ou de simulação, e como compará-los para obter a classificação geral ou parcial da edificação. Ele apresenta as fórmulas e tabelas para o cálculo dos fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária e em emissões de carbono, bem como os limites e critérios para a classificação de A a E. A próxima seção explicará estes cálculos, sendo que o procedimento, as fórmulas e tabelas foram extraídos do texto da INI-C de Dez/2022 (INMETRO, 2022).

### 2.4.2. CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA GERAL DA EDIFICAÇÃO

A classificação da eficiência energética geral da edificação é feita comparando o consumo de energia primária da edificação real com o consumo de energia primária da edificação de referência, que tem a classificação D. Essa comparação é representada pelo percentual de redução do consumo de energia primária ( $Red_{CEP}$ ), que é calculado pela Equação 1.

$$Red_{CEP} = ((CEP_{refD} - CEP_{real}) / CEP_{refD}) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

$Red_{CEP}$  é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência (%);

$CEP_{refD}$  é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CEP_{real}$  é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano).

O consumo de energia primária é a quantidade de energia que vem das fontes naturais, como o sol, o vento, a água, o gás natural, o petróleo, etc. Essa energia pode ser transformada em energia elétrica ou térmica, que é usada nas edificações. Para calcular o consumo de energia primária da edificação real e da edificação de referência, é preciso usar os fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária, conforme é mostrado nas próximas equações.

O consumo de energia primária da edificação real ( $C_{EP,real}$ ), conforme Equação 2, é definido pela soma do seu consumo estimado de energia elétrica ( $C_{EE,real}$ ) e térmica ( $C_{ET,real}$ ), multiplicados pelos respectivos fatores de conversão ( $fc_E$  e  $fc_T$ ), menos a parcela de energia primária proveniente de geração local de energia renovável, quando esta existir.

$$C_{EP,real} = (C_{EE,real} \cdot fc_E) + (C_{ET,real} \cdot fc_T) - (G_{EE} \cdot fc_E) \quad (2)$$

Onde:

$C_{EP,real}$  é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano);

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

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

$G_{EE}$  é a energia gerada por fontes locais de energia renovável (kWh/ano);

$fc_E$  é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

$fc_T$  é o fator de conversão de energia térmica em energia primária.

O consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência ( $C_{EP,refD}$ ), conforme Equação 3, é definido pelo consumo estimado de energia elétrica ( $C_{EE,refD}$ ), multiplicado pelo seu fator de conversão ( $fc_E$ ). A condição de referência não considera a parcela de energia referente à geração local.

$$C_{EP,refD} = (C_{EE,refD} \cdot fc_E) \quad (3)$$

Onde:

$C_{EP,refD}$  é o consumo de energia primária da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$C_{EE,refD}$  é o consumo total de energia elétrica da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$f_{cE}$  é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária;

Os fatores de conversão utilizados para transformar energia elétrica e térmica em energia primária,  $f_{cE}$  e  $f_{cT}$ , respectivamente, são estimados pelo PBE Edifica a partir do Balanço Energético Nacional. Eles estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária.

<b>Fonte de energia</b>	<b>Fator de conversão</b>	
Energia elétrica	$f_{cE}$	1,6
Energia térmica - Gás Natural (GN)	$f_{cT}$	1,1
Energia térmica - Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	$f_{cT}$	1,1

Fonte: INI-C (Dez/2022)

O consumo total de energia elétrica da edificação em sua condição real ( $C_{EE,real}$ ) é composto pela soma dos consumos de refrigeração ( $C_{R,real}$ ), iluminação ( $C_{IL,real}$ ), aquecimento de água em energia elétrica ( $C_{AAE,real}$ ) e consumo de equipamentos ( $C_{EQ}$ ), conforme descrito pela Equação 4. O consumo total de energia elétrica da edificação em sua condição de referência ( $C_{EE,ref}$ ) é calculado de forma análoga, porém considerando os valores de consumo da condição de referência, conforme Equação 5.

$$C_{EE,real} = C_{R,real} + C_{IL,real} + C_{AAE,real} + C_{EQ} \quad (4)$$

$$C_{EE,refD} = C_{R,refD} + C_{IL,refD} + C_{AAE,refD} + C_{EQ} \quad (5)$$

Onde:

$C_{EE}$  é o consumo total de energia elétrica da edificação real ( $C_{EE,real}$ ) ou condição de referência ( $C_{EE,refD}$ ) (kWh/ano);

$C_R$  é o consumo de refrigeração do sistema de condicionamento de ar da edificação real ( $C_{R,real}$ ) ou condição de referência ( $C_{R,refD}$ ) (kWh/ano);

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

$C_{AAE}$  é o consumo do sistema de aquecimento de água em energia elétrica da edificação real ( $C_{AAE,real}$ ) ou condição de referência ( $C_{AAE,refD}$ ) (kWh/ano);

$C_{EQ}$  é o consumo de equipamentos (kWh/ano);

Nota-se que o consumo de equipamentos para a edificação real e sua condição de referência é o mesmo. Ele é calculado a partir da multiplicação entre a potência instalada de equipamento e o tempo de uso da edificação, conforme a Equação 6.

$$CEQ = (P_i \cdot h \cdot N_{ano}) / 1000 \quad (6)$$

Onde:

$C_{EQ}$  é o consumo de energia elétrica de equipamentos (kWh/ano);

$P_i$  é a potência instalada do equipamento (W);

$h$  são as horas de uso da edificação, conforme tipologia das Tabelas do Anexo A da INI-C;

$N_{ano}$  são os dias de ocupação ao ano, conforme tipologia das Tabelas do Anexo A da INI-C.

O consumo total de energia térmica da edificação é exclusivo da condição real ( $C_{ET,real}$ ), cujo cálculo é dado pela Equação 7, e equivale ao consumo do sistema de aquecimento de água em energia térmica, caso ele exista. Vale observar, portanto, que mesmo as edificações que utilizam fontes de energia térmica para atender à demanda de água quente, terão como condição de referência o consumo de energia de fonte elétrica.

$$C_{ET,real} = C_{AAT,real} \quad (7)$$

Onde:

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

$C_{AAT}$  é o consumo do sistema de aquecimento de água – energia térmica – da edificação real (kWh/ano).

Como dito anteriormente, o sistema de aquecimento de água pode ser avaliado somente pelo método simplificado. Seu procedimento de cálculo encontra-se no Anexo B da INI-C (Dez/2022). Ele não será considerado neste trabalho, pois a edificação analisada não possui sistema de aquecimento de água em atividade.

Desta forma, tendo-se o consumo total de energia elétrica da edificação, mostrado nas Equações 4 e 5, prossegue-se com o processo de classificação. Para tanto, precisa-se definir também qual será a escala de eficiência energética adotada, ou seja, quais serão os intervalos entre uma classificação e outra, de A a E.

Para a definição destes intervalos, deve ser obtido o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ( $CRC_{EPD-A}$ ), que se baseia no fator de forma da edificação (calculado a partir da Equação 8), juntamente com a classificação climática da cidade onde ela está inserida (a lista das cidades brasileiras e suas referidas classificações climáticas está no Anexo G da INI-C Dez/2022, de forma parcial, ou no site do PBE-EDIFICA, de forma completa).

$$FF = A_{env} / V_{tot} \quad (8)$$

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>);

$A_{env}$  é a área da envoltória (m<sup>2</sup>);

$V_{tot}$  é o volume total construído da edificação (m<sup>3</sup>).

O  $CRC_{EPD-A}$  varia, ainda, de acordo com a tipologia da edificação descrita pelas Tabelas do Anexo A, para os valores estabelecidos nas Tabelas 8.3 a 8.10, todas da INI-C. Essas Tabelas do Anexo A descrevem edificações de escritórios, educacionais, de hospedagem, assistenciais de saúde, de varejo e de alimentação. As tabelas 8.3 a 8.10 estabelecem, para cada uma dessas tipologias, o  $CRC_{EPD-A}$  em função da classificação climática e do fator de forma. A Tabela 2 apresenta, como exemplo, a Tabela 8.3 da INI-C, que estabelece o coeficiente para edificações de escritórios.

Tabela 2 - Edificações de escritórios: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A (CRCEPD-A), com base no fator de forma (FF) e Zona Bioclimática.

Classificação Climática	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a classificação A (CRCEPD-A)				
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	0,40 < FF ≤ 0,50	FF > 0,50
ZB 1	0,30	0,33	0,35	0,36	0,36
ZB 2	0,29		0,33	0,34	0,35
ZB 3	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36
ZB 4	0,29				0,35
ZB 5	0,30	0,33	0,35	0,36	0,36
ZB 6					
ZB 7	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35
ZB 8			0,34	0,35	

Fonte: INI-C (2022)

Os intervalos de classificação com base no percentual de redução do consumo de energia primária são definidos, então, a partir de uma variável “i”, determinada por meio da Equação 9. A escala de classificação de eficiência energética deve seguir os limites calculados conforme apresentado na Tabela 3.

$$i = (CRCEPD-A \cdot 100) / 3 \quad (9)$$

Onde:

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

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

Tabela 3 - Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral da edificação.

Classificação de Eficiência	RedCEP (%)				
	A	B	C	D	E
	RedCEP > 3i%	3i% ≥ RedCEP > 2i%	2i% ≥ RedCEP > i%	1i% ≥ RedCEP ≥ 0%	RedCEP < 0%

Fonte: INI-C (2022)

Com isso, determina-se a classificação geral da edificação por meio da comparação entre o percentual de redução de energia primária da edificação real e os intervalos calculados, identificando assim a classificação de eficiência energética geral. Há casos em que o valor de  $RedC_{EP}$  será negativo, o que significa que a condição real da edificação apresenta consumo de energia primária maior que sua condição de referência, que é classificada como D. Nesses casos, a classificação geral da edificação será E.

Vale ressaltar, também, que a INI-C estabelece critérios mínimos para cada um dos sistemas individuais, que devem ser atendidos para que a edificação seja elegível para a classificação A, ou seja, ainda que o  $RedC_{EP}$  se enquadre na classificação A, caso algum desses critérios não seja atendido, a classificação da edificação passa a ser no máximo B. Alguns dos critérios aplicáveis para a edificação utilizada como objeto de estudo deste trabalho estão mostrados na Tabela 4, os demais podem ser consultados no Capítulo 7 da NI-C.

Tabela 4 - Condições de elegibilidade para a classificação A. (Continua)

Sistema		Crerios
Condicionamento de ar	Condições específicas por equipamento	Para condicionadores de ar do tipo VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) com condensação a água que operam em refrigeração e aquecimento, de Capacidade $\geq 19$ kW e $< 40$ kW: $COP^{(1)} \geq 4,63$ W/W.
	Crerios específicos por sistema	Para sistemas centrais: possuir sistema de controle de temperatura por zona, sistema de desligamento automático, isolamento térmico de tubulações com fluxo de fluidos.
Iluminação	Contribuição da luz natural	Ambientes com aberturas voltadas ao exterior, átrio não coberto, ou de cobertura translúcida devem possuir controle instalado para acionamento independente das luminárias mais próximas das aberturas, aproveitando-se a iluminação natural disponível.

Tabela 4- Condições de elegibilidade para a classificação A. (Conclusão)

Sistema	Crítérios
Controle local	Cada ambiente fechado por paredes ou divisórias até o teto deve permitir o acionamento da iluminação interna do ambiente de forma independente.
Desligamento automático do sistema de iluminação	O sistema de iluminação interno dos ambientes maiores que 250 m <sup>2</sup> deve possuir dispositivo de controle automático para o desligamento da iluminação.

<sup>(1)</sup> Coeficiente de performance – COP (W/W) é a relação entre a capacidade de refrigeração ou aquecimento do sistema de condicionamento de ar e a potência elétrica necessária para seu funcionamento em plena carga.

Fonte: INI-C (2022)

Para determinação dos consumos energéticos utilizados nos cálculos citados nesta seção, A INI-C descreve dois métodos: o Método Simplificado e o Método de Simulação. Estes métodos serão apresentados a seguir, sendo o último o foco deste estudo.

### 2.4.3. MÉTODO SIMPLIFICADO

O método simplificado da INI-C é um dos dois métodos propostos pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (PBE EDIFICA, 2022). Ele é indicado para edificações com geometria simples e sistemas convencionais (PIMENTEL et al., 2021).

Em aspectos gerais, a análise dos sistemas (envoltória completa, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) pode ser descrita da seguinte maneira:

- i. Para avaliar o desempenho térmico da envoltória, utiliza-se um metamodelo baseado em redes neurais artificiais (RNA) que estima a carga térmica anual



de resfriamento da edificação, tanto na condição real quanto na condição de referência (PIMENTEL et al., 2021). O metamodelo está disponível em uma interface *web* (PBE EDIFICA, 2022) que requer o preenchimento de dados como a área e o volume da edificação, o grupo climático, o tipo de uso, a orientação solar, os coeficientes de transmissão térmica e de absorvância das paredes e coberturas, e as áreas envidraçadas e sombreadas (PIMENTEL et al., 2021).

- ii. Para avaliar o sistema de condicionamento de ar, utiliza-se outra interface *web* (PBE EDIFICA, 2022) que calcula o índice de desempenho do sistema (IDRS - Índice de Desempenho de Resfriamento Sazonal) e o coeficiente de performance de resfriamento sazonal (CSPF - *Cooling Seasonal Performance Factor*), que são indicadores da eficiência energética dos equipamentos de ar-condicionado (PIMENTEL et al., 2021). O IDRS é calculado com base na potência elétrica nominal do equipamento e na carga térmica anual de resfriamento da edificação. O CSPF é calculado com base no consumo elétrico anual do equipamento e na carga térmica anual de resfriamento da edificação (PIMENTEL et al., 2021).
- iii. Para avaliar o sistema de iluminação, estima-se o consumo anual de energia elétrica do sistema, considerando as potências instaladas, os fatores de demanda e as horas de uso dos circuitos terminais de iluminação, e divide-se esse consumo pela área útil da edificação, que é a soma das áreas internas ocupadas por pessoas ou equipamentos das zonas térmicas. O resultado dessa divisão é o consumo específico de energia elétrica do sistema, que é comparado com os limites estabelecidos na INI-C 2022 para cada tipo de uso da edificação e cada zona bioclimática. Esse método só é válido para edificações com sistemas de iluminação convencionais, que usam lâmpadas fluorescentes, incandescentes ou de descarga em alta pressão. Para sistemas que usam outras tecnologias, como LED ou fibra óptica, é necessário usar o método de simulação (BRASIL, 2022a, p. 18).
- iv. Para avaliar o sistema de aquecimento de água, é necessário: levantar dados de demanda diária de água quente, tipo e potência dos equipamentos, comprimento e diâmetro das tubulações, existência ou não de sistema de recirculação e de reservatório térmico, entre outros; calcular o consumo anual de energia primária do sistema de aquecimento de água da edificação,

considerando as perdas térmicas na tubulação, no sistema de recirculação e no reservatório, se houver. O PBE EDIFICA disponibiliza uma planilha eletrônica para auxiliar nesse cálculo (PBE EDIFICA, 2019) e calcular o consumo anual de energia primária do sistema de aquecimento de água de referência.

Após obter os indicadores de cada sistema, compara-se os valores reais com os valores de referência para determinar a classe de eficiência energética da edificação, que pode variar de A (mais eficiente) a E (menos eficiente) (PBE EDIFICA, 2022). A classe geral da edificação é obtida pela média ponderada das classes parciais dos sistemas avaliados (PBE EDIFICA, 2022).

#### **2.4.4. MÉTODO DE SIMULAÇÃO**

O método de simulação da INI-C, utilizado neste trabalho, consiste em utilizar *softwares* de simulação termoenergética de edificações para obter o consumo final de energia elétrica e térmica dos sistemas individuais da edificação (condicionamento de ar, iluminação e equipamentos instalados) e compará-lo com o consumo de uma edificação de referência, equivalente à classe D (PIMENTEL et al., 2021). O método de simulação é indicado para edificações com geometria complexa e sistemas inovadores (PIMENTEL et al., 2021), porém pode ser usado para avaliar qualquer edificação. Ele é obrigatório, no entanto, para as edificações que possuem aquecimento artificial, aberturas zenitais, bem como vidro em frente das paredes da fachada, fachadas ventiladas, ambientes de elevada geração de carga interna (a exemplo dos datacenters), dispositivos móveis de sombreamento interno automatizados, vidros com comportamento dinâmico a exemplo dos eletrocromicos ou outras soluções de desempenho inovadoras.

As simulações termoenergéticas geram, como dados de saída, o consumo final por uso dos sistemas individuais em energia elétrica, que são utilizados no cálculo do consumo de energia primária da condição real ( $C_{EP,real}$ ) e condição de referência ( $C_{EP,ref}$ ), para posterior classificação energética, conforme mostrado na Seção 3.4.2.

Alguns exemplos de programas computacionais que podem ser empregados na avaliação das cargas térmicas e do desempenho energético de edificações são:

- **EnergyPlus®**: trata-se de um *software* de simulação que integra diversos modelos físicos para avaliar a interação entre os vários sistemas da edificação, tais como envoltória, iluminação, ventilação, aquecimento e resfriamento (LABEEE, 2020; KRELLING et al., 2020; SILVA et al., 2016; SORGATO et al., 2016). É um *software* recomendado pela NBR 15575 e validado pela ASHRAE Standard 140 (LABEEE, 2020).
- **eQUEST**: trata-se de um *software* de simulação baseado no DOE-2, que permite a análise de consumo de energia, demanda de potência, conforto térmico e qualidade do ar em edificações comerciais e residenciais (SORGATO et al., 2016; CHANDEL; SARKAR, 2015).
- **Climate One Building**: trata-se de um site que disponibiliza arquivos climáticos para simulação de desempenho térmico e energético de edificações em diferentes localidades do mundo (LABEEE, 2020).

Contudo, a INI-C estabelece características mínimas que o programa de simulação deve possuir para ser utilizado na análise. De acordo com a INI-C, o programa computacional de simulação termoenergética deve possuir, no mínimo, as seguintes características, extraídas do texto da INI-C (2022, p. 106):

- a) Ser um programa para a análise do consumo de energia em edifícios;
- b) Ser validado pela ASHRAE Standard 140;
- c) Modelar 8.760 horas por ano;
- d) Modelar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural definidos, separadamente, para cada dia da semana e feriados;
- e) Modelar efeitos de inércia térmica;
- f) Modelar trocas de calor entre a edificação e o solo;
- g) Calcular cargas térmicas latente e sensível;
- h) Ser capaz de simular o sombreamento proveniente de elementos externos às zonas térmicas, como brises, sacadas e o entorno (quando considerado);
- i) Ser capaz de simular os efeitos da ventilação cruzada em um ambiente, ou entre dois ou mais 4 ambientes.
- j) Permitir a modelagem de multi-zonas térmicas;
- k) Ter capacidade de simular os efeitos das estratégias bioclimáticas adotadas no projeto;
- l) Caso a edificação proposta utilize sistema de condicionamento de ar, o programa deve permitir modelar todos os sistemas de condicionamento de ar presentes na edificação;
- m) Determinar a capacidade solicitada pelo sistema de condicionamento de ar;
- n) Calcular as horas não atendidas pelo sistema de condicionamento de ar;

- o) Calcular as curvas de desempenho de carga parcial para o sistema de condicionamento de ar;
- p) Calcular as curvas de correção de capacidade e eficiência para o sistema de aquecimento e refrigeração;
- q) Caso a edificação proposta utilize ventilação natural, o programa deve permitir modelar os dados de entrada referentes ao funcionamento da ventilação natural na edificação; e
- r) Produzir relatórios horários do uso final de energia.

#### **2.4.4.1. PROCEDIMENTO PARA A SIMULAÇÃO TERMOENERGÉTICA**

No método de simulação, a edificação deve ser avaliada sob sua condição real, com as características reais da edificação, e sob sua condição de referência, cujas características são listadas nas tabelas do Anexo A da INI-C, que variam conforme tipologia avaliada.

Para realizar a simulação termoenergética, é preciso definir o escopo da simulação, que pode ser parcial ou total, conforme o tipo de edificação e o nível de detalhamento desejado. O escopo parcial abrange apenas uma parte da edificação ou um uso final específico (iluminação ou condicionamento de ar), enquanto o escopo total abrange toda a edificação e todos os usos finais. O nível de detalhamento pode ser simplificado ou detalhado, conforme o grau de precisão dos dados de entrada e dos resultados da simulação.

Em seguida, é preciso escolher o *software* de simulação, que deve atender aos requisitos mínimos citados anteriormente. A INI-C 2022 apresenta uma lista de *softwares* reconhecidos pelo INMETRO para a realização da simulação termoenergética, como o EnergyPlus®, o TRNSYS, o *DesignBuilder* e o Enerwin.

Depois, é preciso modelar geometricamente a edificação real e a edificação de referência, que devem ter as mesmas dimensões, orientação e localização. A modelagem geométrica deve representar fielmente a forma, a divisão interna e a envoltória das edificações. A edificação real é aquela que se deseja avaliar o desempenho térmico e energético, tendo suas características construtivas e seus sistemas de condicionamento de ar e iluminação definidos pelo projetista ou pelo proprietário. A edificação de referência é aquela que representa uma edificação

padrão com as mesmas condições da edificação real, mas com características construtivas e sistemas definidos pela INI-C.

Em seguida, é preciso definir os parâmetros de entrada da simulação, discriminados na Tabela 5, que incluem os dados climáticos do local da edificação, os coeficientes de transmissão térmica e absorvância das envoltórias, os fatores de iluminação natural e artificial, os equipamentos e cargas internas, e os horários e taxas de ocupação e ventilação. Eles devem ser os mesmos para a edificação real e para a edificação de referência, exceto nos casos em que a INI-C define valores específicos para a edificação de referência.

