FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

PLANO DE RETROFIT DE ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO CORPORATIVA COM ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Erick Fraiha Machado

2023 **CAMPO GRANDE|MS**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL

FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA

MESTRADO PROFISSIONAL EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

PLANO DE RETROFIT DE ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO CORPORATIVA COM ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

ERICK FRAIHA MACHADO

Trabalho de defesa do Mestrado Profissional apresentada na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração de Eficiência Energética em Edificações.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Santos Silva

CAMPO GRANDE, MS

SETEMBRO / 2023

Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

FOLHA DE APROVAÇÃO

ERICK FRAIHA MACHADO

PLANO DE RETROFIT DE ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO CORPORATIVA COM ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Redação final do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado pela Banca Examinadora em 06 de setembro de 2023, na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do titulo de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade.

Banca examinadora:

Dr. Arthur Santos Silva - (Orientador)

Dra. Ana Paula da Silva Milani.

Dra. Helena Rodi Neumann.

Dr. Gilfranco Medeiros Alves.

Dr. Andres Batista Cheung.

Dra. Valeria Ramos Baltazar Quevedo.

Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula da Silva Milani**, **Professora do Magistério Superior**, em 12/12/2023, às 15:14, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Helena Rodi Neumann**, **Professora do Magistério Superior**, em 12/12/2023, às 15:21, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Arthur Santos Silva**, **Professor do Magisterio Superior**, em 12/12/2023, às 15:29, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

Documento assinado eletronicamente por **Gilfranco Medeiros Alves**, **Professor do Magisterio Superior**, em 18/12/2023, às 10:57, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4537470** e o código CRC **92071371**.

COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE

Av Costa e Silva, s/nº - Cidade Universitária

Fone:

CEP 79070-900 - Campo Grande - MS

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos pela confiança e disponibilidade de informações essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao Programa de Pós-Graduação em Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico, técnico e profissional. Agradeço ao Prof. Dr. Arthur Santos Silva bem como aos professores e professoras avaliadores pelas preciosas contribuições. Aos colegas de simulação que compartilham suas experiências nas plataformas de compartilhamento de vídeos, nos grupos de discussão e fóruns de simulação, em especial ao Rodrigo Leitzke por me clarear muitas vezes os caminhos deste percurso.

RESUMO

Mediante o esforço internacional para reduzir impactos ambientais, as emissões de CO_2 e o consumo de energia, este trabalho foca no uso de elementos construtivos com melhor desempenho energético de maneira a contribuir para a melhoria da eficiência energética e sustentabilidade no ambiente construído. O objetivo deste trabalho é apresentar um plano de retrofit de envoltória com análise de *payback* e desempenho energético de três propostas de intervenção (MBI, MMI e MAI) em uma edificação pública corporativa da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, localizado em clima tropical de savana. Por meio da simulação computacional paramétrica foi analisado o desempenho energético, o desempenho térmico e lumínico das propostas de intervenção definidas a partir do custo inicial de investimento. A modelagem foi feita no Rhinoceros®. As configurações das simulações foram realizadas na plataforma Grasshopper® com *plug-ins* Honeybee e Ladybug®. Estas foram executadas por meio do Honeybee, Ladybug®, EnergyPlus™, OpenStudio® e Radiance. Os resultados demonstraram melhores condições de conforto em uso de ventilação natural no MMI com 20,6% o tempo de ocupação com sensação térmica de conforto. Melhor desempenho lumínico foi verificado no MAI considerando a autonomia de luz natural de 42,9% do tempo de ocupação e 54,4% do tempo com aproveitamento de iluminancia útil entre 300 Lux e 1000 Lux. A análise de custo-benefício por cálculo de *payback*, não apresentou resultado satisfatório para nenhuma proposta de retrofit, mas o MAI se manifestou sendo a mais viável ao considerar redução de 62,57% no consumo energético para resfriamento.

Palavras-chave: *retrofit*, simulação paramétrica, *payback*

ABSTRACT

Whereas the international effort to reduce environmental impacts, CO2 emissions and energy consumption, this work focus in the use of construction elements with improved energy performance in order to contribute to the sustainability and energy efficiency in the built environment. The objective of this dissertation is to present a envelop retrofit plan with payback and energy performance analysis of three different retrofit intervention proposals (MBI, MMI and MAI) in a corporate public building of the Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos, located in a tropical savanna climate. Through parametric computer simulation, the energy performance, thermal and light performance of the intervention proposals defined from the initial investment cost were analyzed. The modeling was done in Rhinoceros®. Simulation settings were performed on the Grasshopper® platform with Honeybee and Ladybug® plug-ins. These were performed using Honeybee, Ladybug®, EnergyPlusTM, OpenStudio® and Radiance. The results showed better comfort conditions in the use of natural ventilation in the MMI with 20.6% of the occupancy time with a thermal sensation of comfort. Better luminous performance was verified in the MAI considering Daylight Autonomy of 42.9% of the occupation time and 54.4% of useful illuminance between 300 Lux and 1000 Lux. The cost-benefit analysis by payback calculation did not present a satisfactory result for any retrofit proposal, but the MAI proved to be the most viable when considering a 62.57% reduction in energy consumption for cooling.