Tabela 5 - Parâmetros de entrada da simulação termoenergética.(Continua)

<p>Dados de entrada</p> <p>Descrição</p> <p>Fontes e normas utilizadas</p>	<p>Transmitância (<math>W/(m^2.K)</math>), absorvância (adimensional) e capacidade térmica (<math>kJ/(m^2.K)</math>) das envoltórias.</p> <p>São características térmicas que dependem dos materiais e técnicas construtivas utilizados na edificação.</p> <p>Os materiais e técnicas construtivas podem ser retirados dos projetos e memoriais descritivos da edificação. As características térmicas para os materiais podem ser consultadas na NBR 15220 – Desempenho térmico de edificações, nos catálogos de propriedades térmicas disponibilizados pelo CB3E, ou qualquer documento que possua classificação de propriedades térmicas de determinado material a partir de medições em laboratório.</p>
<p>Dados de entrada</p> <p>Descrição</p> <p>Fontes e normas utilizadas</p>	<p>Densidade de potência de iluminação (<math>W/m^2</math>), ocupação (<math>m^2/pessoa</math>), densidade de potência de equipamentos (<math>W/m^2</math>), horas de ocupação, dias de ocupação (<math>N_{ano}</math>)</p> <p>São características referentes ao consumo de iluminação e equipamentos em cada ambiente, em função dos usos aos quais eles se destinam.</p> <p>As características de uso do ambiente, sistemas de iluminação e uso de equipamentos podem ser obtidas a partir dos projetos e memoriais descritivos da edificação. As características de consumo energético dos sistemas são obtidas através de catálogos de fabricantes.</p>

Tabela 5 - Parâmetros de entrada da simulação termoenergética.(Conclusão)

Dados de entrada	<p>Dados climáticos da cidade onde a edificação está localizada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de bulbo seco (°C);</li> <li>- Temperatura do ponto de orvalho (°C); <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umidade relativa (%);</li> <li>- Pressão atmosférica (Pa);</li> </ul> </li> <li>- Intensidade de radiação horizontal de onda longa (Wh/m<sup>2</sup>); <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiação horizontal global (Wh/m<sup>2</sup>);</li> <li>- Radiação normal direta (Wh/m<sup>2</sup>);</li> <li>- Radiação horizontal difusa (Wh/m<sup>2</sup>);</li> </ul> </li> <li>- Direção do vento (°), considerando o sentido horário a partir da direção Norte;</li> <li>- Velocidade do vento (m/s).</li> </ul>
Descrição	<p>São características do local onde está a edificação, que influenciam nas condições térmicas e de iluminação da edificação ao longo de seu uso.</p>
Fontes e normas utilizadas	<p>Esses dados são obtidos a partir dos arquivos climáticos disponibilizados pelo PBE-Edifica, por meio do endereço: &lt;<a href="http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos">http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos</a>&gt;.</p>

Fonte: Autores (2023); INI-C (2022)

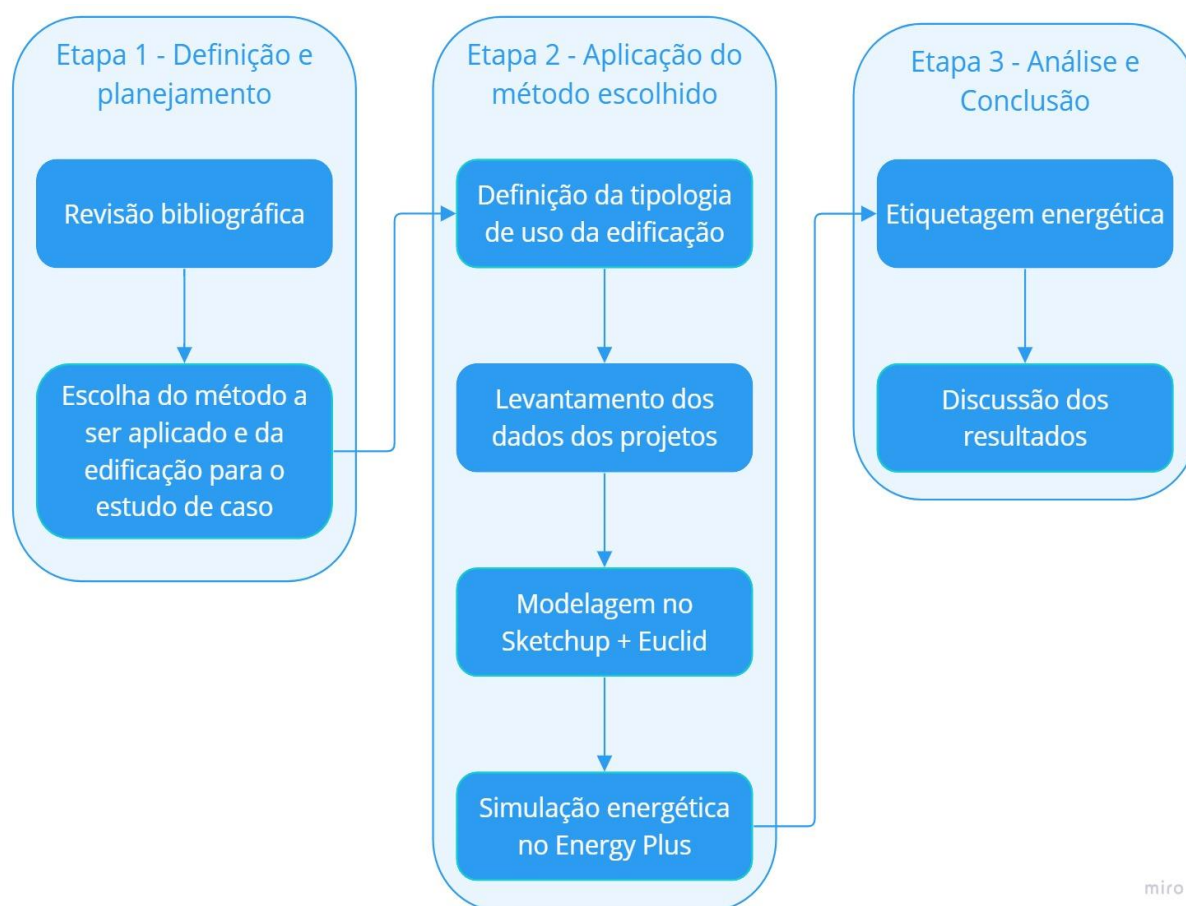
Após a definição dos parâmetros de entrada, é preciso executar a simulação termoenergética para a edificação real e para a edificação de referência, utilizando o mesmo *software* e os mesmos parâmetros de entrada. A simulação deve ser realizada para um período de um ano, considerando as variações sazonais do clima e do uso da edificação, os efeitos da inércia térmica, da ventilação natural, do sombreamento, da radiação solar, da iluminação natural e artificial, e dos sistemas de condicionamento de ar e iluminação.

A revisão bibliográfica sobre a eficiência energética em edificações e os procedimentos do manual da INI-C, apresentados até aqui, serviram de base para o desenvolvimento dos próximos capítulos, que se aprofundam no estudo de caso deste trabalho.

### 3. METODOLOGIA

O presente capítulo traz um detalhamento da metodologia adotada neste trabalho, para avaliação da eficiência energética de uma edificação pelo método de simulação. Ela aborda desde a escolha do método e da edificação a serem estudados, passando pela aplicação do método na edificação, até a obtenção e análise dos resultados. A abordagem metodológica deste trabalho está representada, de forma simplificada, na Figura 9.

Figura 9 - Estrutura metodológica simplificada deste estudo de caso.



Fonte: Autores (2023).

#### 3.1. ETAPA 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi realizada a fim de se obter um embasamento teórico sobre a eficiência energética em edificações e a etiquetagem energética como ferramenta de análise de tal eficiência. Para tanto, contextualizou-se a eficiência energética no

cenário mundial e nacional, sua evolução histórica nos quesitos políticas públicas, legislações e programas, entidades envolvidas, impactos econômicos etc. Posteriormente, abordou-se a eficiência energética em edificações e sua etiquetagem a partir da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C, versão de dezembro de 2022. O trabalho focou na classificação da eficiência energética pelo método de simulação da INI-C, para aplicá-lo a uma edificação comercial localizada em Vitória - ES.

### **3.2. ETAPA 1: ESCOLHA DO MÉTODO A SER APLICADO E DA EDIFICAÇÃO PARA O ESTUDO DE CASO**

Segundo a revisão bibliográfica, a INI-C é a instrução mais atual para etiquetagem de eficiência energética de edificações comerciais, de serviços ou públicas, sendo este o motivo de sua escolha para o estudo de caso da classificação da eficiência energética de uma edificação comercial. Dentre os dois métodos utilizados para tal classificação na INI-C, método simplificado e método de simulação, foi escolhido o método de simulação.

A edificação escolhida foi a da sede do CREA-ES, que apresenta uma certificação de sustentabilidade, LEED nível *GOLD*, o que pode enriquecer discussões futuras que correlacionem a INI-C com outras certificações ligadas à eficiência energética e sustentabilidade das edificações.

### **3.3. ETAPA 2: APLICAÇÃO DO MÉTODO ESCOLHIDO**

O método de simulação, como explicado na seção 2.4.4, consiste na utilização de *softwares* de simulação termoenergética de edificações para obtenção do consumo final de energia elétrica e térmica da edificação real e de referência e posterior comparação entre elas para etiquetagem.

Para tanto, seguiu-se as etapas:

- i. definição do escopo da simulação, que no caso deste trabalho serão analisados todos os sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar), excluindo-se o de aquecimento de água por ele não existir na edificação;



- ii. escolha do *software* para modelagem geométrica da edificação e para simulação energética. Neste trabalho, foi utilizado o SketchUp® Pro 2023, com o *plugin* Euclid® v23.1.0, para modelagem geométrica e o Energy Plus v23.1.0 para simulação energética. Eles foram escolhidos por atenderem aos requisitos mínimos estabelecidos pela INI-C, serem fáceis de se obter e serem amplamente utilizados em pesquisas correlatas;
- iii. determinação da tipologia de uso da edificação, podendo ser de escritórios, educacional, de hospedagem, assistencial de saúde, de varejo e de alimentação;
- iv. levantamento de dados de projeto, das características construtivas e dos sistemas da edificação real e de referência, sendo esta última caracterizada conforme INI-C, a partir da tipologia de uso determinada anteriormente, para modelagem da edificação na condição real e de referência;
- v. adição dos dados e parâmetros pertinentes à simulação energética no Energy Plus, simulação energética e obtenção da carga térmica total;
- vi. classificação da edificação com uma etiqueta energética, conforme metodologia da INI-C.

As etapas de iii a vii, descritas anteriormente, serão explicadas de forma mais detalhada nas seções a seguir.

### **3.3.1. DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA DE USO DA EDIFICAÇÃO**

A determinação da tipologia de uso da edificação é crucial para nortear a caracterização da edificação a ser simulada na condição de referência, visto que os parâmetros da modelagem da edificação nesta condição são definidos por tipologias, em função da condição real.

O Anexo A da INI-C traz tabelas que apresentam os valores dos parâmetros da edificação para a composição da condição de referência conforme as seguintes tipologias:

- a. Edificações de escritório;
- b. Edificações educacionais: ensino médio, fundamental e superior;
- c. Edificações de hospedagem: pequenas, médias e grandes;
- d. Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), exceto hospitais;

- e. Edificações de varejo: lojas, lojas de departamento e shopping center;
- f. Edificações de varejo: mercados;
- g. Edificações de alimentação: restaurantes e praças de alimentação.

Vale ressaltar que, caso a edificação não se enquadre em nenhuma das tipologias citadas acima, adotam-se valores genéricos presentes na tabela A.8 do Anexo A da INI-C e, caso a edificação se enquadre em mais de uma tipologia, a depender dos seus setores e/ou usos, avalia-se separadamente cada uma delas, somando-se ao final os seus consumos resultantes. O estudo de caso em questão se enquadra como Edificação de Escritório.

### **3.3.2. LEVANTAMENTO DOS DADOS DOS PROJETOS**

O levantamento de dados foi feito a partir dos projetos e informações disponibilizados pelo Crea-ES, da consulta aos estudos realizados por LAHASS e VELASCO (2022), que analisou a eficiência energética do mesmo edifício pelo método simplificado da INI-C, de literaturas de apoio e da própria INI-C.

O estudo utilizou informações sobre os três sistemas (envoltória, iluminação e condicionamento de ar) e dados gerais da edificação. Dentre os projetos e dados utilizados, pode-se ressaltar:

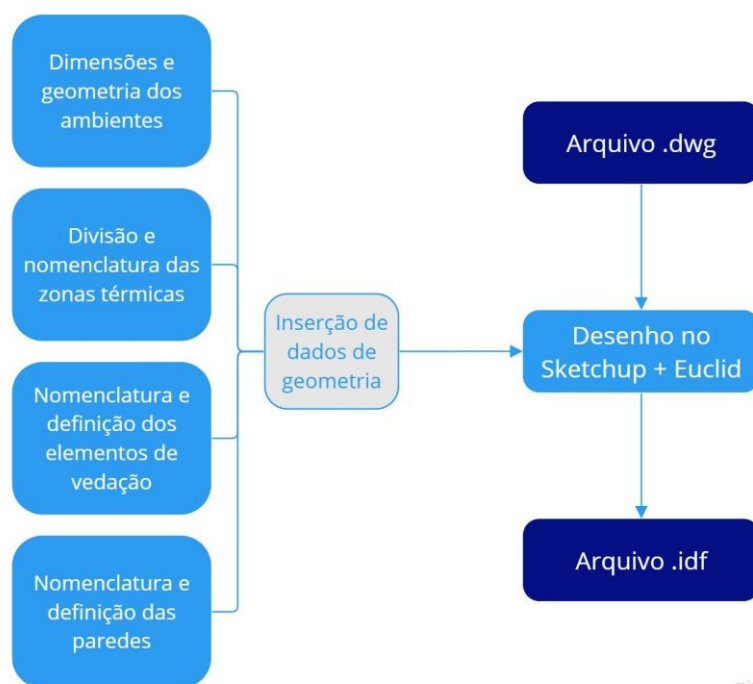
- i. Projetos arquitetônicos, com informações de geometria da edificação, dimensões dos ambientes, aberturas de esquadrias, algumas informações construtivas etc.;
- ii. Memorial descritivo, com as demais características construtivas do edifício;
- iii. padrão de uso por pessoa, como quantidade de usuários e horários de utilização por ambiente;
- iv. consumos de iluminação e de equipamentos;
- v. dados climáticos do município de Vitória/ES;
- vi. propriedades térmicas dos materiais de construção.

Os projetos obtidos para análise datam de 2012 e, visto que alguns espaços são destinados a locação, cujo uso e configuração dependem do locatário final, e outros já foram modificados, não representando mais a realidade atual, foram feitas algumas simplificações para modelagem, que serão discriminadas ao longo do Capítulo 5, destinado à apresentação do estudo de caso.

### 3.3.3. MODELAGEM NO SKETCHUP® + EUCLID®

Os modelos real e de referência da edificação foram elaborados no SketchUp® Pro 2023, com auxílio do *plugin* Euclid® v23.1.0. Inicialmente o edifício foi desenhado no SketchUp® Pro 2023, a partir dos projetos arquitetônicos fornecidos em arquivo “.dwg”, elaborados no *software* AutoCad®. Depois foram divididas as zonas térmicas, modeladas as superfícies, aberturas e grupos de sombreamento. Feito isto, gerou-se um arquivo “.idf”, que pode ser exportado para o EnergyPlus® v23.1.0. A Figura 10 apresenta um fluxograma que ilustra o processo descrito.

Figura 10 - Fluxograma da elaboração do arquivo na extensão “.idf”, compatível com o EnergyPlus® v23.1.0.

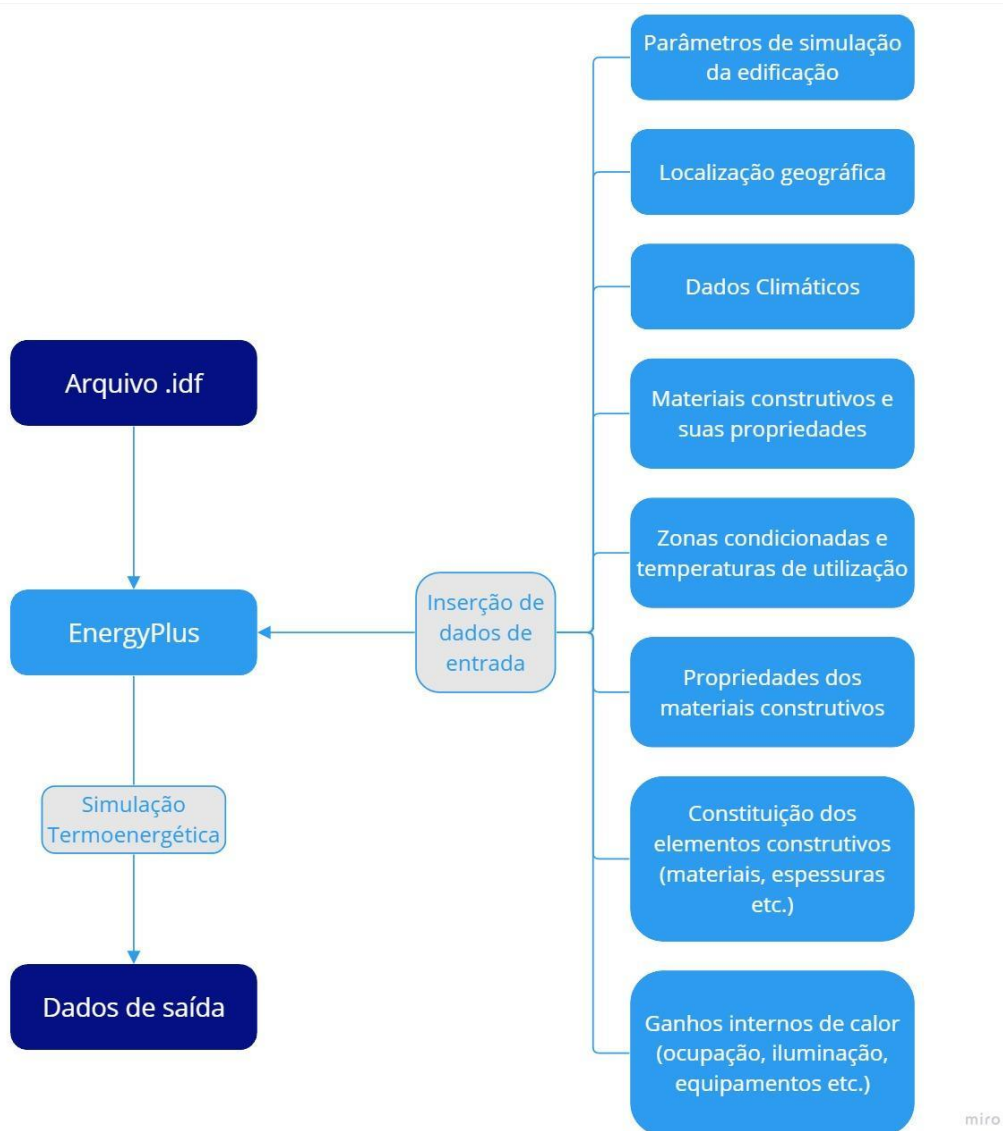


Fonte: Autores.

### 3.3.4. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA NO ENERGY PLUS®

O arquivo “.idf”, com a edificação modelada, foi aberto no *software* EnergyPlus® v23.1.0, onde foram adicionados os dados de localização geográfica, dados climáticos, propriedades dos materiais construtivos, zonas condicionadas e suas temperaturas de utilização, dados de iluminação e equipamentos, fatores de ocupação. A Figura 11 apresenta um fluxograma que ilustra o processo descrito.

Figura 11 - Fluxograma de adição de dados de entrada para simulação energética no EnergyPlus® v23.1.0.



Fonte: Autores (2023).

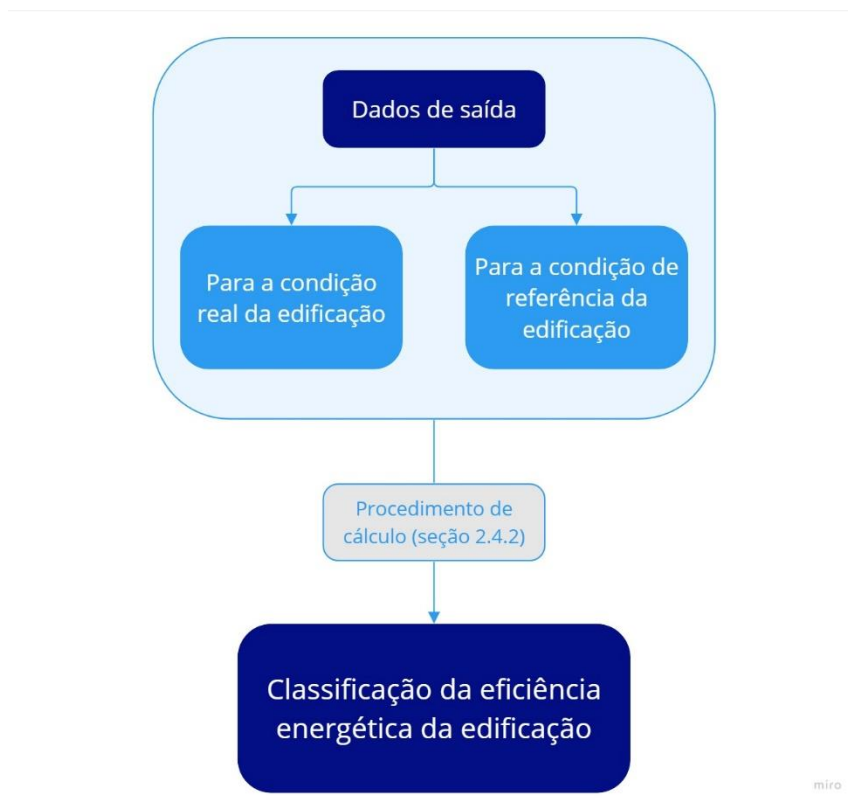
O *software* retornou como dado de saída a carga térmica da edificação, tanto para a condição real quanto para a de referência.

### 3.4. ETAPA 3: AVALIAÇÃO E ETIQUETAGEM ENERGÉTICA

A partir da carga térmica da edificação, gerada como dado de saída da simulação, determinou-se a classificação energética da edificação. Para tanto, utilizou-se o

procedimento descrito na seção 2.4.2 deste trabalho. A Figura 12 apresenta um fluxograma que ilustra esse processo.

Figura 12 - Fluxograma de classificação energética da edificação a partir dos dados de saída da simulação termoenergética.

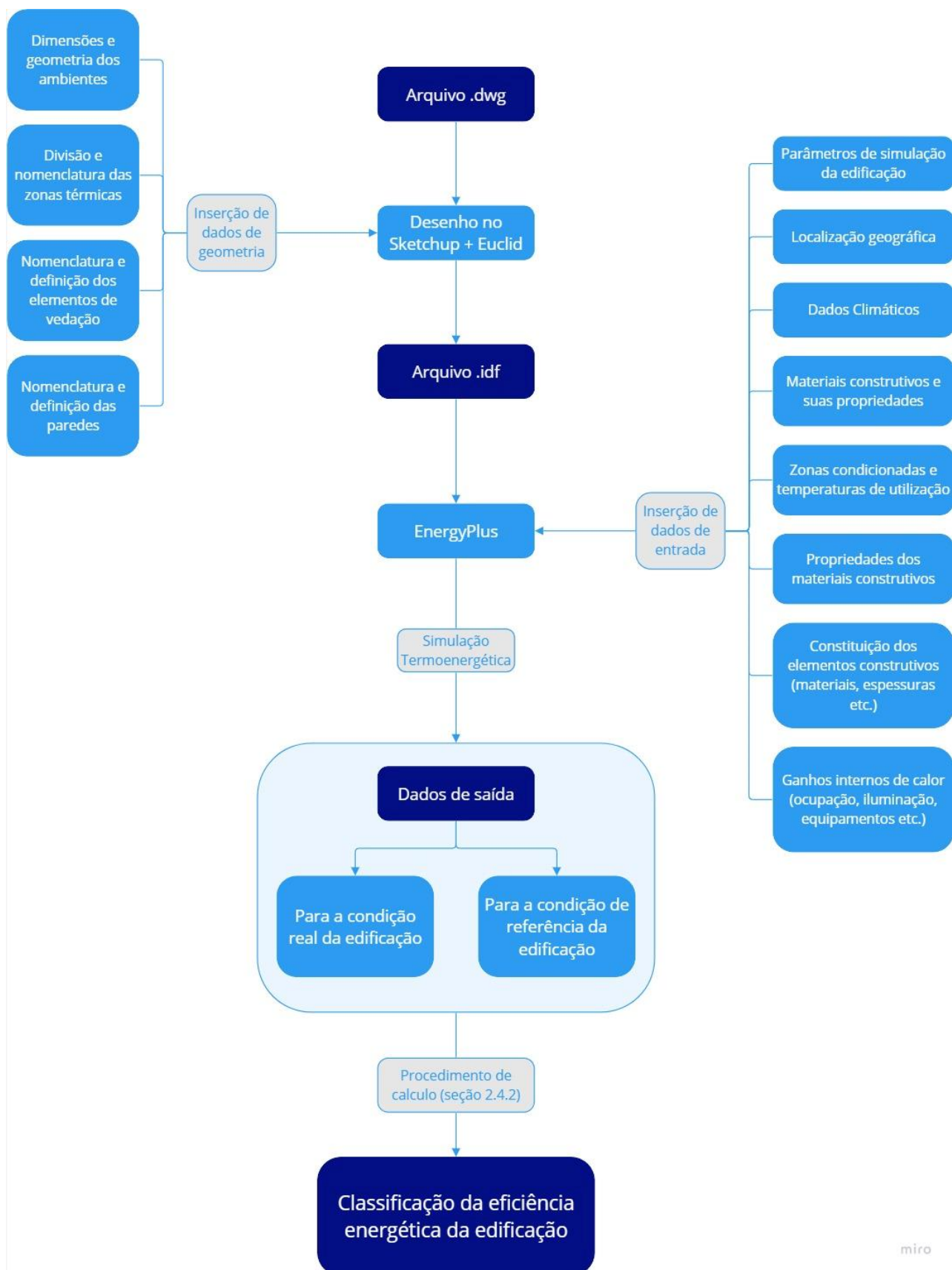


Fonte: Autores (2023).

### 3.5. FLUXOGRAMA GERAL (MODELAGEM, SIMULAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO)

Os procedimentos de modelagem da edificação no SketchUp® Pro 2023 + Euclid® v23.1.0, simulação termoenergética no EnergyPlus® v23.1.0 e classificação da eficiência energética da edificação, com atribuição de um nível de eficiência entre A e E, descritos nas seções 3.3.3 a 3.4, estão representados, de forma completa, na Figura 13.

Figura 13 - Fluxograma geral dos procedimentos de modelagem à classificação energética.



Fonte: Autores (2023).

## 4. ESTUDO DE CASO

Este capítulo destina-se ao detalhamento de todo o estudo de caso, abordando desde a apresentação da edificação escolhida até a sua classificação da eficiência energética pelo método de simulação.

### 4.1. EDIFICAÇÃO OBJETO DE ESTUDO

A edificação escolhida para o estudo de caso foi a sede do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Espírito Santo (Crea-ES), que é de uso comercial, localizada na Rua Izidro Benezath, nº 48, Enseada do Suá, Vitória-ES. As Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17 mostram, respectivamente, a localização do edifício, a fachada, detalhes da fachada e vista da cobertura.

Figura 14 - Mapa com localização da edificação.



Fonte: Adaptado do Google maps.

Figura 15 - Fachada do edifício.



Fonte: Lahass e Velasco (2022)

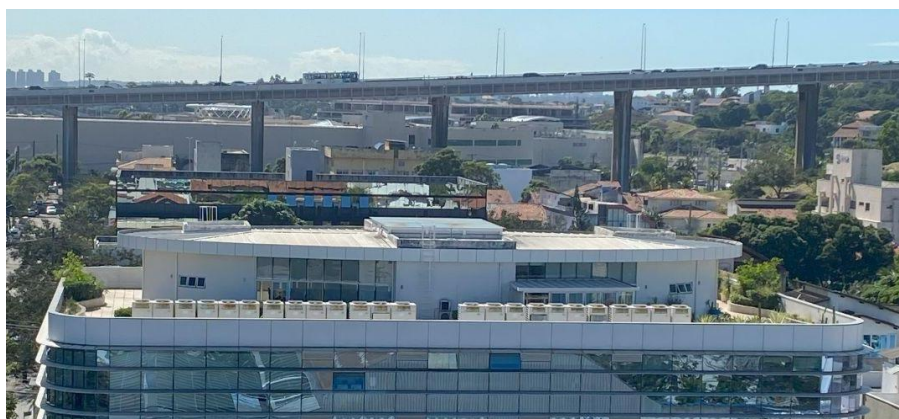


Figura 16 - Detalhes da fachada do edifício - Brises.



Fonte: Autores (2023).

Figura 17 - Vista da cobertura da edificação.



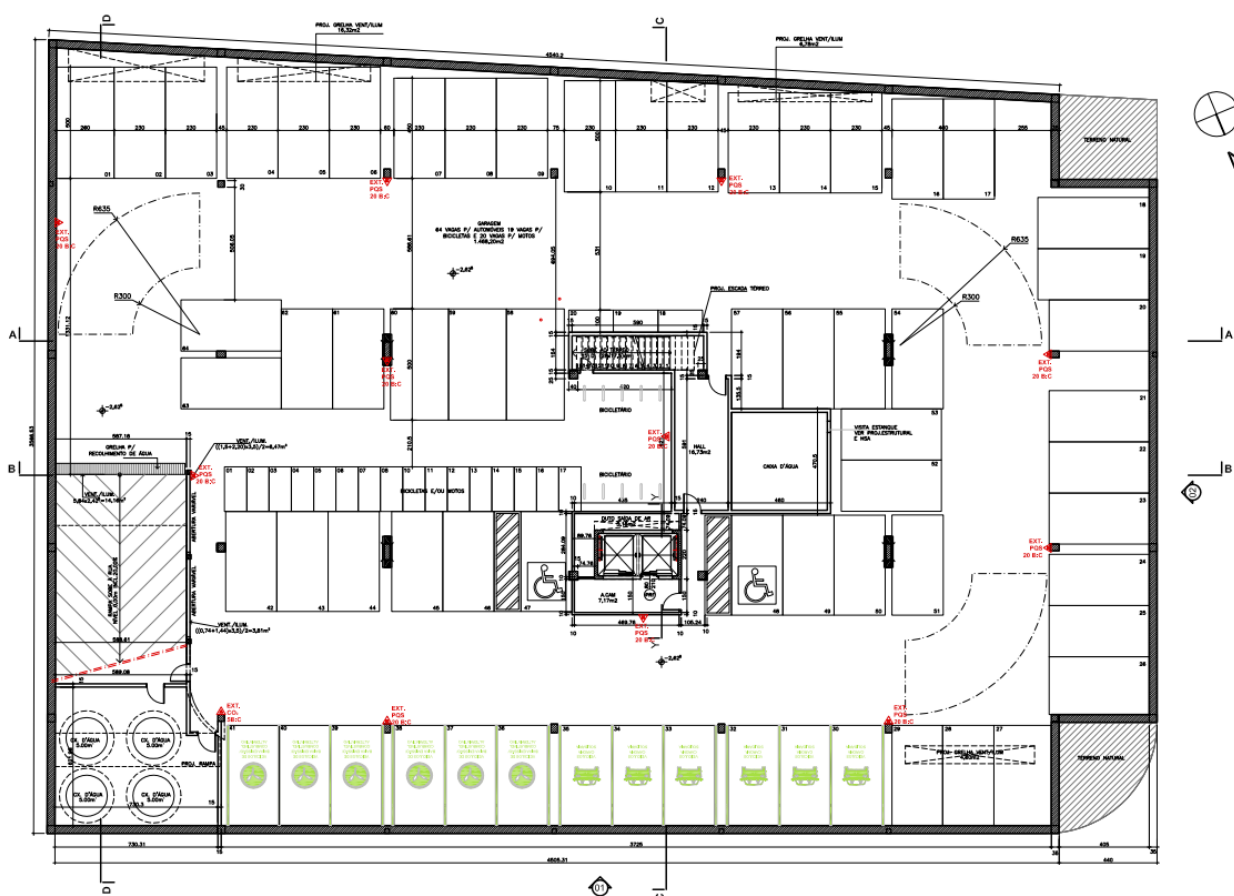
Fonte: Autores (2023).

O edifício do Crea-ES foi construído em 2013, com área construída total de 6098 m<sup>2</sup> e área útil computável total de 3731 m<sup>2</sup>. Ele é acessível para pessoas com deficiências (PcD) em todos os pavimentos e possui 02 elevadores panorâmicos voltados para o átrio central do edifício. Ele é composto por 05 pavimentos, sendo 01 subsolo, 01

térreo, 03 pavimentos tipo comerciais e 01 cobertura. As plantas do projeto arquitetônico da edificação podem ser visualizadas no Anexo A - Projeto Arquitetônico. A seguir, segue detalhamento fornecido pelo Crea-ES acerca das características construtivas e de uso de cada área, organizado por pavimento.

- Subsolo (*Layout* representado na Figura 18 e detalhamento na Tabela 6):

Figura 18 - *Layout* do pavimento subsolo.



Fonte: Crea-ES (2022).

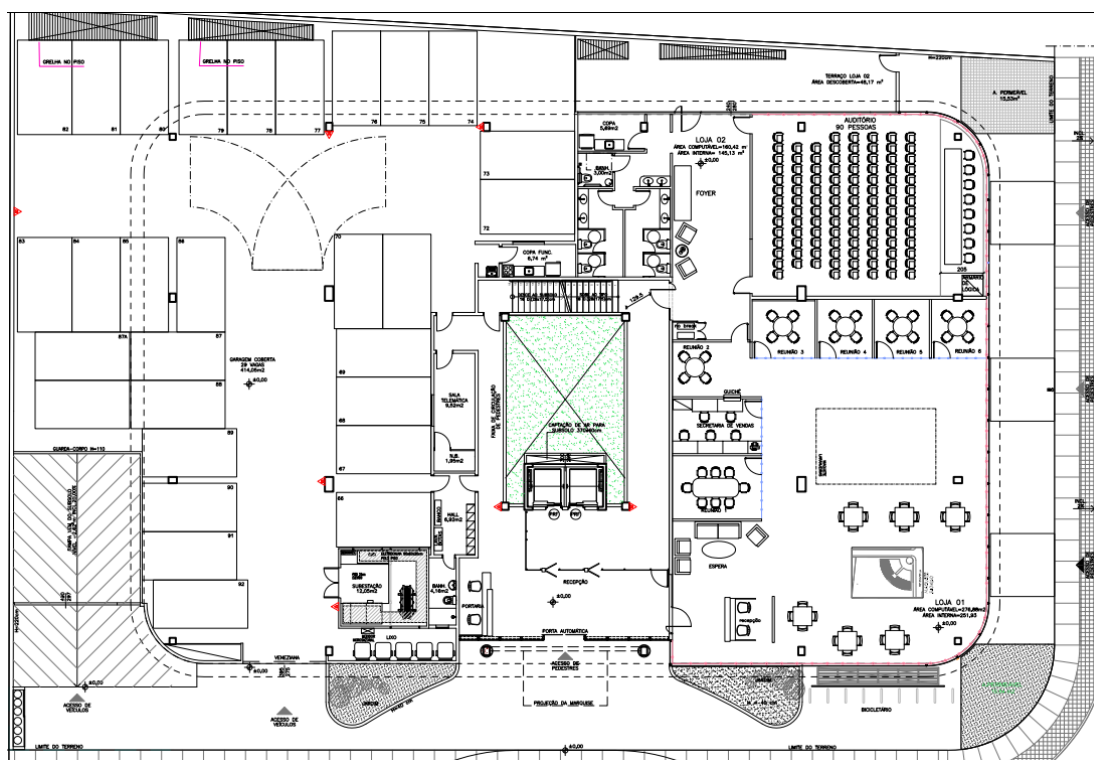
Tabela 6 - Detalhamento do pavimento subsolo.

Destinação/Uso	Área (m <sup>2</sup> )	Observações
Arquivo	26,67	
Estacionamento 2	662,40	64 vagas para automóveis, 20 vagas para motos e bicicletário para 19 bicicletas.

Fonte: Crea-ES (2022).

- Térreo (*Layout* representado na Figura 19 e detalhamento na Tabela 7):

Figura 19 - *Layout* do pavimento térreo.



Fonte: Crea-ES (2022).

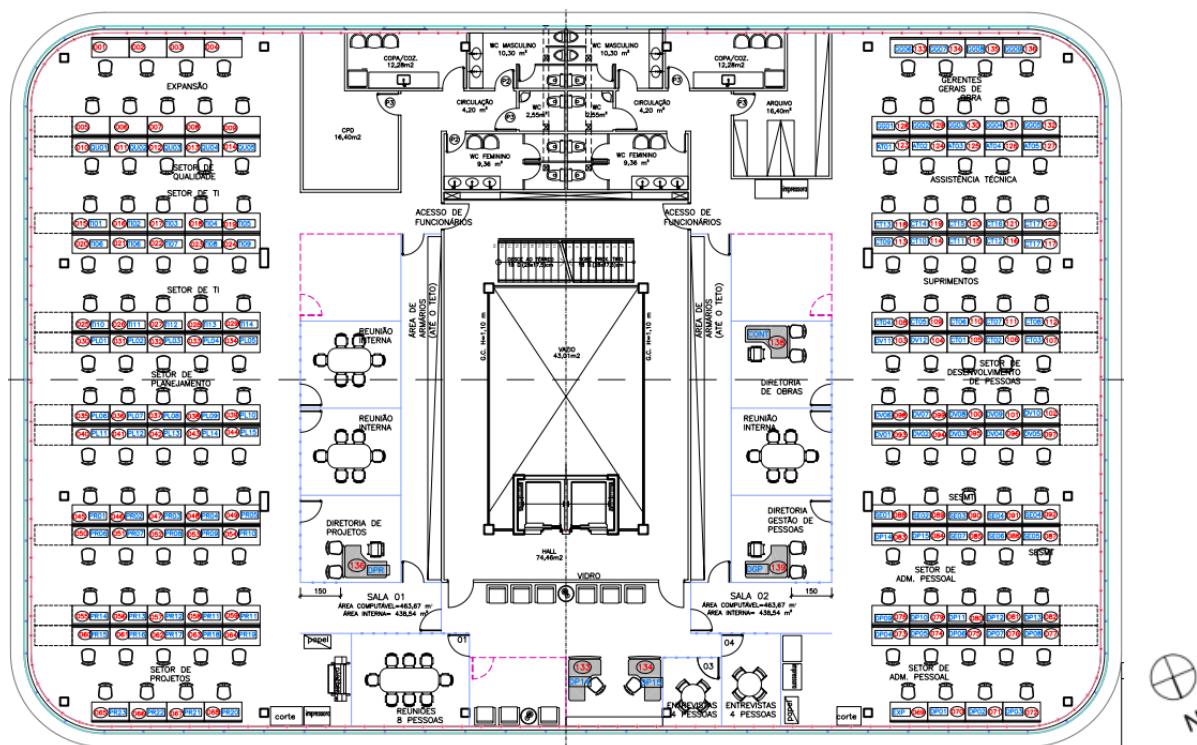
Tabela 7 - Detalhamento do pavimento térreo.

Destinação/Use	Área (m <sup>2</sup> )	Observações
Apoio Condomínio (Copa, Sala Telemática, Vestiário e Banheiro)	29,29	
Hall de entrada, Recepção Geral, Circulação e Jardim Interno	133,77	Hall de entrada servido por porte-cochère coberto. Porta de acesso ao edifício com abertura automática por sensor de presença.
Loja (Atendimento ao Público)	251,93	Acesso direto a partir do hall de entrada do edifício.
Auditório com Foyer, Copa, Lavabos e Banheiros	165,48	Auditório com capacidade máxima para 108 pessoas. Um banheiro masculino, um banheiro feminino e um banheiro PNE.
Terraço da Loja (área descoberta)	48,17	Parte utilizada como área técnica para condensadoras de ar condicionado.
Subestação	12,05	
Estacionamento 1	289,52	28 vagas para automóveis e 10 vagas externas para bicicletas.

Fonte: Crea-ES (2022).

- Pavimentos tipo (*Layout* representado na Figura 20 e detalhamento na Tabela 8):

Figura 20 - *Layout* do pavimento tipo.



Fonte: Crea-ES (2022)

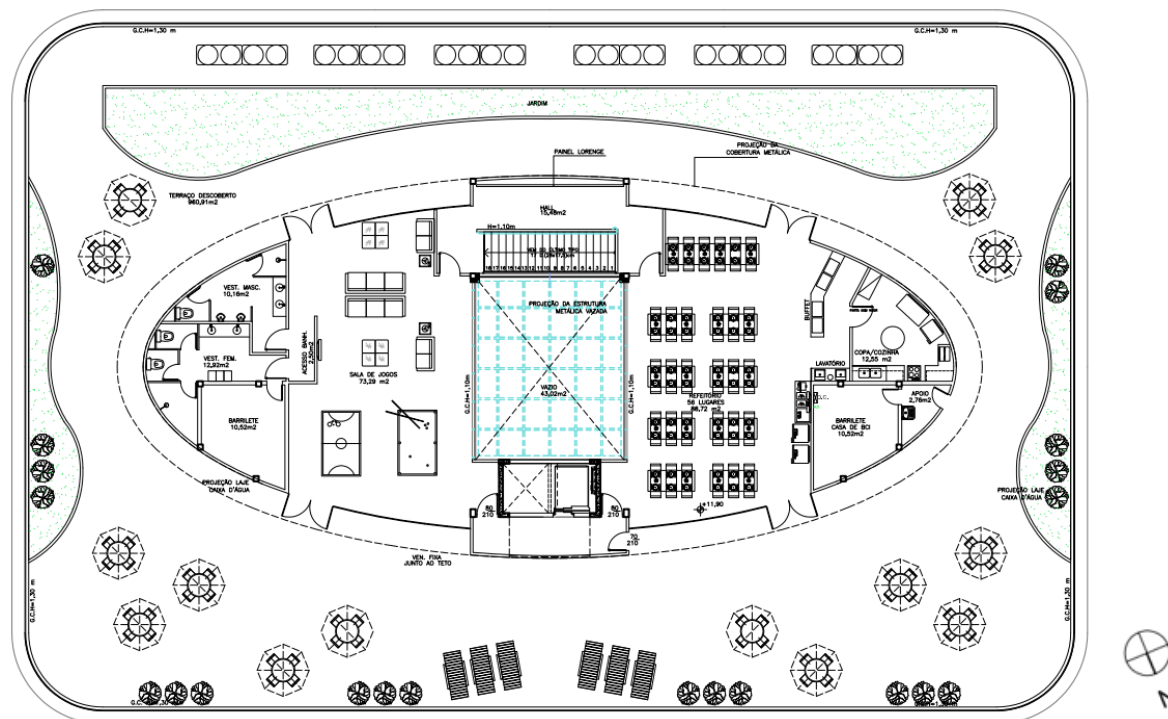
Tabela 8 - Detalhamento dos pavimentos tipo.