Keywords: retrofit, parametric simulation, payback

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comparativo de eficiência na modalidade de *retrofit* 21

Figura 2 - Vista sistema de brises cinemáticos das torres Al Bahr 23

Figura 3 - Vista do Pavilhão Central One Ocean em Yeosu na Coréia do sul com brises cinéticos elásticos 24

Figura 4 - Departamento de Engenharia, Química e Meio Ambiente da Universidade do País Basco em Bilbao, objeto da pesquisa de Blanco et al. (2019) 26

Figura 5 - Arena Pantanal com painéis de membrana de sombreamento 28

Figura 6 - Vista das fachadas leste e norte do CTCECG 33

Figura 7 - Imagem aérea do entorno do CTCECG. 34

Figura 8 - Modelagem volumetria Modelo Real 36

Figura 9 - Seção longitudinal do CTCECG e detalhe da cobertura em *shed* 38

Figura 10 - Aberturas fachadas sul e leste no Modelo Real 39

Figura 11 - Aberturas fachadas norte e oeste no Modelo Real 40

Figura 12 - Detalhe módulo típico de janela 40

Figura 13 - Planta luminárias do piso superior 42

Figura 14 - Planta luminárias do piso térreo 43

Figura 15 - Climatização e ventilação do pavimento superior 45

Figura 16 - Climatização e ventilação do pavimento térreo 46

Figura 17 - Etapas do método 49

Figura 18 - Imagem ilustrativa Modelo Real - MR 51

Figura 19 - Imagem ilustrativa Modelo Baixo Investimento (MBI) 54

Figura 20 - Imagem ilustrativa Modelo Médio Investimento (MMI) 55

Figura 21 - Imagem ilustrativa Modelo Baixo Investimento (MAI) 57

Figura 22 - Modelagem no Rhino do Modelo Base para análise exploratória 59

Figura 23 - Zoneamento térmico do modelo de simulação 61

Figura 24 - Script de vinculação dos parâmetros à geometria 64

Figura 25 - *Script* da agenda da área operacional 65

Figura 26 - *Script* de configuração de carga térmica interna da área operacional 65

Figura 27 - Configuração de alguns dos materiais aplicados 66

Figura 28 - Aplicação de composição de materiais nos elementos construtivos 66

Figura 29 - Autonomia de iluminação natural acima de 300Lux MR pavimento térreo (%) ... 73

Figura 30 - Autonomia de iluminação natural acima de 300Lux MR pavimento superior (%) 74

Figura 31 - Mapeamento de conforto do MR dos pavimentos térreo e superior respectivamente em condição de ventilação natural e climatização (%) 75

Figura 32 - Mapeamento de conforto do MR dos pavimentos térreo e superior respectivamente em condição de ventilação natural (%) 76

Figura 33 - Mapeamento de distribuição de iluminância útil no pavimento superior no MR, MBI, MMI e MAI 80

Figura 34 - Mapeamento de distribuição de iluminância útil no pavimento superior no MR, MBI, MMI e MAI que extrapola 1000 Lux 81

Figura 35 - Mapeamento de conforto do pavimento térreo de MR, MBI, MMI e MAI 85

Figura 36 - Mapeamento de conforto do pavimento superior de MR, MBI, MMI e MAI..... 85

Figura 37 - Mapeamento de desconforto de calor no pavimento térreo em MR, MBI, MMI e MAI (%) 87

Figura 38 - Mapeamento de desconforto de calor no pavimento superior em MR, MBI, MMI e MAI (%) 87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Orientação das aberturas Fonte: Autor (2023) 41

Gráfico 2 - Consumo Total do Modelo Real (MWh/ano) 72

Gráfico 3 - Autonomia de Luz Natural do MR (%) 72

Gráfico 4 - Conforto térmico de MR climatizado e com ventilação natural (%) 75

Gráfico 5 - Comparativo de conforto térmico de MR: ventilação natural × ventilação natural e climatização (%) 75

Gráfico 6 - Comparativo de consumo anual para resfriamento entre MR, MBI, MMI e MAI.. 78