Destinação/Use	Área por pavimento (m <sup>2</sup> )	Observações
Salas (excluindo copas e banheiros)	877,08	Duas salas por pavimento.
Copas	24,56	Duas salas por pavimento.
Banheiros	44,42	Dois banheiros femininos, dois banheiros masculinos e dois banheiros PNE por pavimento.
Circulação dos banheiros e copas	8,4	Auditório com capacidade máxima para 108 pessoas. Um banheiro masculino, um banheiro feminino e um banheiro PNE.
Terraço da Loja (área descoberta)	48,17	Parte utilizada como área técnica para condensadoras de ar condicionado.
Hall e Circulação das salas	74,46	

Fonte: Crea-ES (2022).

- Cobertura (*Layout* representado na Figura 21 e detalhamento na Tabela 9):

Figura 21 - *Layout* da cobertura.



Fonte: Crea-ES (2022).

Tabela 9 - Detalhamento da cobertura.

Destinação/Uso	Área (m <sup>2</sup> )	Observações
Hall de acesso	15,48	
Refeitório e Buffet	88,72	Equipado com Buffet com aquecimento elétrico, buffet para frios, mesas e cadeiras para 54 pessoas.
Copa/Cozinha	12,55	Cozinha montada e equipada com fogão e forno industrial, exaustão, refrigerador, lavadora de louças e bancadas de aço inox.
Área de Lazer coberta	73,29	
Vestiários	23,08	
Terraço Descoberto (Jardins, Área de Lazer e Área Técnica)	960,91	

Fonte: Crea-ES (2022).

O edifício em questão, que inicialmente sediava a empresa Lorenge SA e, após 2017, passou a ser a sede do Crea-ES, possui Certificação de Sustentabilidade LEED

(*Leadership in Energy and Environmental Design*) nível *GOLD* da *U.S. Green Building Council* (USGBC).

A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um sistema internacional de avaliação e reconhecimento de edifícios sustentáveis, desenvolvido pelo USGBC (*United States Green Building Council*) em 1993 (GBC BRASIL, 2023). O objetivo da certificação é promover e incentivar práticas de construção que reduzam os impactos ambientais, melhorem a eficiência energética e a qualidade do ambiente interno, além de trazer benefícios econômicos e sociais para os usuários e a comunidade (CTE, 2019).

Devido à edificação possuir tal classificação, espera-se que ela apresente alto nível de eficiência energética. As próximas seções destinam-se a apresentar a aplicação do método de simulação na edificação para que, posteriormente, possa-se classificá-la.

#### **4.2. DEFINIÇÃO DA TIPOLOGIA DE USO**

Conforme mostrado no detalhamento da edificação na seção anterior, a edificação é de finalidade comercial, sendo composta, basicamente, por salas comerciais, estacionamento, banheiros, recepção, auditórios, copas e áreas de circulação. Desta forma, conforme tipologias de uso apresentadas no Anexo-A da INI-C, a edificação em questão se enquadra na tipologia “Edificações de escritório”.

#### **4.3. ZONAS TÉRMICAS**

De acordo com o texto da INI-C, uma zona térmica é um espaço ou grupo de espaços dentro de um edifício que tenham densidade de cargas térmicas internas (pessoas, equipamentos e iluminação) semelhantes, mantendo-se, assim, as condições de temperatura homogêneas. A seguir, será apresentada a definição das zonas térmicas, por pavimento, bem com as considerações e/ou simplificações utilizadas para tal definição.

### 4.3.1. SUBSOLO

Para definição das zonas térmicas do subsolo, considerou-se todo o contorno do piso e paredes como adiabáticos, sendo, portanto, desconsideradas as trocas de calor desses ambientes.

O subsolo foi considerado como uma grande zona térmica. Contudo, houve necessidade de dividi-lo em 4 partes, pois a zona térmica que representa o vão do elevador se encontra numa posição central do subsolo, o que impede que a área deste último seja considerada como uma zona inteira. A zona térmica do vão do elevador vai da cota do subsolo à cota da cobertura e, por isso, estará presente na representação de todos os pavimentos.

A definição das zonas térmicas do subsolo é mostrada na Figura 22.

Figura 22 - Zonas térmicas do subsolo.

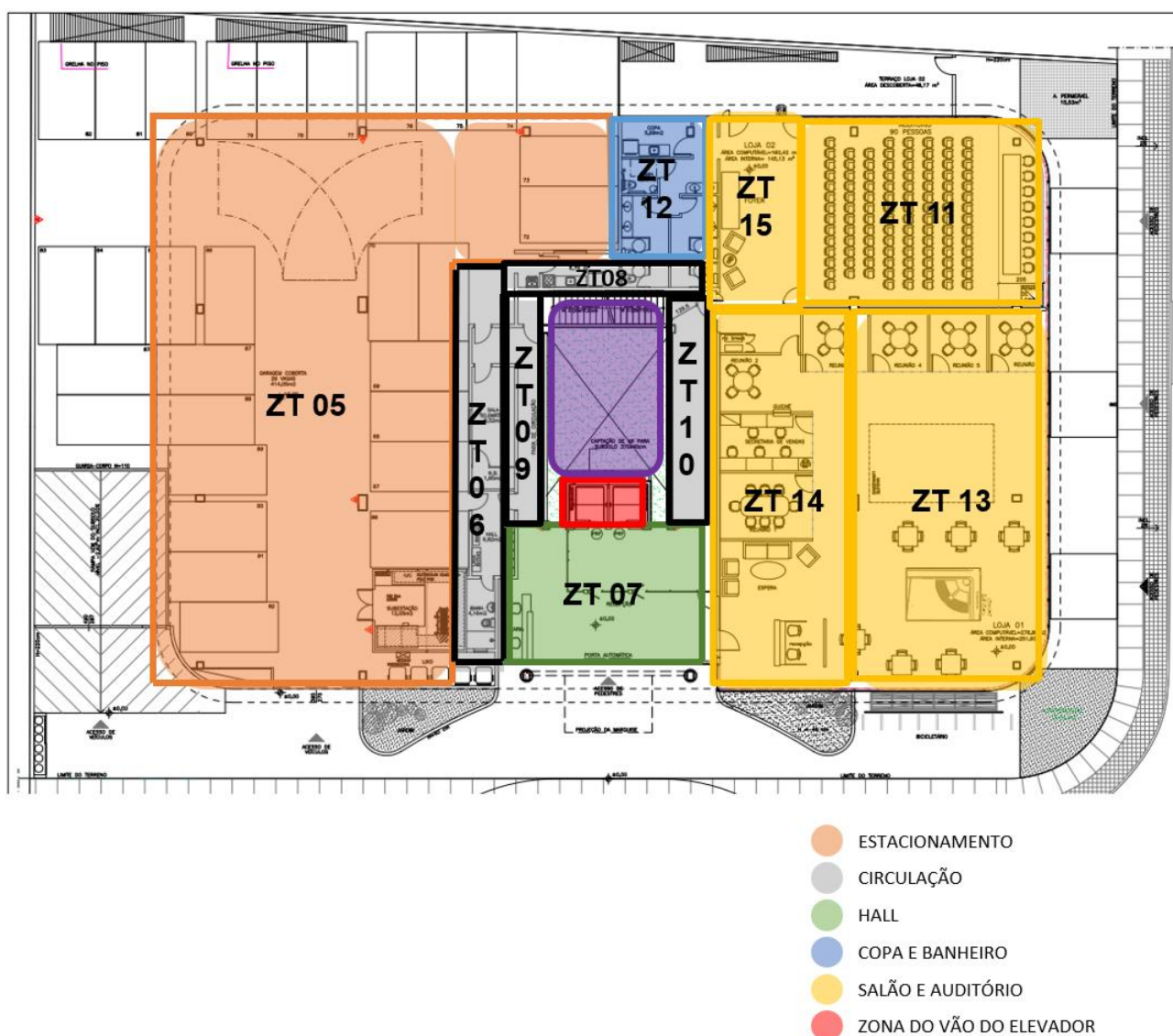


Fonte: Autores (2023).

### 4.3.2. TÉRREO

A partir do térreo até a cobertura, considerou-se o átrio da escada como uma única zona térmica, que também estará presente na representação dos próximos pavimentos. A definição das zonas térmicas do subsolo é mostrada na Figura 23.

Figura 23 - Zonas térmicas do pavimento térreo.



Fonte: Autores (2023).

### 4.3.3. PAVIMENTO TIPO

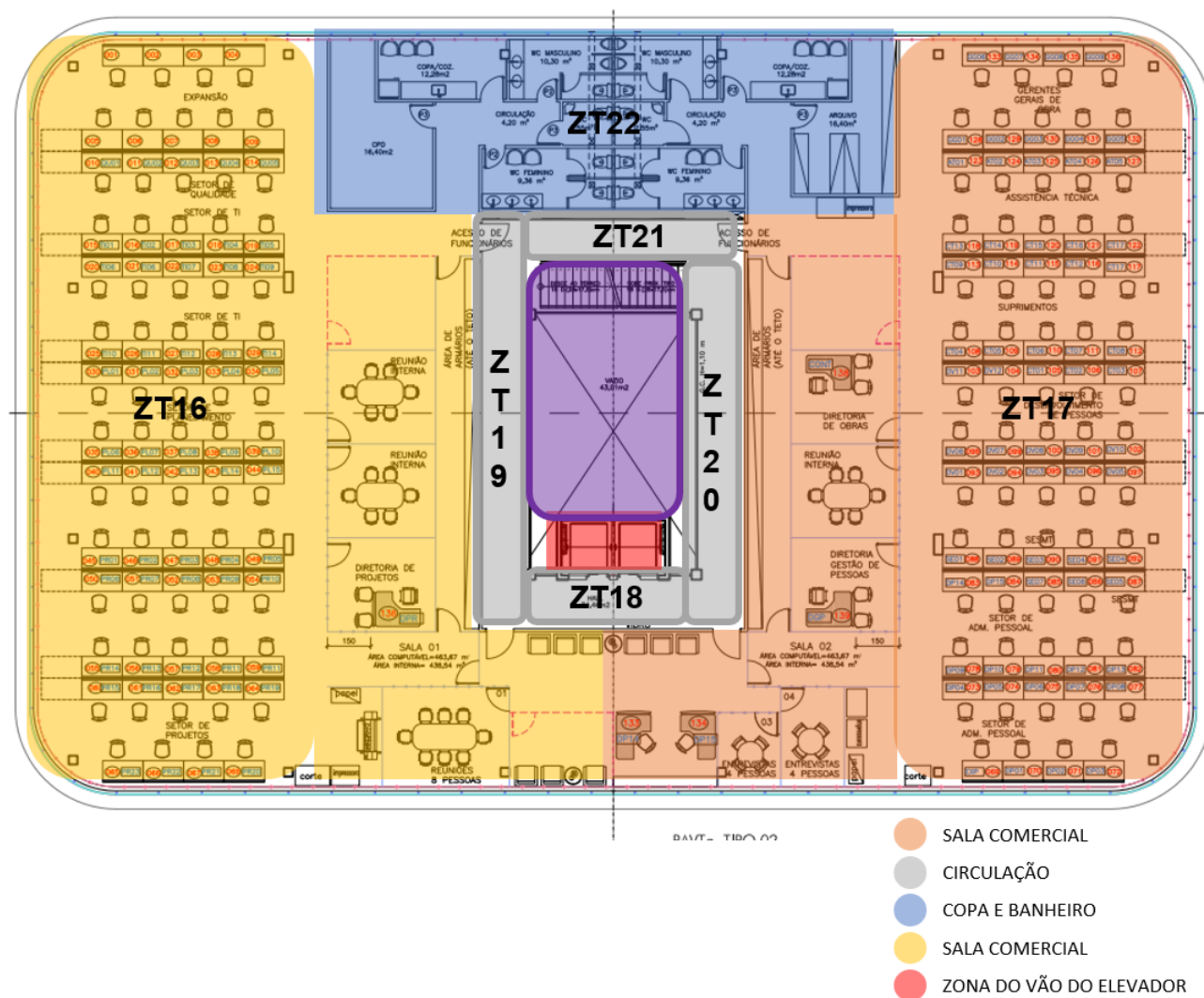
Conforme citado na seção 4.3.1, há espaços na edificação que são destinados a locação e, portanto, seu uso e sua configuração dependem do locatário final. A



disposição dos pavimentos tipo é um desses casos e, devido à falta desses dados atualizados para simulação, os pavimentos tipo foram divididos em zonas térmicas com as mesmas disposições. Com a finalidade de simplificar a modelagem, foram consideradas disposições iguais.

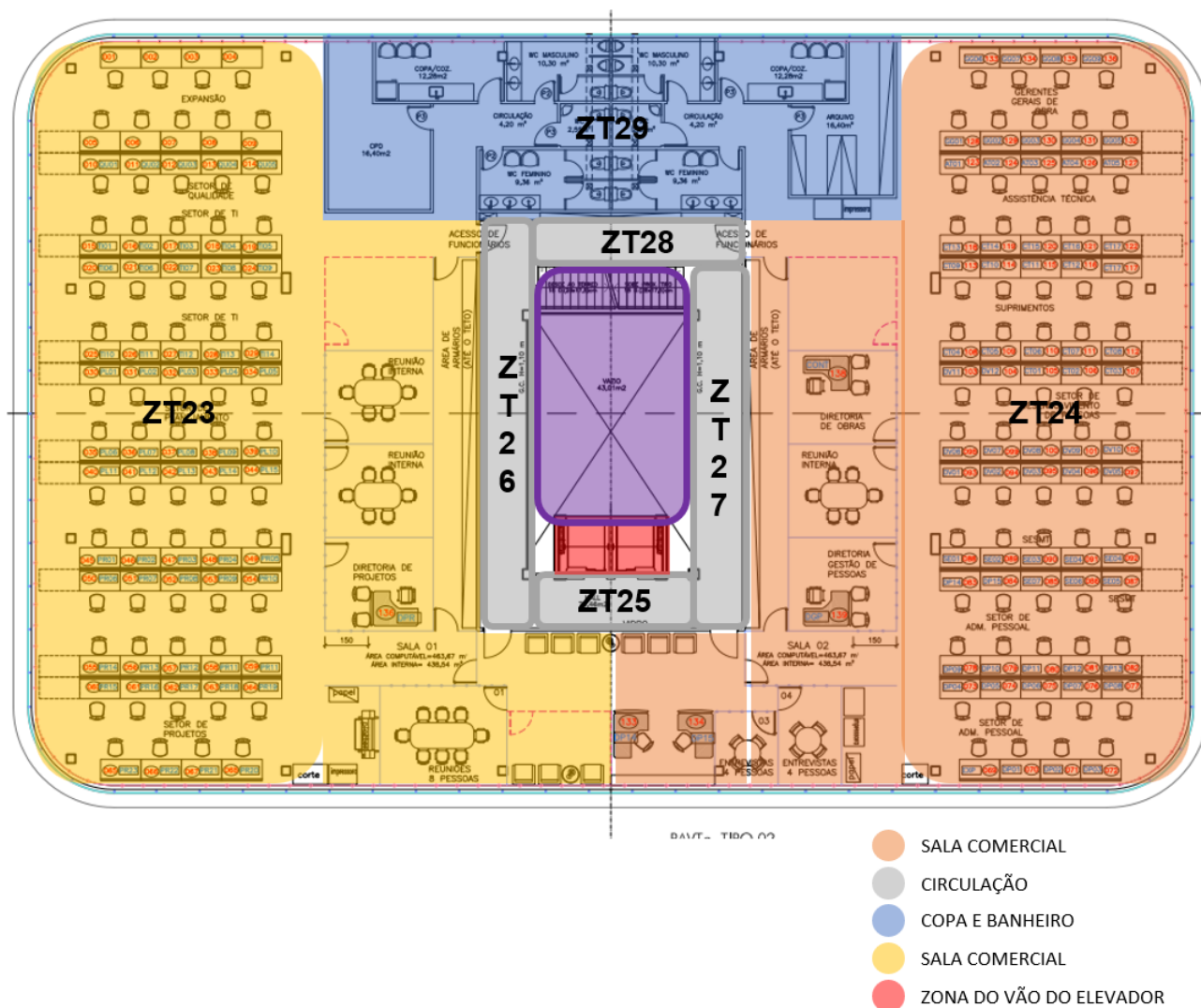
A definição das zonas térmicas dos pavimentos tipo é mostrada nas Figura 24, Figura 25 e Figura 26.

Figura 24 - Zonas térmicas do primeiro pavimento tipo.



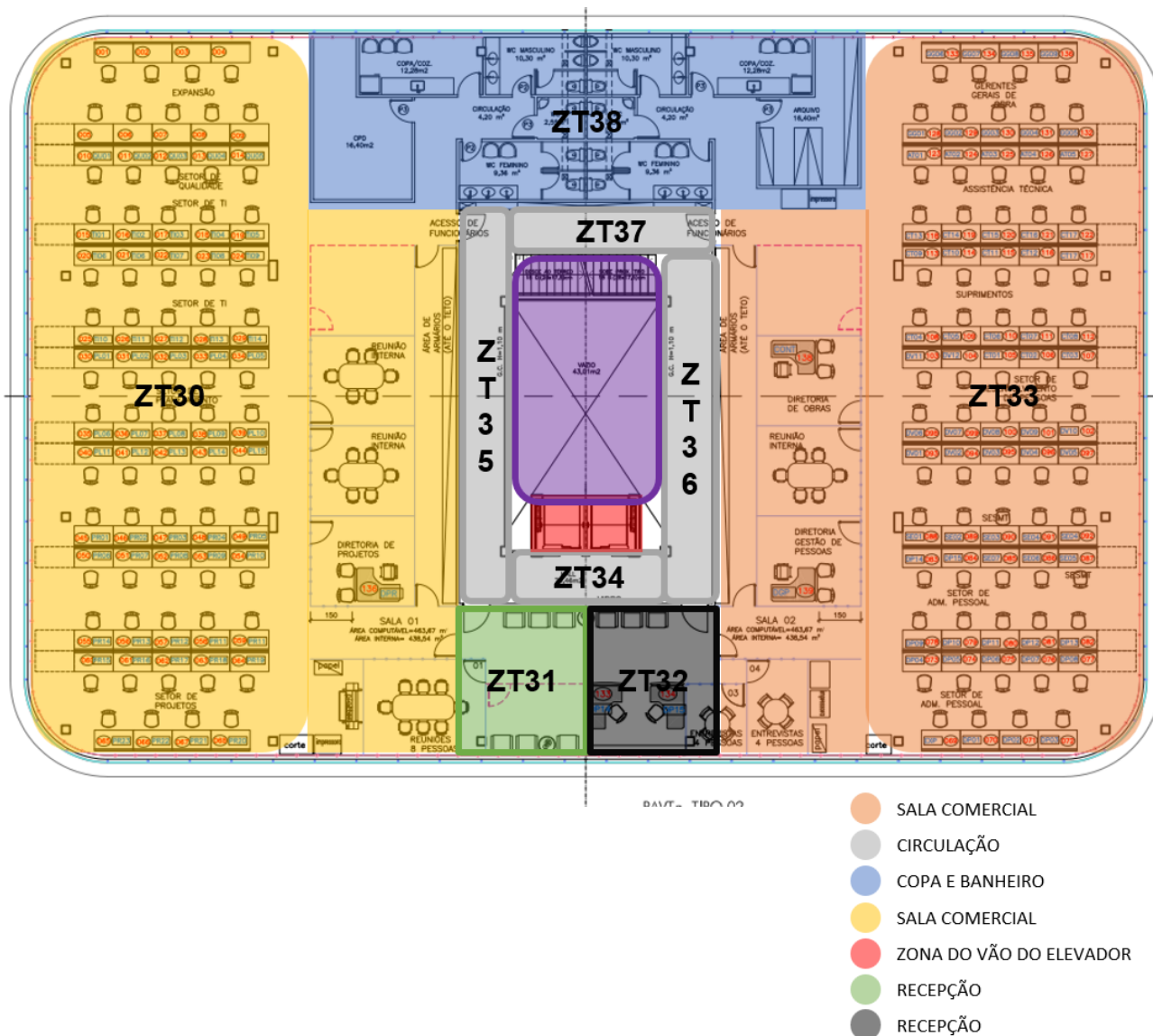
Fonte: Autores (2023).

Figura 25 - Zonas térmicas do segundo pavimento tipo.



Fonte: Autores (2023).

Figura 26 - Zonas térmicas do terceiro pavimento tipo.



Fonte: Autores (2023)

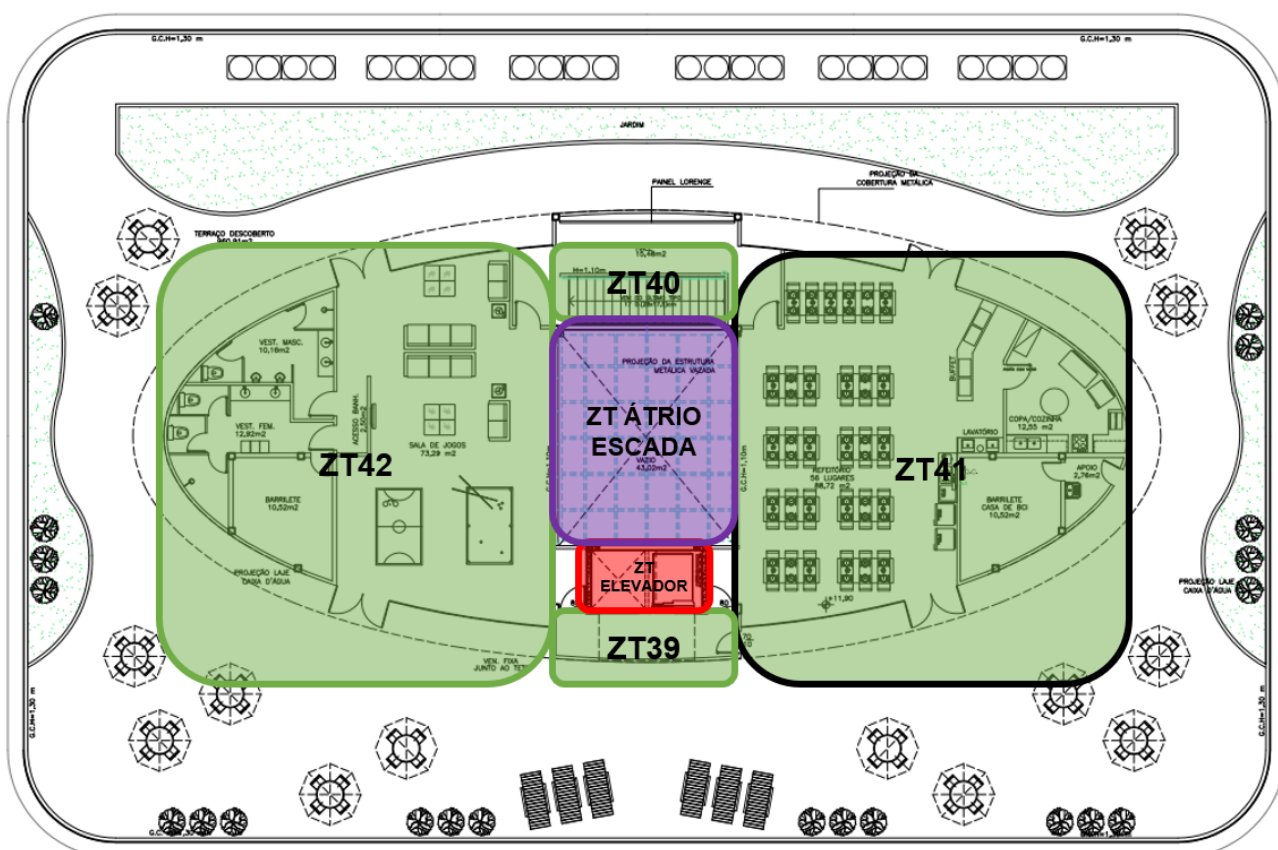
#### 4.3.4. COBERTURA

No projeto de *Layout* da cobertura, realizado pela Lorenge para os usos iniciais da edificação, consta uma área destinada a refeitório, cozinha, vestiário e sala de jogos em formato oval. Contudo, esta área não está em atividade atualmente. Com a finalidade de simplificar a modelagem, a área da cobertura foi dividida em quatro zonas térmicas e em formatos retangulares, com as mesmas características construtivas, teto de estrutura metálica galvanizada e a mesma quantidade computada de área construída. As zonas térmicas foram consideradas retangulares a fim de evitar

erros na simulação, e essa simplificação não gera diferenças consideráveis nos resultados.

A definição das zonas térmicas da cobertura é mostrada na Figura 27.

Figura 27 - Zonas térmicas da cobertura.



Fonte: Autores (2023).

#### 4.4. LEVANTAMENTO DE DADOS

Esta seção destina-se a discriminar o levantamento dos dados necessários para execução da simulação e posterior classificação energética, suas referências e demais considerações pertinentes.

##### 4.4.1. PARÂMETROS ADOTADOS CONFORME TIPOLOGIA DE USO

Para a modelagem da edificação em sua condição de referência, foram usados os parâmetros da Tabela A.1 - Valores de referência para edificações de escritório - do

Anexo A da INI-C (INMETRO, 2022), na qual são apresentados os valores que devem ser considerados na simulação dos modelos real e de referência.

Os valores apresentados na tabela em questão, dizem respeito a geometria e aberturas da edificação, componentes construtivos, iluminação e ganhos internos, condicionamento de ar (refrigeração) e aquecimento de água (para tipologia de edificações de escritório, a INI-C não considera o consumo de água quente como significativo para a avaliação do sistema e, como informado anteriormente, a edificação objeto deste estudo não apresenta sistema de aquecimento de água).

A Tabela 10 mostra a Tabela A.1, retirada da INI-C.

Tabela 10 - Valores de referência para edificações de escritório. (Continua)

Uso típico	Edificações de escritórios	
	Condição real	Condição de referência
<b>Geometria</b>		
Área (m <sup>2</sup> )	Condição real	
Orientação solar	Condição real	
Pé-direito (pisos a teto) (m)	Condição real	
<b>Aberturas</b>		
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	50 (0,50)
<b>Componentes construtivos</b>		
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)
Upar - Transmitância da parede externa (W/(m <sup>2</sup> .K))	Condição real	2.39
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0.5
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m <sup>2</sup> .K))	Condição real	150
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)
Ucob - Transmitância da cobertura (W/(m <sup>2</sup> .K))	Condição real	2.06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0.8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m <sup>2</sup> .K))	Condição real	233
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0.82
Uvid - Transmitância do vidro (W/(m <sup>2</sup> .K))	Condição real	5.7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0

Tabela 10 - Valores de referência para edificações de escritório. (Conclusão)

Uso típico	Edificações de escritórios	
	Condição real	Condição de referência
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)*	Condição real	
<b>Iluminação e ganhos internos</b>		
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m <sup>2</sup> )	Condição real	14,1**
Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)	10.0	
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m <sup>2</sup> )***	15.0	
Horas de ocupação (horas)	10	
Dias de ocupação (N <sub>ano</sub> )****	260	
Situação do piso	Condição real	
Situação da cobertura	Condição real	
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento
<b>Condicionamento de ar (refrigeração)</b>		
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2.60
Temperatura <b>setpoint</b> (°C)*****	24.0	
<b>Aquecimento de água</b> *****	-	

\* A utilização do ângulo de obstrução vizinha (AOV) é opcional.

\*\* Adotar este valor para a avaliação parcial da envoltória no caso da utilização do método do edifício completo (Subitem B.III.4.1). Para o método da atividade dos edifícios e potência ajustada, devem ser adotados os valores de potência de iluminação limite (DPI<sub>L</sub>) para a classificação D.

\*\*\* Em casos em que se deseje utilizar os valores reais ou levantados por meio de projeto, a DPE para a condição real e de referência devem ser iguais. Caso sejam adotados valores não tabelados, deve ser entregue memorial de cálculo e declaração de responsabilidade técnica (ART/RRT).

\*\*\*\* Os dias de ocupação desta tipologia foram calculados com base na média de dias de semana por ano, excluindo-se os fins de semana.

\*\*\*\*\* Caso exista a necessidade da edificação operar com um setpoint diferente, deverá, seguindo-se então com o método de simulação; nestes casos, deve-se utilizar o mesmo setpoint para a edificação real e sua condição de referência.

\*\*\*\*\* Tipologia com consumo de água quente não significativo para a avaliação do sistema.

Fonte: INMETRO (2022)

#### 4.4.2. PADRÃO DE USO DE PESSOAS

O cálculo de carga térmica fornecido pela simulação é influenciado pelo padrão de uso das pessoas em cada ambiente. Por isso, foram levantados, por zona térmica, a caracterização do ambiente e seu uso (tempo de permanência das pessoas,

quantidade de pessoas e suas atividades, calor gerado por elas em decorrência dessas atividades). A Tabela 11 traz uma amostra dos dados levantados, que se encontram, na íntegra, no Apêndice A.

O padrão de uso foi definido conforme horário de utilização da edificação, que predomina no período de 8h às 18h. O valor de calor por pessoa, em *Watts*, foi retirado de uma tabela elaborada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (*U. S. Department of Energy, 2021*), que relaciona as atividades com suas respectivas taxas metabólicas, em um ambiente de escritório. A ocupação, em m<sup>2</sup>/pessoa, foi retirada da Tabela A.1 da INI-C.

Vale ressaltar que, por motivos de simplificação da simulação, não foi considerada ocupação nas áreas de estacionamento, tanto no térreo, quanto no subsolo. Para tal simplificação, foi levado em conta que as superfícies do subsolo foram consideradas adiabáticas, não representando troca de calor para os outros ambientes, além disso, as áreas de estacionamento são áreas de permanência transitória, ou seja, áreas onde as pessoas não permanecem continuamente por longos períodos de tempo.

Tabela 11 - Padrão de uso de pessoas.

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Atividade	Calor por pessoa (W)*	Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)
ZT 01		08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 02	Toda área do subsolo	08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 03		08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 04		08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 05	Estacionamento (térreo)	08:00 às 18:00	Andando	180	-

Fonte: Autores (2023); \* U. S. Department of Energy (2021).

#### 4.4.3. MATERIAIS

O levantamento dos materiais construtivos utilizados na edificação foi feito a partir de seus projetos arquitetônicos e memorial descritivo. Com eles, buscou-se levantar as

propriedades térmicas de cada elemento, necessárias à simulação. A Tabela 12 discrimina os sistemas construtivos da edificação e a Tabela 13 apresenta os parâmetros adotados para cada material.

Tabela 12 - Sistemas construtivos da edificação. (Continua)

<b>PISO SUBSOLO</b>
Concreto estrutural esp. 15cm
Argamassa (contrapiso) esp. 5
<b>PAREDE SUBSOLO</b>
Bloco cerâmico 10x20x20cm
Argamassa de cimento/areia/cal c/1,5cm de espessura
<b>PISO GARAGEM TÉRREO</b>
Concreto estrutural esp. 15cm
Argamassa (contrapiso) esp. 5
<b>PAREDE GARAGEM TÉRREO</b>
Bloco cerâmico 10x20x20cm
Argamassa de cimento/areia/cal c/1,5cm de espessura
<b>PAREDES TERREO/PAV TIPOS</b>
<i>Drywall</i> 10 cm
Divisória alumínio natural e vidro incolor 10 mm do tipo Abatex
Fachadas em vidro reflexivo verde COOL LITE 154 SKN INCOLOR com brises de alumínio composto (ACM)
Bloco cerâmico 10x20x20cm
Argamassa de cimento/areia/cal c/1,5cm de espessura
<b>PISO DO TÉRREO COMUM</b>
Concreto estrutural esp. 10cm
Argamassa (contrapiso) esp. 4cm
Caixa de ar 5 cm
Porcelanato Metropolitan Negro 80x80 e Porcelanato Metro Wh 80x80 1cm
<b>PISO DO TÉRREO (SANITÁRIOS E COPA)</b>
Concreto estrutural esp. 10cm
Argamassa (contrapiso) esp. 4cm
Caixa de ar 5 cm



Tabela 12 - Sistemas construtivos da edificação. (Continua)

Piso elevado com porcelanato pn kampur branco 44,4x44,4; 1 cm
<b>PAREDE TÉRREO/PAV TIPO (SANITÁRIOS E COPA)</b>
Bloco cerâmico 10x20x20cm
Argamassa de cimento/areia/cal c/1,5cm de espessura
Cerâmica 28x40 Nórdico Snow, Incepa.
<i>Drywall</i> 10 cm
<b>TETO TÉRREO/PAV TIPOS</b>
Caixa de ar 5 cm 35 cm
Rebaixado em Forro Modulado Placo Celotex Sand Micro 3 cm
Rebaixado em gesso 3 cm
<b>PISO DO PAV TIPO HALL</b>
Concreto estrutural esp. 10cm
Argamassa (contrapiso) esp. 4cm
Caixa de ar 5 cm
Piso elevado com porcelanato griffe Blanco puntos ret 60x60.
<b>PISO DO PAV TIPO SALAS</b>
Concreto estrutural esp. 10cm
Argamassa (contrapiso) esp. 4,5cm
Caixa de ar 5 cm
Piso elevado com carpete 5mm.
<b>PISO DO PAV TIPO COPA BANHEIROS</b>
Concreto estrutural esp. 10cm
Argamassa (contrapiso) esp. 4cm
Caixa de ar 5 cm
Piso elevado com Porcelanato pn kampur branco 44,4x44,4;
<b>PISO COBERTURA</b>
Concreto estrutural esp. 10cm
Argamassa (contrapiso) esp. 4cm
Caixa de ar 5 cm
Piso elevado com porcelanato griffe Blanco puntos ret 60x60.
<b>COBERTURA EM TELHA METÁLICA GALVANIZADA</b>
Chapa de aço galvanizada esp. 5 cm

Tabela 12 - Sistemas construtivos da edificação. (Conclusão)

Camada de ar 5cm
Concreto estrutural esp. 10cm
<b>JANELAS</b>
Vidro incolor 10 mm do tipo Abatex, 0,80 m de altura e 1,35 m de comprimento, dispostas lado a lado por todo o perímetro das fachadas
<b>PORTAS</b>
Madeira compensada branca

Fonte: Adaptado a partir do Crea-ES.

Tabela 13 - Parâmetros dos materiais. (Continua)

Material	Rugosidade	Espessura [cm]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [J/kg.K]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .KW]	Absorção Térmica	Absorção Solar	Absorção Visível
<b>PISOS E COBERTURAS</b>									
Concreto estrutural	Áspero	15	1.75	2300	1000	-	-	-	-
		10							
Argamassa	Áspero	5	1.15	2000	1000	-	-	-	-
Caixa de ar horizontal		5	-		-	0.16			
Caixa de ar Ascendente	-	35	-	1.2	-	0.14			
Caixa de ar Descendente		5	-		-	0.18			
Revestimento cerâmico	Medianamente áspero	1	0.9	1600	920		-	-	-
Carpete	Áspero	0.5	0.17	170					
Telha metálica de aço galvanizada	Medianamente áspero	5	55	7800	460	-	0.25	0.25	0.25
Gesso	Medianamente liso	3	0.5	1300	840	-	-	-	-
Forro fibra mineral	Medianamente liso	3	0.052	300		-	-	-	-
<b>PAREDES</b>									

Tabela 13 - Parâmetros dos materiais. (Conclusão)

Material	Rugosidade	Espessura [cm]	Condutividade Térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	Calor Específico [J/kg.K]	Resistência Térmica [m <sup>2</sup> .K/W]	Absorção Térmica	Absorção Solar	Absorção Visível
Bloco cerâmico 12x19x19cm	Medianamente áspero	12	0.9	1600	920	-	-	-	-
Argamassa de reboco	Áspero	2	1.15	1950	1000	0,022(4)	0.9	0.158	0.158
<i>Drywall</i>	Liso	10	0.5	13000	840	-	-	-	-
vidro comum	Liso	1	1	2500	840	-	-	-	-
Revestimento cerâmico	Medianamente áspero	1	0.9	1600	920	-	-	-	-
<b>ESQUADRIAS</b>									
Vidro reflexivo verde COOL LITE 154 SKN INCOLOR	Liso	1	1	2500	720	-	-	-	-
Madeira compensada	Medianamente áspero	3	0.17	700	1600	-	-	-	-
<b>PARÂMETRO DOS VIDROS</b>									
Material	Rugosidade	Espessura (cm)	Transmitância solar em incidência normal (adimensional)	Refletância solar em incidência normal (adimensional)	Transmitância visível em incidência normal (adimensional)	Refletância Visível em Incidência Normal (adimensional)	Transmitância Infravermelha na Incidência Normal (adimensional)	Condutividade [W/m.K]	
Vidro reflexivo verde COOL LITE 154 SKN INCOLOR	liso	1	0.233	0.36	0.552	0.155	0	1	

Fonte: NBR 15.220 (2005); CB3E (2015).

#### 4.4.4. ILUMINAÇÃO

Para obtenção dos dados de iluminação, utilizaram-se alguns dados do trabalho de Lahass e Velasco (2022), realizado para a mesma edificação deste, como número de pontos de luz por ambiente, tipo de luminária e sua potência, fator de ajuste de potência (FAP). O número de pontos de luz por zona térmica foi adotado a partir dos ambientes contemplados por cada uma delas. A Tabela 14 apresenta uma amostra dos parâmetros utilizados para o sistema de iluminação, que se encontram, na íntegra, no Apêndice B.

Tabela 14 - Sistema de iluminação.

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Horas de uso/dia	Nº de pontos de luz	Tipo de Luminária	Potência Lâmpada [W]	FAP	Potência de iluminação em uso [W]	Potência Total Instalada por zona [W]
ZT 01		08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 02	Toda área do subsolo	08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 03		08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 04		08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 05		Estacionamento (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	40.00	*	40	0.8	32

\*Softled Philips, Dali, 40W-220V, 625x625mm

Fonte: Autores (2023); LAHASS E VELASCO (2022).

#### 4.4.5. AR CONDICIONADO

O sistema de condicionamento de ar instalado na edificação é o do tipo Fluxo de Refrigerante Variável (VRF), modelo *Set-Free Eco Flex II* que utiliza fluido refrigerante R-410A, da marca Hitachi, conforme as Figura 28 e Figura 29. Os parâmetros de entrada utilizados na simulação foram obtidos a partir das informações contidas nas Figura 29 e Figura 30. Ele possui acionamento e desligamento programável das unidades evaporadoras (unidades internas), permitindo acionamento proporcional ao seu uso, o que evita a formação de ilhas de calor ou frio.

Figura 28 - Condensadoras VRF instaladas na cobertura.



Fonte: Crea-ES (2022).

Figura 29 - Detalhe das condensadoras VRF instaladas na cobertura.



Fonte: Crea-ES (2022).

Foi considerado condicionamento de ar apenas nas áreas de permanência prolongada – APP, ou seja, áreas de ocupação contínua por longos períodos, excluindo-se, portanto, os estacionamentos, banheiros, áreas de circulação em geral e áreas técnicas onde a ocupação não é frequente. As zonas térmicas condicionadas, consideradas neste trabalho, estão listadas na Tabela 15. Ao inserir os dados técnicos do sistema de refrigeração e atribuir as zonas as quais ele atende, o EnergyPlus®

considera a capacidade (kW, kCal/h ou BTU/h) necessária para cada ambiente em função dos seus volumes.

Tabela 15 - Zonas térmicas condicionadas.

Zona Térmica	Ambiente
ZT 07	Hall (térreo)
ZT 11	Auditório
ZT 13	Salão (térreo)
ZT 14	
ZT 15	
ZT 16	Salão 1 (1º pav.)
ZT 17	Salão 2 (1º pav.)
ZT 23	Salão 1 (2º pav.)
ZT 24	Salão 2 (2º pav.)
ZT 30	Salão 1 (3º pav.)
ZT 31	
ZT 32	Salão 2
ZT 33	(3º pav.)
ZT 39	Cobertura
ZT 40	
ZT 41	
ZT 42	

Fonte: Autores.

Figura 30 - Especificações técnicas para a unidade condensadora conforme fabricante HITACHI.

<b>Capacidade</b>		<b>8 HP</b>	
<b>Módulo Base</b>		<b>RAS8FSNM(5/7)B2</b>	
Alimentação			
Capacidade Nominal Resfriamento	kW	22,4	
	kcal/h	19.280	
	BTU/h	76.500	
Capacidade Nominal Aquecimento	kW	25,0	
	kcal/h	21.500	
	BTU/h	85.300	
COP Resfriamento		4,64	
Cor do Gabinete			
Nível de Pressão Sonora Padrão (Modo de Operação Noturna)	dB(A)	58 (53)	
Dimensões Externas (Ax L x P)	mm	1.620 x 954 x 754	
Peso Líquido	kg	210	
Peso Bruto	kg	250	
Refrigerante			
Controle do Fluxo			
Compressor			
Modelo		E656DHD	
Quantidade		1	
Trocador de Calor			
Qtde. Ventilador do Condensador		1	
Vazão de Ar		m <sup>3</sup> /min.	155
Tubulação de Refrigerante	Linha de Líquido	mm (in)	Ø9,53 (3/8)
	Linha de Gás	mm (in)	Ø19,05 (3/4)
Carga de Refrigerante		kg	6,5

Fonte: HITACHI (2016)

Vale ressaltar que, ao inserir os dados, o EnergyPlus® dispõe de diversas opções de sistema HVAC a serem trabalhadas na edificação, de modo que, no presente trabalho, foi escolhido e inserido dados para o próprio sistema VRF.

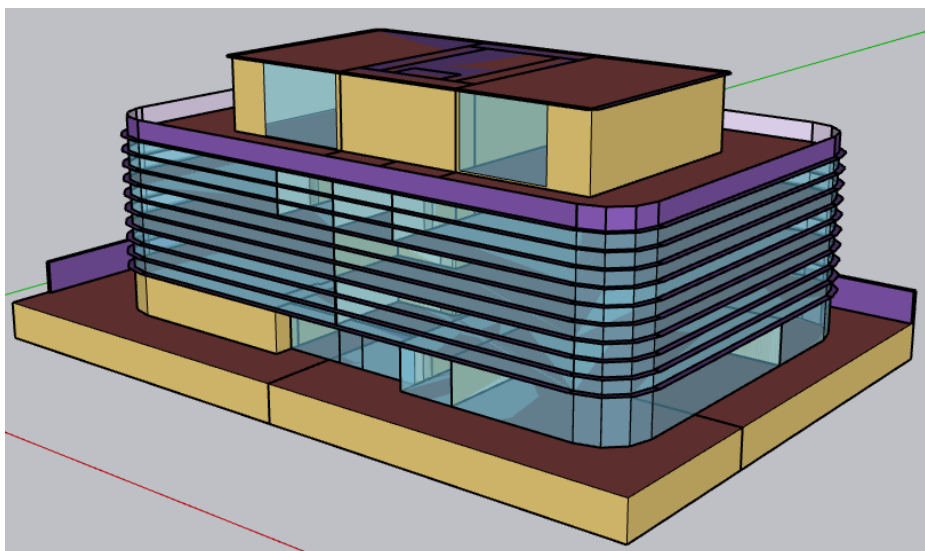
#### 4.4.6. EQUIPAMENTOS

Os projetos e memorial descritivo do edifício não apresentaram especificação de equipamentos, memorial de cálculo ou declaração de responsabilidade técnica. Por isso, a densidade de potência de equipamentos – DPE ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) – utilizada na simulação foi a estabelecida na Tabela A.1 da INI-C, conforme tipologia do edifício. Portanto, utilizou-se DPE igual a  $15,0 \text{ W}/\text{m}^2$ , para todos os ambientes, nas condições real e de referência.