Gráfico 7 - Comparativo da redução de consumo para resfriamento (%) 78

Gráfico 8 - Consumo energético total anual dos modelos simulados (KWh/Ano) 79

Gráfico 9 - Comparativo de aproveitamento de iluminância útil de luz natural entre 300 lux e 1000 lux 79

Gráfico 10 - Comparativo de iluminância útil acima de 1000Lux..... 82

Gráfico 11 - Comparativo de autonomia de luz natural entre MR, MBI, MMI e MAI..... 82

Gráfico 12 - Comparativo de conforto térmico médio (%)..... 84

Gráfico 13 - Comparativo de desempenho em conforto do MBI, MMI e MAI 84

Gráfico 14 - Comparativo detalhado de percepção de desconforto por frio (%) 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações dos Equipamentos de Climatização 44

Tabela 2 - Composição das Paredes Externas 51

Tabela 3 - Composição das Paredes Internas 51

Tabela 4 - Composição divisórias internas 52

Tabela 5 - Composição da cobertura com laje 52

Tabela 6 - Composição da cobertura com forro 52

Tabela 7 - Composição da laje de piso 53

Tabela 8 - Propriedades dos materiais propostos para simulação do MBI 54

Tabela 9 - Propriedades dos materiais propostos para simulação do MMI 56

Tabela 10- Propriedades dos materiais propostos para simulação do MAI 57

Tabela 11 - Previsões de Investimento para as propostas de *retrofit* 59

Tabela 12 - Absortância das superfícies interna e externas dos modelos simulados (α) 61

Tabela 13 - Parâmetros invariáveis da configuração da simulação 62

Tabela 14 - *Setpoints* de acionamento da ventilação natural 62

Tabela 15 - *Setpoints* de acionamento do ar-condicionado 63

Tabela 16 – Consumo total e economia estimada 89

Tabela 17 - Balanço financeiro de *payback* 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modalidade de *retrofit*, conforme Sarihi et al. (2020). 22

Quadro 2 - Modalidade de M&V do IPMVP (EVO, 2022) 30

Quadro 3 - Etapas da simulação e suas ferramentas 69

Quadro 4 - Resumo de intervenções de *retrofit* 77

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AOV	Ângulo de Obstrução Vizinha
BDI	Benefício de Despesa Indireta
CO2	Dióxido de carbono
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
COP	Coeficiente de Performance
CTCECG	Centro de Tratamento de Cartas e Encomendas Campo Grande
DA	Daylight Autonomy
DF	Distrito Federal
DPE	Densidade de Potência para Equipamentos
DPI	Densidade de Potência de Iluminação
EPS	Isolante de poliestireno expandido
EPW	Arquivo de dados meteorológicos EnergyPlus
ES	Espírito Santo
GtCO2	Unidade de medida em Bilhões de toneladas de Dióxido de carbono
HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovenamental sobre Mudanças Climáticas
IPMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho
IRS	Índice de refletividade solar inicial
KWh	Unidade de medida em kilowatts-hora
LED	Diodo Emissor de Luz

M&V	Measurement and Verification
MAI	Modelo Alto Investimento
MBI	Modelo Baixo Investimento
MME	Ministério de Minas e Energia
MMI	Modelo Médio Investimento
MR	Modelo Real
MS	Mato Grosso do Sul
MWh	Unidade de medida em megawatss-hora
NURBS	Non-uniform Rational Basis Spline
PAFT	Percentual de Abertura de Fachadas Total
PTFE	Politetrafluoroetileno
PVC	Policloreto de vinila
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade
Rhino	Software Rhinoceros®
RTQ-C	Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos Visualização
SC	Santa Catarina
SENAC	Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil,
TWh	Unidade de medida em terawatts-hora
UDI	Usefull Daylight Iluminance
W	Unidade de medida em watts
W/m²	Unidade de medida em watt por metro quadrado
ZTS	Zona Térmica Superior
ZTT	Zona Térmica Térreo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1. Objetivos 17