#### 4.5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Como explicado na seção 3.3.3, a modelagem da edificação, com suas geometria, superfícies, aberturas e sombreamentos, foi feita no *software* SketchUp® Pro 2023, com *plugin* Euclid® v23.1.0. O modelo real está representado, em diferentes ângulos, nas Figura 31, Figura 32 e Figura 33. As superfícies identificadas em roxo são grupos de sombreamento, que contemplam os brises e as edificações ao lado do edifício.

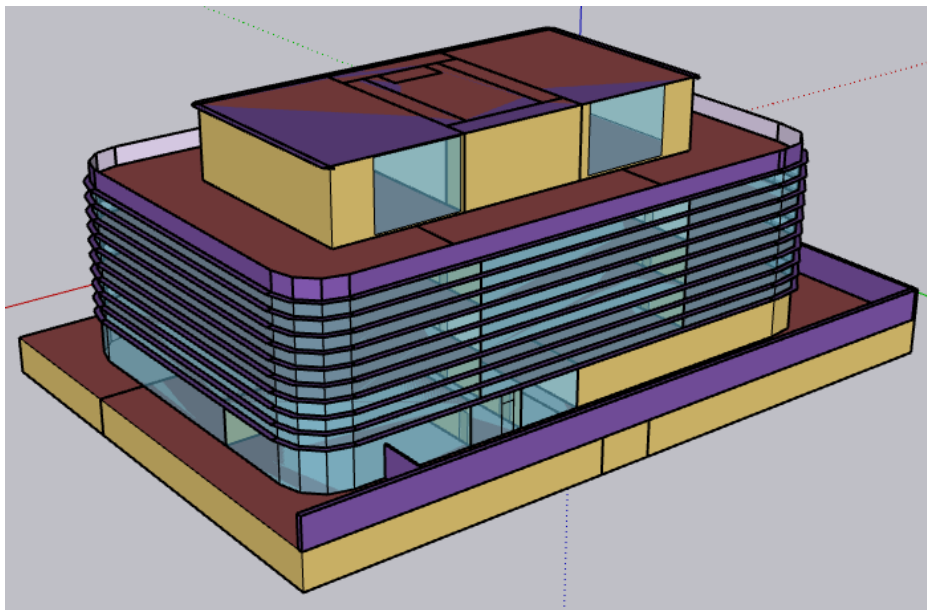
Figura 31 - Modelo real (vista 1)



Fonte: Autores (2023).

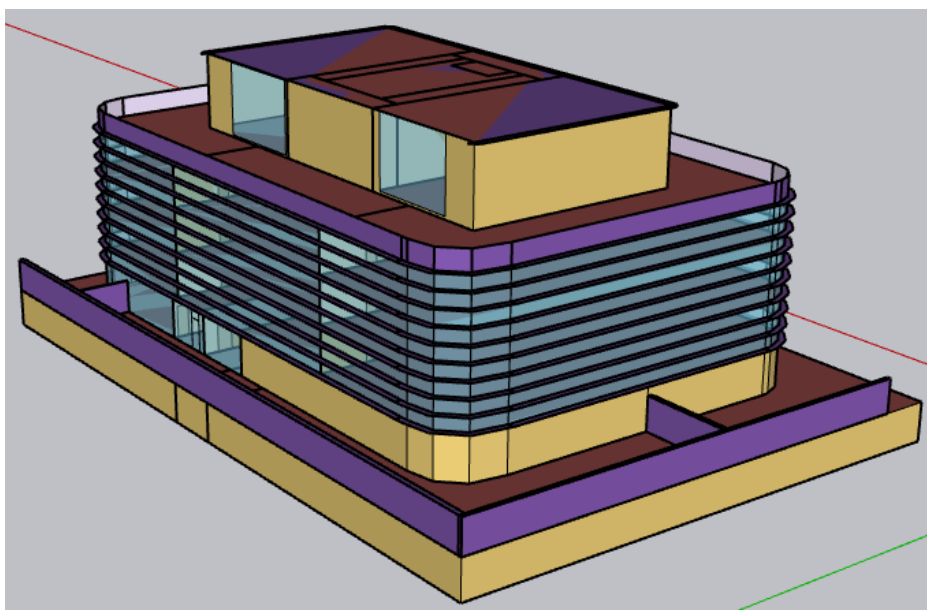


Figura 32 - Modelo real (vista 2)



Fonte: Autores (2023).

Figura 33 - Modelo real (vista 3)



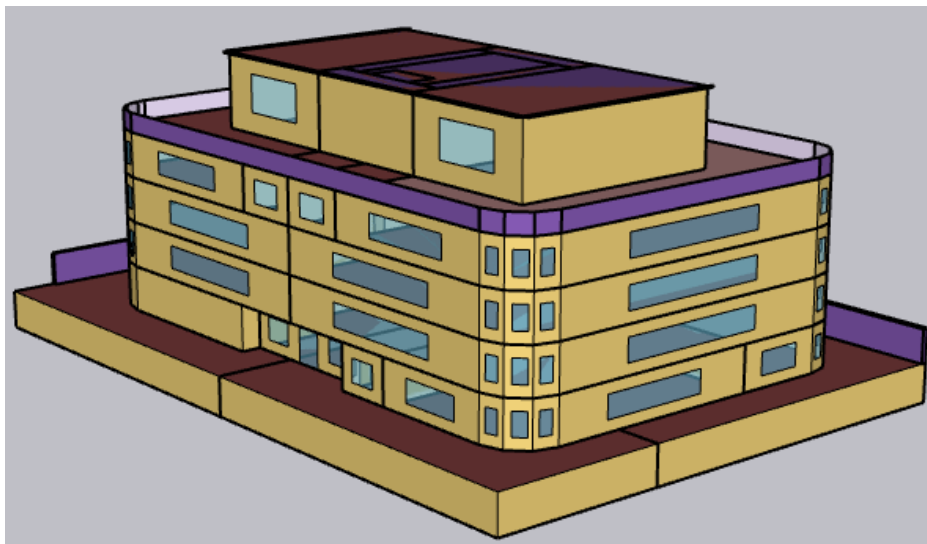
Fonte: Autores (2023).

#### 4.5.1. EDIFICAÇÃO NA CONDIÇÃO DE REFERÊNCIA

A edificação na condição de referência foi modelada tendo como parâmetros de entrada o descrito na INI-C para edificações com tipologia de escritórios, conforme Tabela 10 - Valores de referência para edificações de escritório. – da Seção 4.4.1. Ela

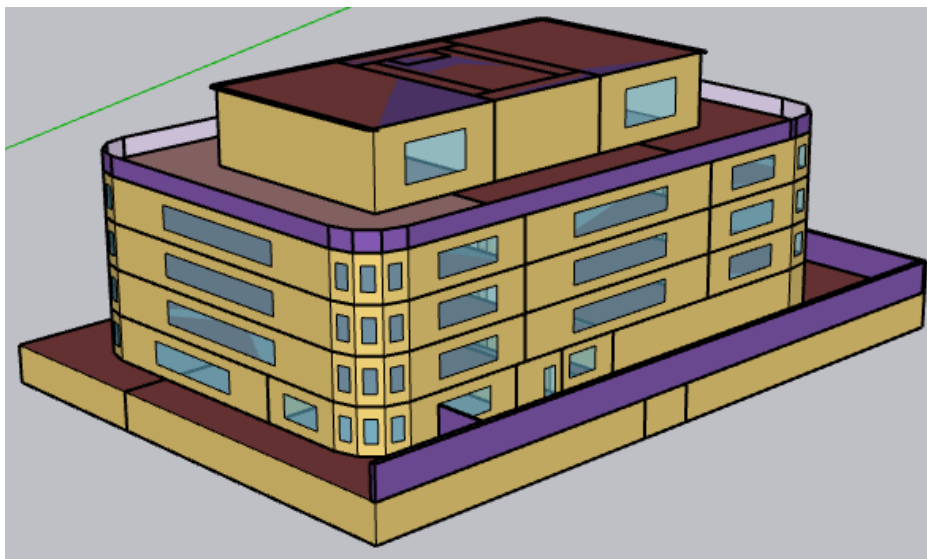
foi modelada a partir do modelo real, alterando-se as áreas de aberturas, os parâmetros de entrada no Energy Plus e retirando-se os brises. As Figura 34, Figura 35 e Figura 36 ilustram o modelo da edificação de referência, em diferentes ângulos.

Figura 34 - Modelo de referência (vista 1).



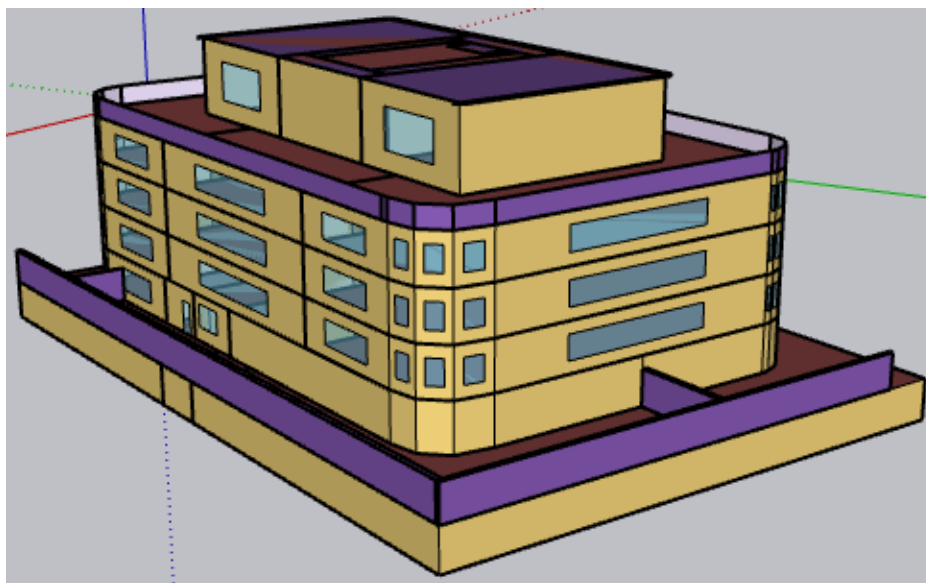
Fonte: Autores (2023)

Figura 35 - Modelo de referência (vista 2).



Fonte: Autores (2023)

Figura 36 - Modelo de referência (Vista 3).



Fonte: Autores (2023)

#### 4.5.2. SIMULAÇÃO NO ENERGY PLUS

Foram realizadas diversas tentativas de simulação, visto que foram sendo encontrados erros e estes tiveram que ser sanados para que a simulação fosse finalizada. Os principais erros encontrados foram:

- *SURFACE MATCHING*

O EnergyPlus® v23.1.0 é um programa de simulação térmica que permite modelar diferentes zonas térmicas em um edifício. Cada zona térmica é composta por várias superfícies, como paredes, pisos, tetos e telhados, que devem ter um sistema construtivo definido. Por exemplo, um piso pode ter uma camada de concreto, uma de argamassa e uma de revestimento. Além disso, cada superfície deve ter uma condição de contorno especificada, que pode ser adiabática, em contato com o exterior ou em contato com outra superfície.

Quando duas zonas térmicas são adjacentes, as superfícies que as separam devem estar alinhadas e coincidentes. Para isso, o EnergyPlus® v23.1.0 oferece a opção de fazer o “*surface matching*”, que identifica automaticamente as superfícies que estão em contato. No entanto, essa opção pode falhar se houver pequenas distâncias entre

as superfícies, causadas por erros de desenho. Nesse caso, o EnergyPlus® v23.1.0 emite um aviso (*warning*), mas não interrompe a simulação. A solução é indicar manualmente quais são as superfícies adjacentes.

Esse foi um erro frequente e trabalhoso na simulação, pois exigiu uma revisão cuidadosa das superfícies de cada zona térmica. Se as superfícies não estiverem bem definidas, a simulação não roda ou apresenta resultados incorretos.

- **LAYERS/ IDENTIFICAÇÃO DE MATERIAIS DE CADA SUPERFÍCIE**

Os *layers* são as camadas de materiais que compõem os sistemas construtivos das superfícies. Eles devem ser definidos de acordo com as propriedades térmicas e físicas de cada material. Um dos requisitos para a simulação térmica é que as superfícies adjacentes tenham o mesmo número e a mesma espessura de *layers*. Caso contrário, o EnergyPlus® v23.1.0 gera um erro e não realiza a simulação.

Esse foi um problema que ocorreu em algumas superfícies, especialmente nos tetos e pisos, que tinham mais *layers* do que as paredes. Por exemplo, alguns pisos tinham uma camada extra de carpete, que não era compatível com as paredes adjacentes. Para resolver esse problema, foi necessário padronizar os *layers* das superfícies, eliminando as camadas desnecessárias ou adicionando novas camadas quando preciso. No caso dos pisos com carpete, optou-se por desconsiderar esse material e considerar apenas as camadas de concreto, argamassa, ar e revestimento.

- **DISTRIBUIÇÃO SOLAR: *FULL EXTERIOR OU FULL INTERIOR-EXTERIOR***

Um dos parâmetros que devem ser definidos na simulação térmica com o EnergyPlus® v23.1.0 é o modo de distribuição solar, que pode ser *full exterior* ou *full interior-exterior*. Esse parâmetro determina como a radiação solar é considerada nas superfícies do edifício, tanto externas quanto internas. A escolha do modo de distribuição solar depende do tipo de análise que se deseja realizar, pois pode influenciar nos resultados da simulação.

O modo *full exterior* considera apenas a radiação solar que incide nas superfícies externas do edifício, como paredes, tetos e janelas. Essa radiação é transmitida para o interior do edifício através dos materiais e das aberturas, gerando ganhos de calor e iluminação natural. Esse modo é mais simples e rápido de executar, mas não leva em conta a interação da radiação solar entre as superfícies internas do edifício.

O modo *full interior-exterior* considera tanto a radiação solar que incide nas superfícies externas do edifício quanto a radiação que é refletida ou transmitida pelas superfícies internas. Essa radiação pode atingir outras superfícies internas do edifício, gerando ganhos ou perdas de calor e iluminação natural. Esse modo é mais complexo e demorado de executar, mas leva em conta a interação da radiação solar entre as superfícies internas do edifício, possibilitando uma análise mais abrangente e precisa.

A primeira tentativa foi feita com a opção interior-exterior, mas ocorreu um erro na simulação. O erro na simulação com a opção interior-exterior ocorreu devido a erros milimétricos na modelagem do edifício, que geraram inconsistências na geometria das superfícies internas. Esses erros impediram que o sistema de simulação calculasse corretamente a distribuição solar no interior do edifício. Por isso, optou-se pela opção exterior, que não leva em conta as superfícies internas e evita esse tipo de problema.

#### **4.6. CLASSIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

A avaliação da eficiência energética geral da edificação foi feita a partir dos dados de saída da simulação dos modelos gerados, seguindo-se a metodologia da INI-C apresentada na Seção 2.4.2. Os dados de saída em questão estão mostrados no Apêndice C (para o modelo da edificação real) e no Apêndice D (para o da edificação de referência).

##### **4.6.1. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Os parâmetros utilizados para o cálculo do consumo de energia elétrica na edificação real e na condição de referência, com seus respectivos valores, estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Consumo de Energia Elétrica na Edificação

Condição Real		Condição de Referência	
Parâmetro	Valor (kWh/ano)	Parâmetro	Valor (kWh/ano)
$C_{R,real}$	134964,66	$C_{R,refD}$	261591,15
$C_{IL,real}$	48916,22	$C_{IL,refD}$	178596,57
$C_{EQ}$	197416,86	$C_{EQ}$	197416,86
$C_{EE,real}$	381297,74	$C_{EE,refD}$	637604,58

Fonte: Autores (2023)

Onde:

$C_{EE}$  é o consumo total de energia elétrica da edificação real ( $C_{EE,real}$ ) ou condição de referência ( $C_{EE,refD}$ ) (kWh/ano);

$C_R$  é o consumo de refrigeração do sistema de condicionamento de ar da edificação real ( $C_{R,real}$ ) ou condição de referência ( $C_{R,refD}$ ) (kWh/ano);

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

$C_{EQ}$  é o consumo de equipamentos (kWh/ano);

Os consumos energéticos dos sistemas de refrigeração, iluminação e de equipamentos, foram obtidos conforme dados de saída gerados pela simulação, tanto para a condição real, quanto para a de referência. Os dados de entrada para tais sistemas, na condição real, foram discriminados nas Seções 4.4.5, 4.4.4 e 4.4.6, respectivamente, e os dados de entrada necessários para caracterização dos materiais e sistemas construtivos, na Seção 4.4.3. Para a condição de referência, os dados de entrada foram obtidos a partir da Tabela 10 - Valores de referência para edificações de escritório., conforme tipologia da edificação.

#### 4.6.2. CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA

Os cálculos do consumo de energia primária da edificação em suas condições real ( $C_{EP,real}$ ) e de referência ( $C_{EP,refD}$ ) foram feitos conforme Equações 2 e 3, respectivamente. Os dados estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Consumo de energia primária da edificação.

Condição real		Condição de referência	
$C_{EE,real}$ (kWh/ano)	381297,74	$C_{EE,refD}$ (kWh/ano)	637604,58
$f_{CE}$	1,6	$f_{CE}$	1,6
$C_{EP,real}$ (kWh/ano)	610076,38	$C_{EP,refD}$ (kWh/ano)	1020167,33

Fonte: Autores (2023)

Onde:

$C_{EP,real}$  é o consumo de energia primária da edificação real (kWh/ano);

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

$C_{EP,refD}$  é o consumo de energia primária da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$C_{EE,refD}$  é o consumo total de energia elétrica da edificação na condição de referência (kWh/ano);

$f_{CE}$  é o fator de conversão de energia elétrica em energia primária.

#### 4.6.3. INTERVALOS DE CLASSIFICAÇÃO

A partir do Anexo G da INI-C, identificou-se que a edificação em estudo pertence à Zona Bioclimática 8. O Fator de Forma da edificação foi calculado conforme equação 8 e seus dados estão dispostos na Tabela 18.

Tabela 18 - Fator de Forma da Edificação.

Parâmetro	Valor
$A_{env}$ (m <sup>2</sup> )	2028,00
$V_{tot}$ (m <sup>3</sup> )	13285,26
FF (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	0,15

Fonte: Autores (2023)

Onde:

FF é o fator de forma da edificação (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>);

$A_{env}$  é a área da envoltória ( $m^2$ );

$V_{tot}$  é o volume total construído da edificação ( $m^3$ ).

O coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ( $CRC_{EPD-A}$ ) foi obtido a partir do fator de forma calculado e da zona bioclimática, consultando-se a Tabela 2 - Edificações de escritórios: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para A ( $CRCEPD-A$ ), com base no fator de forma (FF) e Zona Bioclimática. Pôde-se, então, a partir desses dados e conforme Equação 9:  $i = (CRC_{EPD-A} \cdot 100) / 3$ , calcular o coeficiente "i". Os parâmetros citados estão na Tabela 19.

Tabela 19 - Coeficiente "i" relativo ao intervalo entre as classes de eficiência energética.

Parâmetro	Valor
$CRC_{EPD-A}$	0,29
i (%)	9,67

Fonte: Autores (2023)

Onde:

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

$CRC_{EPD-A}$  é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classificação D para a A.

A partir do coeficiente "i", foi possível determinar os limites dos intervalos das classificações de eficiência energética geral da edificação, conforme padrão mostrado na Tabela 3. Os intervalos de classificação para a edificação em questão estão mostrados na Tabela 20.



Tabela 20 - Intervalos de classificação da eficiência energética geral da edificação, em função do RedC<sub>EP</sub>.

Classificação de Eficiência	RedC <sub>EP</sub>
A	RedC <sub>EP</sub> > 29%
B	29% ≥ RedC <sub>EP</sub> > 19,3%
C	19,3% ≥ RedC <sub>EP</sub> > 9,7%
D	9,7% ≥ RedC <sub>EP</sub> > 0%
E	RedC <sub>EP</sub> < 0%

Fonte: Autores (2023), a partir da INI-C (2022)

#### 4.6.4. CLASSIFICAÇÃO GERAL

O cálculo do percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e sua condição de referência (RedC<sub>EP</sub>) foi calculado conforme Equação 1. Os parâmetros e seus valores, utilizados nesse cálculo, são mostrados na Tabela 21.

Tabela 21 - Percentual de redução do consumo de energia primária entre edificação real e de referência.

Parâmetro	Valor
C <sub>EP,real</sub> (kWh/ano)	610076,38
C <sub>EP,refD</sub> (kWh/ano)	1020167,33
RedC <sub>EP</sub> (%)	0,40 ou 40%

Fonte: Autores (2023)

Onde:

RedC<sub>EP</sub> é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação real e a condição de referência (%);

C<sub>EP,refD</sub> é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$C_{EP,real}$  é o consumo de energia primária da edificação em sua condição real (kWh/ano).

Observa-se que o  $RedC_{EP}$  obtido para a edificação objeto deste estudo de caso é maior que 29%, se enquadrando na classificação A. Visto que a edificação também atendeu a todos os critérios, aplicáveis a ela, de elegibilidade para classificação A, obteve-se a etiqueta A para a edificação quanto à sua eficiência energética.

Conclui-se, portanto, que sede do Crea-ES apresentou um ótimo resultado na análise de sua eficiência energética, obtendo a melhor etiqueta possível nesta classificação, a etiqueta A.

Embora tenham sido realizadas algumas simplificações na modelagem e simulação, tomou-se o devido cuidado para que elas não representassem uma alteração de parâmetros cuja interferência no resultado final fosse significativa.

Vale ressaltar que, apesar de o prédio possuir envoltória praticamente toda em vidro, a adição dos brises como elementos de sombreamento e especificação de vidros com elevada qualidade térmica, que não permitem alta transmissão de calor, fez com que o seu desempenho fosse superior à da edificação de referência. Esta, por sua vez, apesar de possuir uma área de abertura da envoltória equivalente à metade da sua área total, apresentou materiais com desempenho pior que a envoltória da edificação real.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho surgiu com o objetivo principal de realizar um estudo acerca da eficiência energética de uma edificação comercial, localizado em Vitória, capital do Espírito Santo, por meio do método de simulação da INI-C. Com objetivos específicos de realizar uma revisão da literatura acerca da eficiência energética e o método de simulação da INI-C, aprender e utilizar o *Software SketchUp® Pro 2023* e *EnergyPlus® v23.1.0* (versão 23.1.0), estudar a eficiência da sua aplicação para o método de simulação e classificar uma edificação comercial a partir desses estudos. Para atingir os objetivos do trabalho, inicialmente, foram realizadas as etapas de revisão bibliográfica, para a criação de um embasamento teórico sólido para o trabalho, e definição da edificação a ser avaliada na aplicação do método, neste caso foi a sede do CREA-ES, que apresenta uma certificação de sustentabilidade, LEED nível *GOLD*, o que pode enriquecer discussões futuras que correlacionem a INI-C com outras certificações ligadas à eficiência energética e sustentabilidade das edificações. A partir da análise de projetos, fazendo o levantamento de dados de envoltória, iluminação, condicionamento de ar e dados gerais da edificação e, posteriormente, modelando a edificação no *Software* e imputando as informações necessárias para a simulação, conclui-se que a sede do CREA-ES cumpre com todos os critérios de elegibilidade necessários à obtenção de classificação Nível A.

Apesar do alcance dos objetivos propostos, o uso do programa *EnergyPlus® v23.1.0* representou uma experiência desafiadora. O tempo para aprendizado da utilização do *Software* e manipulação da modelagem foi curto, o que ocasionou muito retrabalho e constantes erros na simulação. Ademais, alguns dados relacionados aos sistemas construtivos e ao padrão de uso da edificação não estavam disponíveis no memorial descritivo e nos projetos arquitetônicos, o que exigiu uma análise crítica da edificação e simplificações.

Por fim, com todos os objetivos propostos alcançados de forma satisfatória, tendo como base o que foi realizado deste Projeto de Graduação, para estudos futuros sugere-se:

- Replicar o estudo fazendo uma análise financeira da economia de energia que a etiquetagem Nível A apresenta à edificação em relação à classificação de referência, Nível D;

- Fazer um levantamento de economia de energia e viabilidade de implementação de sistemas fotovoltaicos na cobertura da edificação;
- Estabelecer correlações entre a INI-C e certificações de sustentabilidade relacionadas à eficiência energética de edificações.

Essas sugestões visam expandir o conhecimento adquirido neste projeto de graduação e fornecer *insights* valiosos para aprimorar a eficiência energética de edificações comerciais, promovendo práticas mais sustentáveis e econômicas.

## REFERÊNCIAS

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

AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY. **The 2023 International Energy Efficiency Scorecard. A report that examines the energy efficiency policies and performance of 25 of the world's top energy-consuming countries.** Disponível em: <https://www.aceee.org/international-scorecard>. Acesso em: 23 jun. 2023.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica. Programa de Eficiência Energética.** Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/pee>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural - Conpet.** Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/conheca-o-programa>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/procel>. Acesso em: 20 abr. 2023.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia. Quem é Quem da Eficiência Energética.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/quem-e-quem>. Acesso em: 20 abr. 2023.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Energia nas construções: uma contribuição do setor à redução de emissões e de uso de fontes renováveis de energia.** Brasília: CBIC, 2017.

CARLUC. **Eficiência energética na arquitetura, o que é?** Disponível em: <https://carluc.com.br/arquitetura/eficiencia-energetica/>. Acesso em: 25 jun. 2023

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - CB3E. **Catálogo de Propriedades de Vidros Comercializados no Brasil. Florianópolis: UFSC, 2015.** Disponível em: [https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/catalogo-propriedades-vidros-comercializados-brasil-13032015\\_v2.pdf](https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/catalogo-propriedades-vidros-comercializados-brasil-13032015_v2.pdf).

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Eficiência Energética das Construções.** Disponível em: [https://cbic.org.br/en\\_US/artigo-eficiencia-energetica-das-construcoes/](https://cbic.org.br/en_US/artigo-eficiencia-energetica-das-construcoes/). Acesso em: 28 jun. 2023.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). **Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação.** São Paulo: CBCS, 2010.

CHANDEL, S. S.; SARKAR, A. **Review of energy simulation tools for buildings.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 50, p. 1301-1313, 2015.

CTE. **Certificação LEED: O que é e qual sua importância?** Disponível em: <https://cte.com.br/blog/sustentabilidade/certificacao-leed/>. Acesso em: 04 jul. 2023.

ECOM ENERGIA. **Top 10 setores que mais consomem energia elétrica no Brasil.** Ecom Energia, 01 jul. 2022. Disponível em: <https://ecomenergia.com.br/blog/setores-que-mais-consomem-energia-eletrica-no-brasil/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

EFICIENERGY. **O consumo de energia nas edificações no Brasil.** Disponível em: <http://eficienergy.com.br/3750/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

ELETROBRAS/PROCEL. **Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações - PROCEL EDIFICA.** Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8C4D8FDB-9E3B-4F1C-BF9A-0C7A4DB0F7C1%7D&Team=¶ms=itemID=%7B9D2B6E5E-5A2D-4E0F-AE8F-3C2B1C9E3D0A%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>. Acesso em: 20 abr. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Caderno de eficiência energética e demanda: plano decenal de expansão de energia 2032.** Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno de Eficiência e Demanda - PDE 2032 final\\_20230313cbcs.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno de Eficiência e Demanda - PDE 2032 final_20230313cbcs.pdf). Acesso em: 04 jul. 2023.

ENERGYPLUS. **South America WMO Region 3.** Disponível em: [https://energyplus.net/weather-region/south\\_america\\_wmo\\_region\\_3](https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3). Acesso em: 23 jun. 2023.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022.** Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20-%20Anu%3%A1rio%20Estat%3ADstico%20de%20Energia%20El%3%A9trica%202022.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

EPE/MME. **Balço Energético Nacional 2022: Ano base 2021.** Rio de Janeiro: EPE/MME, 2022.

FERRADOR FILHO, A. L.; AGUIAR, A. de O. e; KNISS, C. T. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COM BASE NOS CRITÉRIOS PROCEL: ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO PÚBLICO.** HOLOS, [S. l.], v. 7, p. 2–25, 2018. DOI: 10.15628/holos.2018.7216. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/7216>. Acesso em: 14 jul. 2023.

GBC BRASIL. **Certificação LEED.** Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacao/certificacao-leed/>. Acesso em: 04 jul. 2023.

IEA. **Energy Efficiency 2020 – Analysis**. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2020>. Acesso em: 20 jun. 2023.

IEA. **Energy Efficiency 2022 – Analysis**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>. Acesso em: 20 jun. 2023.

IEA. **World Energy Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 20 jun. 2023.

INMETRO. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C)**. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/inic>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

INMETRO. **Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C). Portaria nº 372, de 17 de setembro de 2010**. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/comercial/regulamentos>>. Acesso em: 20 abr. 2023

KRELLING, A. F. et al. **Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de residências: NBR 15575**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., Porto Alegre, RS. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

LABEEE. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas**. Florianópolis: UFSC, 2010. Disponível em: <[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo\\_caixa\\_v4.PDF](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/catalogo_caixa_v4.PDF)>.

LABORATÓRIO DE ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO (LADE). **O que é eficiência energética em edificações?** Disponível em: <https://lade.ufms.br/oi/duvidas/o-que-e-eficiencia-energetica-em-edificacoes/>. Acesso em: 23 jun. 2023.

Luciana Lima. (2021). **Palestra sobre Machine Learning** [Vídeo]. Na playlist Aprendizado de Máquina. YouTube. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=CHOJC7O-m1w&list=PLPohPMMcWBeFGBVOTzVldHGfB5ZHPPIYC&ab\\_channel=LucianaLima](https://www.youtube.com/watch?v=CHOJC7O-m1w&list=PLPohPMMcWBeFGBVOTzVldHGfB5ZHPPIYC&ab_channel=LucianaLima). Acesso em: 14 jul. 2023.

ONU BRASIL. **Energia limpa e acessível**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 20 abr. 2023.

OWA. **Forros Minerais Acústicos**. São Paulo: OWA, 2019. Disponível em: <<https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/7694/39042/catalogo-forros-minerais.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

PASSALACQUA. **Carpete Tarkett Basic Grid**. Disponível em: <https://www.passalacqua.com.br/produto/carpete-tarkett-basic-grid44073985.html>. Acesso em: 30 jun. 2023.

PBE EDIFICA. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/inic>. Acesso em: 25 jun. 2023.

PBE EDIFICA. **Nova Instrução Normativa Inmetro.** Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/nova-ini>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PBE-EDIFICA. **Fatores de Energia Primária.** 2020. Acesso em: 17 de junho de 2023.

PIMENTEL, B. P. et al. **Comparação dos métodos simplificado e de simulação propostos no novo regulamento brasileiro de etiquetagem de edificações públicas.** Ambiente Construído , Porto Alegre , v. 21 , n. 4 , p. 265-282 , out./dez. 2021 . DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000400565>.

PROCEL INFO. **Etiquetagem em Edificações.** Disponível em: <https://bing.com/search?q=etiquetagem+energ%C3%A9tica+de+edifica%C3%A7%C3%B5es+no+brasil>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

SILVA, V. G. et al. **Análise da eficiência energética e custo benefício no uso de sistemas fotovoltaicos em edificações comerciais na cidade de João Pessoa-PB.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1, p. 1-13, 2016.

SIRTULI, B. P.; DIAS, R. H. M. de P.; RODRIGUES, E. A. N. **Eficiência energética da envoltória de edifícios históricos: métodos RTQ-C e INI-C.** PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 13, n. 00, p. e022007, 2022. DOI: 10.20396/parc.v13i00.8660644. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8660644>. Acesso em: 10 jul. 2023.

SORGATO, M. J. et al. **Comparing the energy performance of Brazilian and Portuguese residential buildings using EnergyPlus and eQUEST software tools: A case study in Florianópolis and Porto cities.** Energy and Buildings, v. 116, p. 1-12, 2016.

Transformation Holdings. **Top Energy Efficient Countries.** Disponível em: <https://www.transformationholdings.com/climate-change/top-energy-efficient-countries/>. Acesso em: 20 jun. 2023.

UFSC. **Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Aprovada a nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C).** Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/node/966>. Acesso em: 25 jun. 2023.

LAHASS, F. C.; VELASCO, L. R. **Análise da eficiência energética em edifício comercial pelo método simplificado da INI-C.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 126. 2022.



### APÊNDICE A - Padrão de uso de pessoas.

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Atividade	Calor por pessoa (W)*	Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)
ZT 01		08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 02	Toda área do subsolo	08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 03		08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 04		08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 05	Estacionamento (térreo)	08:00 às 18:00	Andando	180	-
ZT 06	Banheiro e circulação, estacionamento (térreo)	08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 07	Hall (térreo)	08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 08	Copa (térreo)	08:00 às 18:00	Sentado	108	10
ZT 09	Corredor (térreo)	08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 10		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 11	Auditório	08:00 às 18:00	Sentado	108	10
ZT 12	Banheiros (térreo)	08:00 às 18:00	Sentado	108	10
ZT 13		08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 14	Salão (térreo)	08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 15		08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Atividade	Calor por pessoa (W)*	Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)
ZT 16	Salão 1 (1º pav.)	08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 17	Salão 2 (1º pav.)	08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 18		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 19	Corredor (1º pav.)	08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 20		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 21		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 22	Banheiros (1º pav.)	08:00 às 18:00	Sentado	108	10
ZT 23	Salão 1 (2º pav.)	08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 24	Salão 2 (2º pav.)	08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 25		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 26	Corredor (2º pav.)	08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 27		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 28		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 29	Banheiro e copa (2º pav.)	08:00 às 18:00	Sentado	108	10
ZT 30	Salão 1 (3º pav.)	08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 31		08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 32	Salão 2 (3º pav.)	08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 33		08:00 às 18:00	Digitando	117	10
ZT 34	Corredor	08:00 às 18:00	Andando	180	10

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Atividade	Calor por pessoa (W)*	Ocupação (m <sup>2</sup> /pessoa)
ZT 35	(3º pav.)	08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 36		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 37		08:00 às 18:00	Andando	180	10
ZT 38	Banheiro e copa (3º pav.)	08:00 às 18:00	Sentado	108	10
ZT 39	Cobertura	08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 40		08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 41		08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10
ZT 42		08:00 às 18:00	Sentado/ Andando	144	10

Fonte: Autores (2023); \* U. S. Department of Energy (2021).

### APÊNDICE B - Sistema de iluminação.

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Horas de uso/dia	Nº de pontos de luz	Tipo de Luminária	Potência Lâmpada [W]	FAP	Potência de iluminação em uso [W]	Potência Total Instalada por zona [W]
ZT 01		08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 02	Toda área do subsolo	08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 03		08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 04		08:00 às 18:00	10:00	30.00	*	40	0.8	32	960.00
ZT 05		Estacionamento (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	40.00	*	40	0.8	32
ZT 06	Banheiro e circulação, estacionamento (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	6.00	*	40	0.8	32	192.00
ZT 07	Hall (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	15.00	*	40	0.8	32	480.00
ZT 08	Copa (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	4.00	*	40	0.8	32	128.00
ZT 09	Corredor (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	4.00	*	40	0.8	32	128.00
ZT 10		08:00 às 18:00	10:00	4.00	*	40	0.8	32	128.00
ZT 11	Auditório	08:00 às 18:00	10:00	14.00	*	40	0.8	32	448.00
ZT 12	Banheiros (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	5.00	*	40	0.8	32	160.00
ZT 13	Salão (térreo)	08:00 às 18:00	10:00	37.00	*	40	0.8	32	1184.00
ZT 14		08:00 às 18:00	10:00	4.00	*	40	0.8	32	128.00
ZT 15		08:00 às 18:00	10:00	5.00	*	40	0.8	32	160.00
ZT 16	Salão 1 (1º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	61.00	*	40	0.8	32	1952.00
ZT 17	Salão 2 (1º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	61.00	*	40	0.8	32	1952.00
ZT 18	Corredor (1º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 19		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 20		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 21		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 22	Banheiros (1º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	5.00	*	40	0.8	32	160.00

Zona Térmica	Ambiente	Padrão de Uso	Horas de uso/dia	Nº de pontos de luz	Tipo de Luminária	Potência Lâmpada [W]	FAP	Potência de iluminação em uso [W]	Potência Total Instalada por zona [W]
ZT 23	Salão 1 (2º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	61.00	*	40	0.8	32	1952.00
ZT 24	Salão 2 (2º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	61.00	*	40	0.8	32	1952.00
ZT 25	Corredor (2º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 26		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 27		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 28		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 29	Banheiro e copa (2º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	5.00	*	40	0.8	32	160.00
ZT 30	Salão 1 (3º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	57.00	*	40	0.8	32	1824.00
ZT 31	Salão 2 (3º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 32		08:00 às 18:00	10:00	57.00	*	40	0.8	32	1824.00
ZT 33		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 34		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 35	Corredor (3º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 36		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 37		08:00 às 18:00	10:00	3.00	*	40	0.8	32	96.00
ZT 38	Banheiro e copa (3º pav.)	08:00 às 18:00	10:00	5.00	*	40	0.8	32	160.00
ZT 39	Cobertura	08:00 às 18:00	10:00	13.00	*	40	0.8	32	416.00
ZT 40		08:00 às 18:00	10:00	13.00	*	40	0.8	32	416.00
ZT 41		08:00 às 18:00	10:00	13.00	*	40	0.8	32	416.00
ZT 42		08:00 às 18:00	10:00	13.00	*	40	0.8	32	416.00
<b>Potência total instalada (W)</b>									<b>23200.00</b>

\*Softled Philips, Dali, 40W-220V, 625x625mm

Fonte: Autores (2023); LAHASS E VELASCO (2022).











**ANEXO A – PLANTAS DO PROJETO ARQUITETÔNICO**

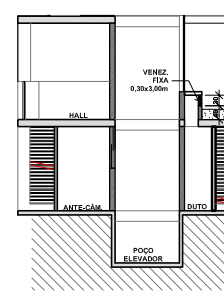
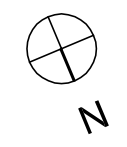
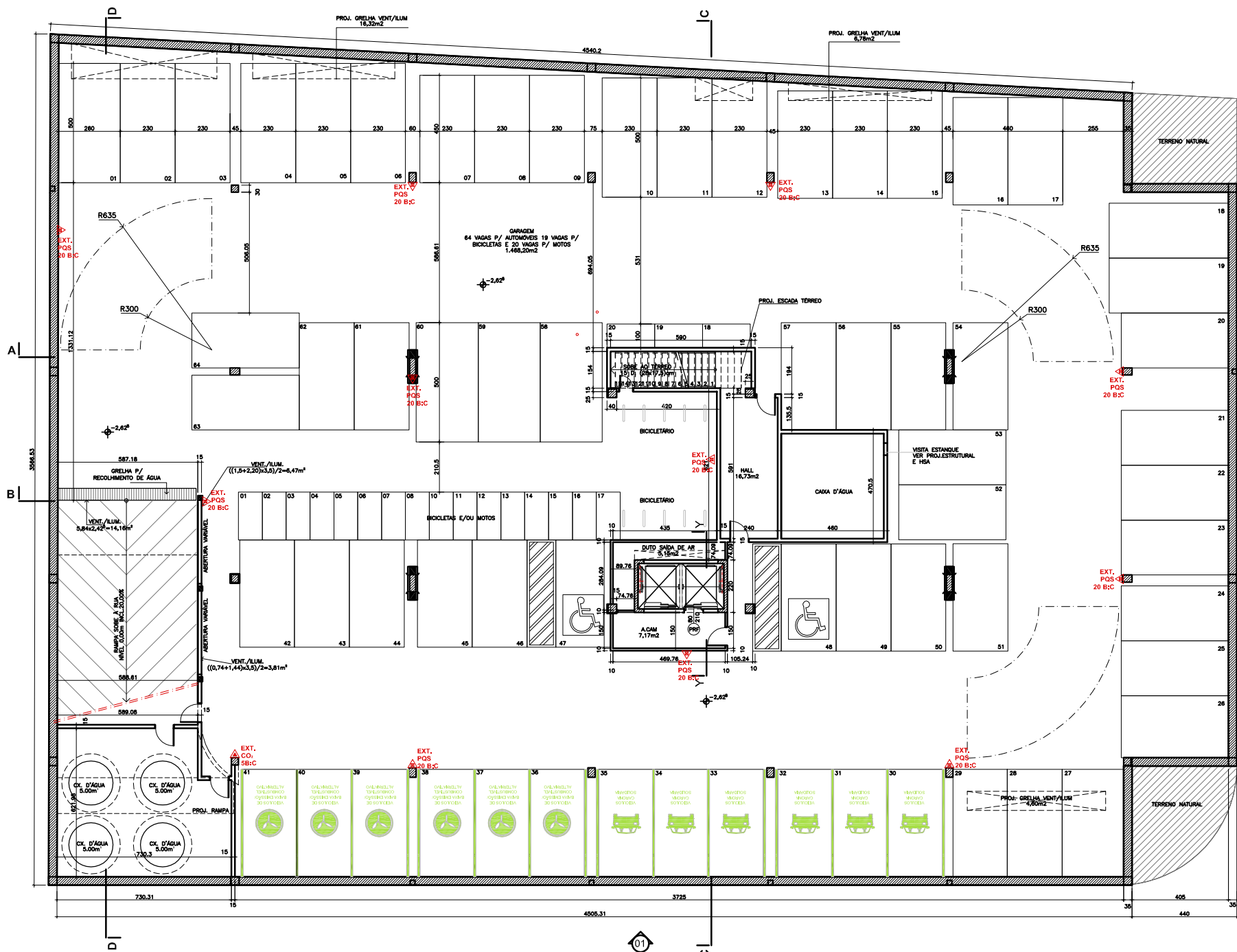


TABELA DE VAGAS NO SUBSOLO

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
VAGAS PARA VEICULOS EFICIENTES	06
VAGAS PARA CARONA	06
VAGAS PARA MOTOS	20
VAGAS PARA BICICLETAS	19
VAGAS PARA AUTOMOVES	52

OBSERVAÇÕES:  
- PARA EXECUÇÃO, UTILIZAR PROJETOS EXECUTIVOS ESPECIFICOS.

REVISÃO		
DATA	REVISÃO No.	DESCRIÇÃO
13/02/12	03	MODIFICAÇÃO CAIXA DE ÁGUA PLUVIAL / LEED
03/10/11	02	DUTO EXAUSTÃO SUBSOLO / INCENDIO
14/09/11	01	REVISÃO GERAL (VIRGINIA)
11/03/11	00	EMISSÃO INICIAL



**PROJETO EXECUTIVO**  
NOVA SEDE OBRA 124

**LORENTE S.A.**  
Rua João da Cruz, 25, 4º andar, Praia do Camo, Vitoria-ES.  
fone: 2121 5151 / CEP: 29055-620 / lorente@lorente.com.br

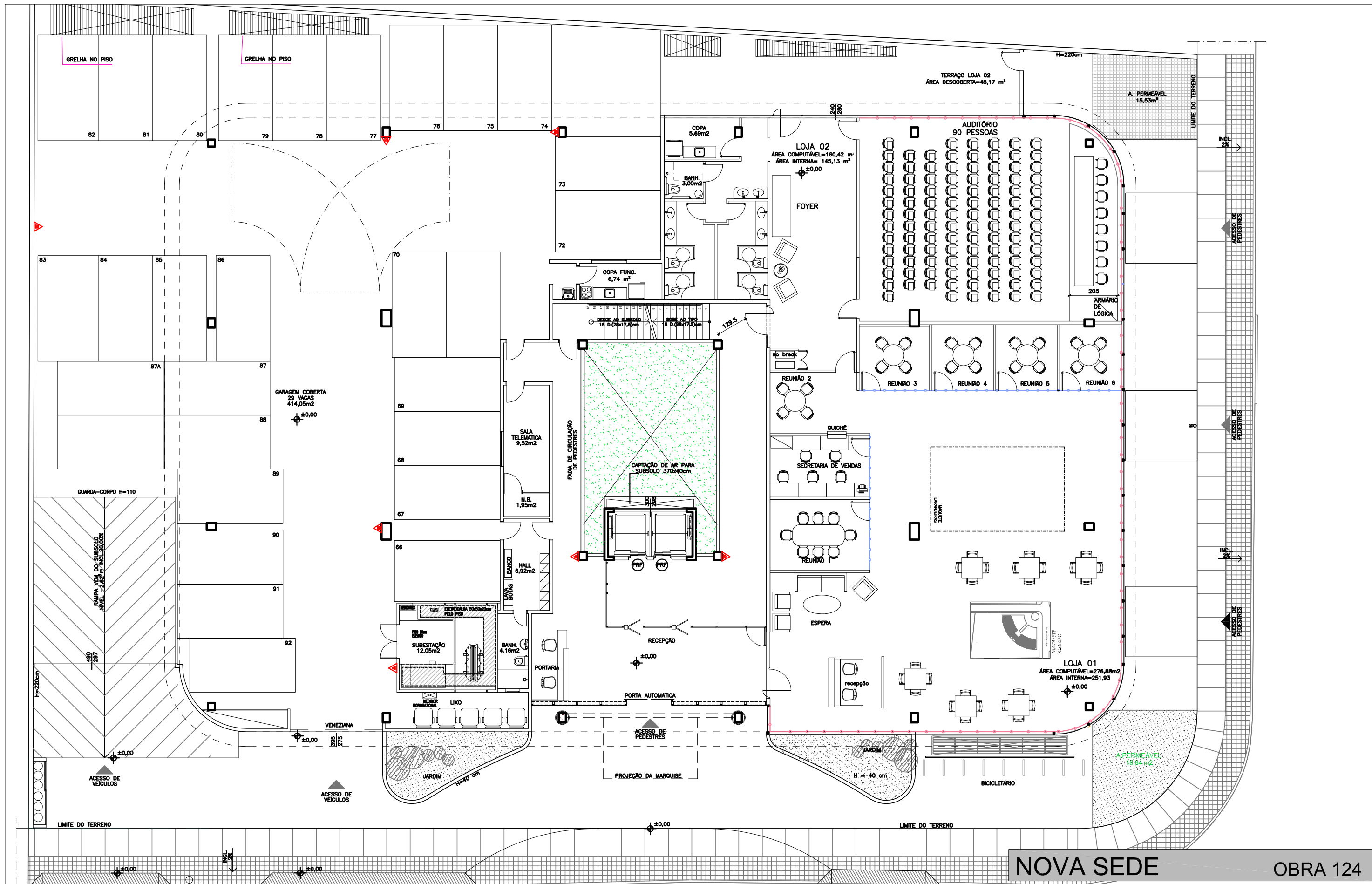
TIPO DE PROJETO: **ARQUITETURA**

TÍTULO DA PRONHA:	PAV. SUBSOLO	PRONHA Nº:	01
LOCAL:	RUA GUILHERME VAREJÃO ESQUINA COM IZIDRO BENEZATH, ENSEADA DO SUÁ, VITÓRIA-ES		/07
DATA DE CONCLUSÃO DO PROJETO:	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO: MARÇO/2011	MYRION SYRRAH FACHETTI CREA 6.303-D-ES	

NOTAS:

- AS PAREDES DA ESCADA COMUM, DO ACESSO/ESCAPE, DA CASA DE MÁQUINAS DE ELEVADOR, DA CASA DE BOMBAS DE RESERVA, DA CASA DA BCI E DAS ANTECÂMARAS DEVERÃO RESISTIR A 2h DE FOGO NO MÍNIMO, CONFORME ITEM 5.7.1 DA NT10/1 E DA NT09.
- AS PAREDES QUE SEPARAM AS UNIDADES AUTÔNOMAS ENTRE SI E DAS ÁREAS DE USO COMUM E DAS ÁREAS EXTERNAS DA EDIFICAÇÃO DEVERÃO RESISTIR A 1h DE FOGO NO MÍNIMO, CONFORME ITEM 5.7.2 DA NT09.
- AS DEMAIS PAREDES DA EDIFICAÇÃO DEVERÃO RESISTIR A 1h DE FOGO NO MÍNIMO, DE ACORDO COM A TABELA "A" DA NT09.
- AS GUARDAS E CORRIMÕES DEVERÃO SER CONSTRUÍDOS CONFORME ITEM 5.8 DA NT10/1 CBMES-CAT, NBR 14718 E NBR 9050.
- DEVERÁ SER INSTALADO NA EDIFICAÇÃO UM SISTEMA DE DETECÇÃO E ALARME BI-TONAL PARA INCÊNDIO PROJETADO E EXECUTADO DE ACORDO COM A NBR 17240 E NT17 CBMES-CAT.
- O SISTEMA DE SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA DEVERÁ SER EXECUTADO DE ACORDO COM A NT14 CBMES-CAT E NBR 13434.
- OS PISOS DOS DEGRAUS E PATAMARES DEVERÃO SER REVESTIDOS COM MATERIAL INCOMBUSTÍVEL E ANTI-DERRAPANTE CONFORME ITEM 5.7.1.8 DA NT10/1 CBMES-CAT E NBR 9442 OU NORMA ESPECÍFICA.
- O PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA E A ILUMINAÇÃO POR BALIZAMENTO/SINALIZAÇÃO (SETAS E BLOCOS INDICADORES DA SADA) DEVERÁ ATENDER AS EXIGÊNCIAS DA NT13 CBMES-CAT E NBR 13088.
- OS VIDROS DA EDIFICAÇÃO DEVERÃO ATENDER AO DISPOSTO NOS ITENS 5.8.1.8 E 5.8.1.8.1 DA NT10/1 CBMES-CAT, NBR 7199, NBR 14897 - VIDRO LAMINADO, NBR 14898 - VIDRO TEMPERADO E NBR NM 295 - VIDRO ARMADO - DEVERÁ SER INSTALADO NA EDIFICAÇÃO UM SISTEMA DE PROTEÇÃO POR EXTINTORES DE ACORDO COM CBMES-CAT. A CATEGORIA DO VISTORADOR PODERÁ SER LOCALIZADA E ESPECIFICADA POR OCASIÃO DA VISITA DO CBMES-CAT.
- AS PAREDES ESTÃO COTADAS SEM REVESTIMENTO.
- PAREDES RESISTENTES A 2h DE FOGO NO MÍNIMO - BLOCO VAZADO DE CONCRETO (2 FUROS) 14x19x38cm REVESTIDO EXTERNA E INTERNAMENTE C/ARGAMASSA DE CIMENTO/AREIA/CAL C/1,5cm DE ESPESURA. ESPESURA MÍN=17cm
- PAREDE RESISTENTE A 1h DE FOGO NO MÍNIMO-TUJO CERÂMICO 10x20x20cm REVESTIDO EXTERNA E INTERNAMENTE C/ARGAMASSA DE CIMENTO/AREIA/CAL C/1,5cm DE ESPESURA. ESPESURA MÍN. = 13cm.

SUBSOLO  
ESC:1/100



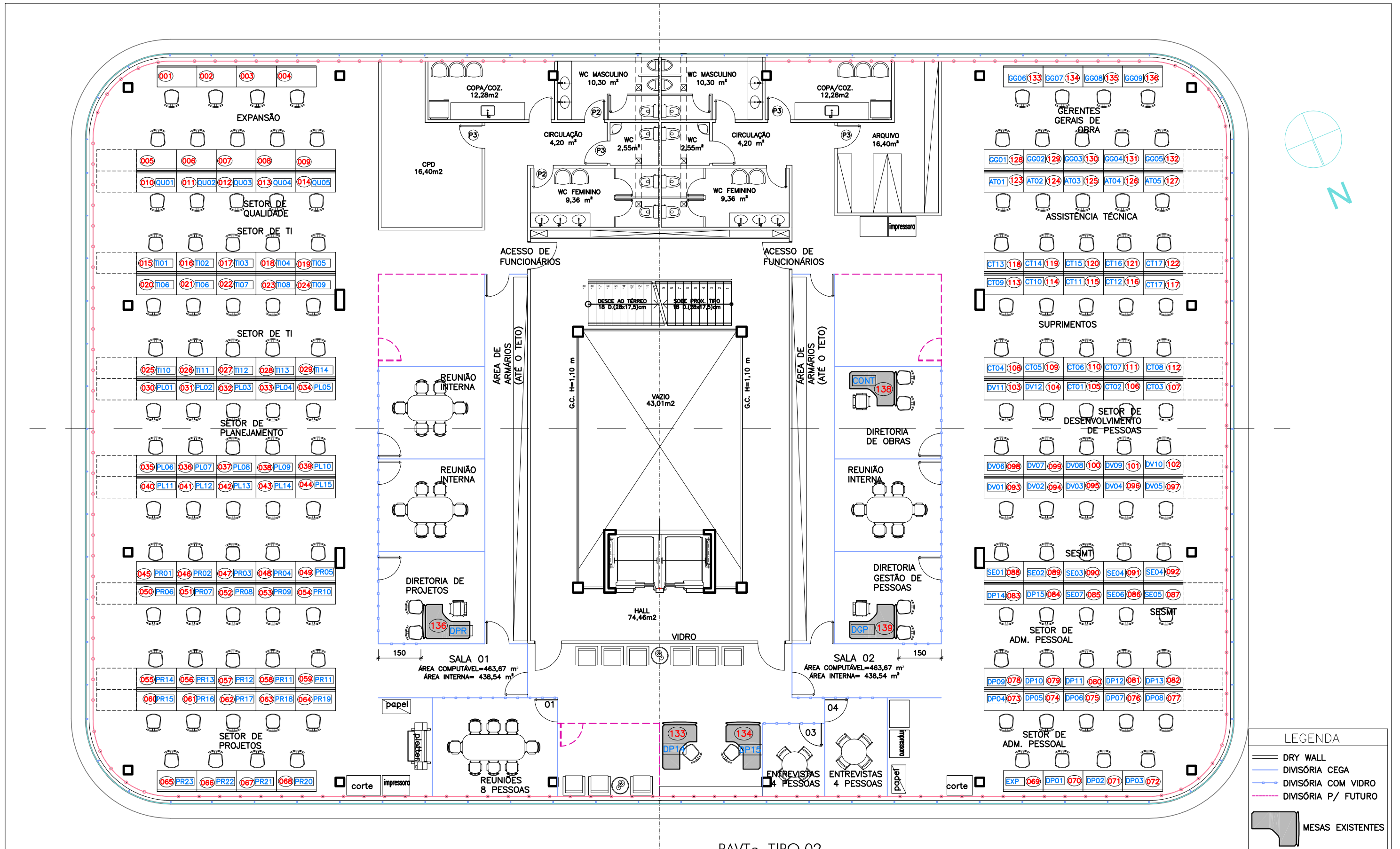
**NOVA SEDE** **OBRA 124**

	REV. N°:	DATA:
	07	18/10/12
PROJETO:		
MYRION	DATA:	

**LAY OUT  
PAVto. TÉRREO**

**01/04**

PRANCHA N°.:  
DATA: 02/02/12



**LEGENDA**

- DRY WALL
- DIVISÓRIA CEGA
- DIVISÓRIA COM VIDRO
- DIVISÓRIA P/ FUTURO
- ▭ MESAS EXISTENTES

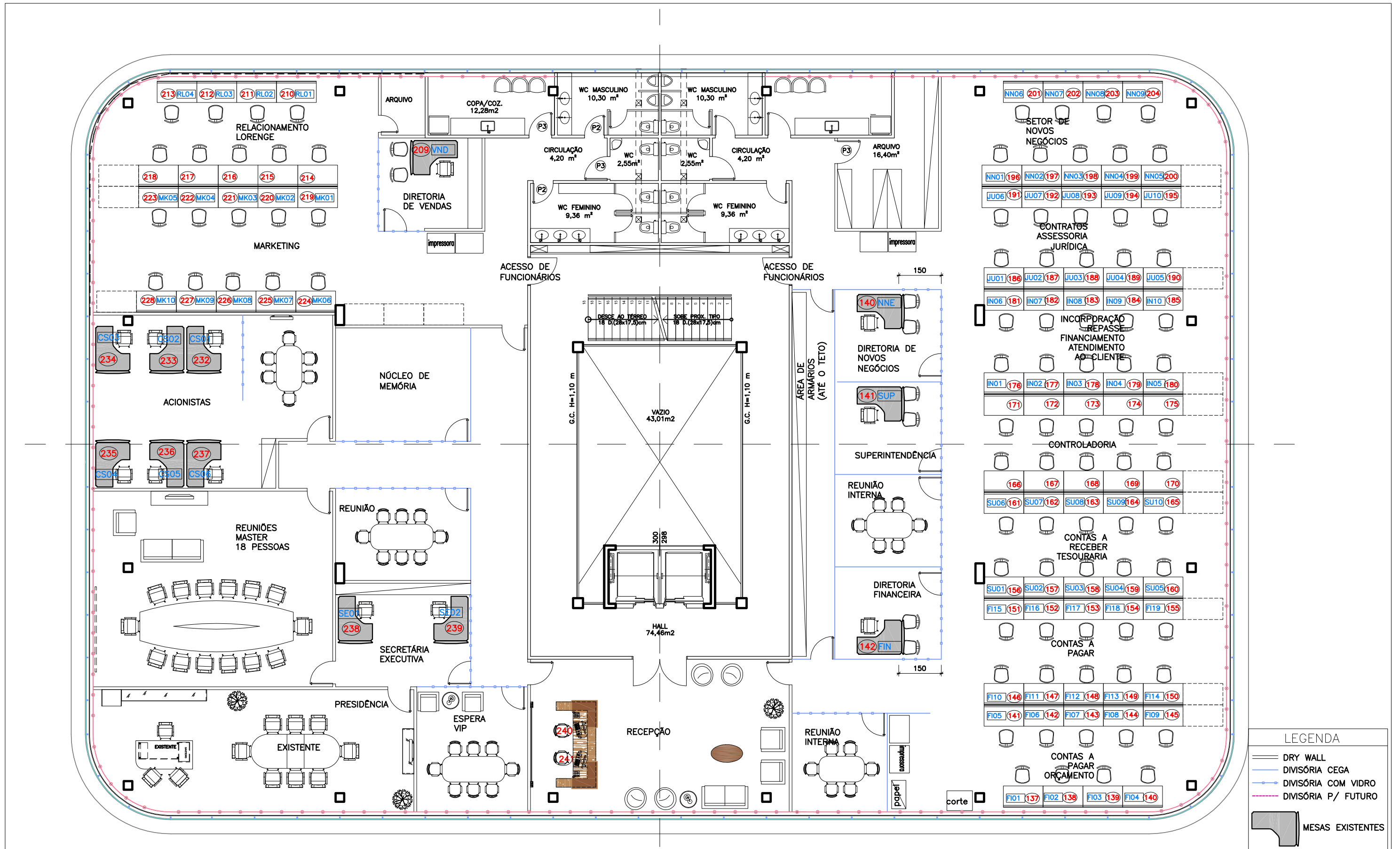
PAVto. TIPO 02  
 ESCALA: 1/125

**NOVA SEDE** **OBRA 124**

	REV. N°:	DATA:
	07	18/10/12
PROJETO:	MYRION	
DATA:		

**LAY OUT**  
**3º PAVIMENTO**

PRANCHA N°.: **02/04**  
 DATA: 02/02/12



**LEGENDA**

- DRY WALL
- DIVISÓRIA CEGA
- DIVISÓRIA COM VIDRO
- DIVISÓRIA P/ FUTURO
- MESAS EXISTENTES

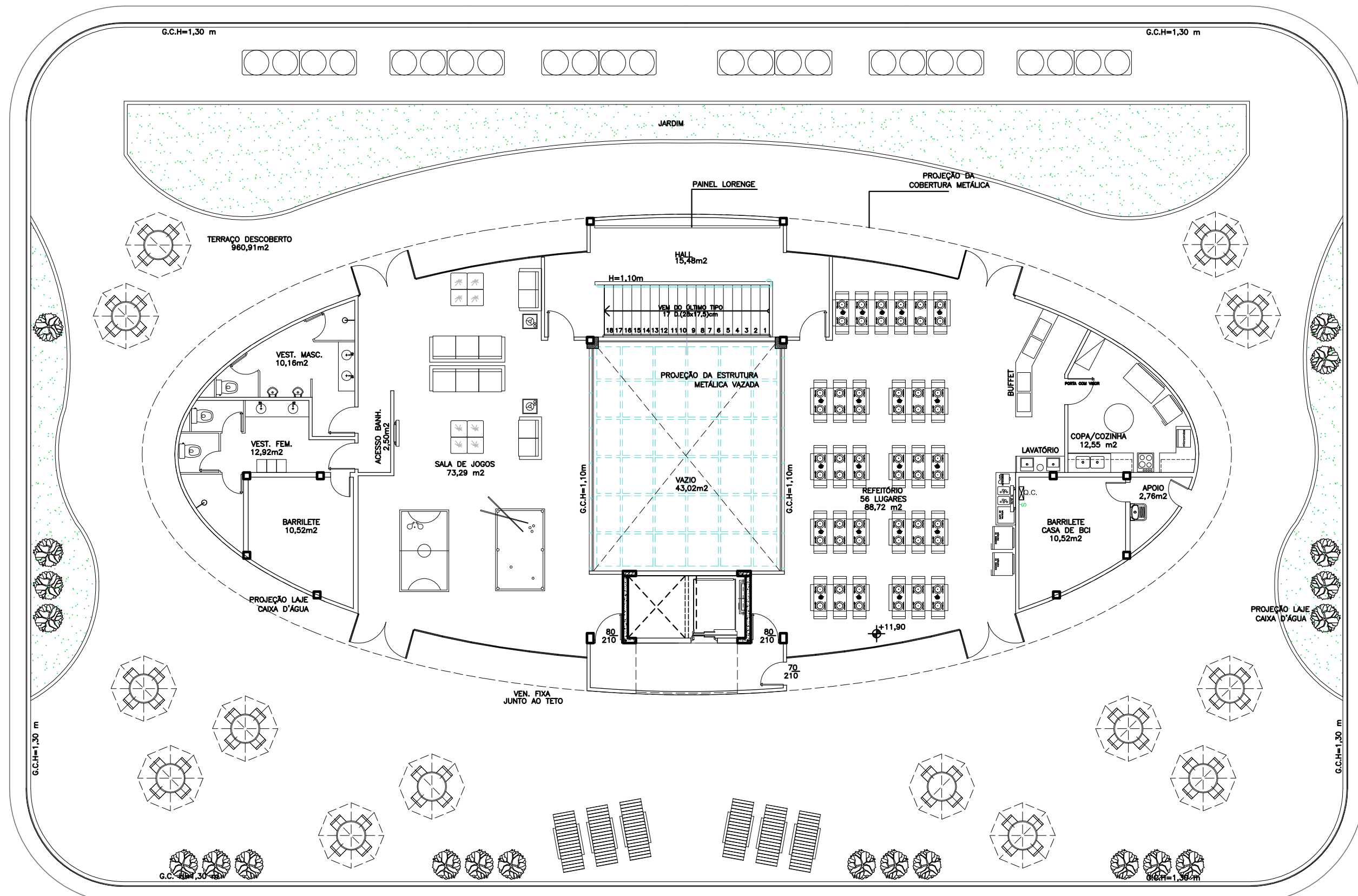
PAVto. TIPO 03  
 ESCALA: 1/125

**NOVA SEDE** **OBRA 124**

	REV. N°:	DATA:	
	07	18/10/12	
PROJETO:	MYRION		DATA:



**LAY OUT**  
**4º PAVIMENTO**

PRANCHA N°.:  
**03/04**  
 DATA: 02/02/12



PAVto. TIPO 03  
 ESCALA: 1/125

NOVA SEDE OBRA 124

	REV. N°:	DATA:	
	07	18/10/12	
PROJETO:		DATA:	
MYRION			

# LAY OUT COBERTURA

PRANCHA N°.:  
**04/04**  
 DATA:  
 02/02/12