1.1.1. Objetivo geral 17

1.1.2. Objetivos específicos ..... 17~~18~~

1.2. Justificativa 18

1.3. Estrutura do trabalho ..... 18~~19~~

2. REVISÃO DE LITERATURA 20

2.1. *Retrofit* em diferentes abordagens 20

2.2. Protocolos de certificações e o *retrofit* 29

3. O ESTUDO DE CASO 33

3.1. Condições bioclimáticas 35

3.2. Diagnóstico da edificação 35

3.2.1. Fator de forma 36

3.2.2. Estrutura e vedações 37

3.2.3. Cobertura e forro 37

3.2.4. Aberturas 39

3.2.5. Sombreamentos 41

3.3. Sistemas da edificação 42

3.3.1. Iluminação 42

3.3.2. Climatização e ventilação natural 44

3.4. Ocupação 46

3.5. Equipamentos 46

3.6. Rotinas 47

3.7. Taxa metabólica 48
4. O MÉTODO 49
4.1. O Modelo Real - MR 50
4.2. Modelos de *retrofit* de envoltória 53
4.2.1. Modelo Baixo Investimento - MBI 53
4.2.2. Modelo Médio Investimento - MMI 55
4.2.3. Modelo Alto Investimento - MAI 56
4.3. Estimativo de custo das intervenções 58
4.4. Modelo de simulação computacional de edificações 59
4.5. Variáveis do modelo de simulação 61
4.6. Configuração dos parâmetros de simulação 63
4.7. Indicadores de desempenho 67
4.8. *Software*s, aplicativos e simulação 68
4.9. Cálculo de previsão de *payback* 70
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 71
5.1. Desempenho energético do MR 71
5.2. Desempenho lumínico do MR 72
5.3. Desempenho térmico do MR 74
5.4. Análise de desempenho dos modelos de *retrofit* 76
5.4.1. Desempenho de consumo energético de MBI, MMI e MAI 77
5.4.2. Desempenho de lumínico de MBI, MMI e MAI 79
5.4.3. Desempenho térmico do MBI, MMI e MAI 83
5.5. Análise de viabilidade econômica 89
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 91

1. INTRODUÇÃO

Em 2018, a geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 601,4 TWh. As importações líquidas de energia elétrica de 35,0 TWh somadas à geração nacional asseguraram uma oferta interna de energia elétrica de 636,4 TWh, sendo que o consumo total final foi de 535,4 TWh (EPE, 2020). Estes dados do Balanço Energético Nacional 2019 – ano base 2018, publicados pelo Ministério de Minas e Energia (MME) sinalizam fragilidade da autossuficiência em energia elétrica brasileira. Neste mesmo relatório é dito que a produção energética do país, em sua maior parte, provém das hidrelétricas e correspondem a 64,9% do total de produção (EPE, 2020), o que de fato é preocupante, ao considerar a instabilidade climatológica dos últimos anos e recentes crises hídricas nas principais bacias que abastecem as unidades geradoras.

O Painel Intergovenamental sobre Mudanças Climáticas, sigla no inglês IPCC, apresentou em 2022 o VI Relatório de Avaliação das Mudanças Climática (IPCC, 2022) o qual ratifica os relatórios anteriores quanto aos impactos das emissões de carbono sobre as mudanças climáticas. O relatório afirma que a atividade humana tem induzido mudanças climáticas no planeta Terra, que as metas atuais são insuficientes para limitar o aumento da temperatura global e vem ocasionando eventos extremos e intensos com frequência cada vez maior, o que gera danos aos biomas e à humanidade de proporções até irreversíveis considerando que este impacto tem sido superior a capacidade de adaptação do meio ambiente.

Uma das atividades que provoca impacto expressivo sobre o meio ambiente é a geração de energia. Ao analisar a matriz energética mundial apresentada pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2022), verifica-se que mais de 80% da geração de energia no mundo ocorre pela queima de combustíveis fósseis e ou minerais não renováveis, processo que gera a emissão de gases de efeito estufa, que lançados na atmosfera terrestre ocasionam o aumento da temperatura média global e provocando as mudanças climáticas no planeta. Diante disto, uma das metas propostas pelos grupos de trabalho do IPCC é a promoção de sistemas mais eficientes e com menor consumo energético (IPCC, 2022).

Segundo John (2010), a geração de energia demanda altos investimentos econômicos e sempre ocasionam impactos ambientais consideráveis, e o setor da construção e suas

cadeias produtivas consomem entre 20 e 25% da energia produzida, indicando que este setor é um importante demandante, sendo imprescindível a percepção dos agentes deste setor quanto ao potencial de mitigação em consumo energético em suas decisões.

O relatório 2020 *Global Status Report for Buildings and Construction* aponta que as emissões do dióxido de carbono (CO_2) do setor de construção são as mais altas já registradas. Em um comparativo entre os dados de 2019 e anos anteriores percebe-se que o consumo total final de energia do setor global de edifícios se manteve, mas as emissões de CO_2 relativas à operação dos edifícios aumentaram a um nível de cerca de $10GtCO_2$, correspondente a 28% das emissões totais globais de CO_2 relacionadas à energia. Ainda em relação às edificações, o uso de energia representa cerca de um terço do consumo final de energia global e é responsável por quase 20% das emissões de gases do efeito estufa em todo o mundo (UNEP, 2020). Enquanto, de acordo com o *Emissions Gap Report* 2020, relatório anual do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), as emissões globais de CO_2 promovem projeção de aumento de temperatura superior a 3°C neste século, o que extrapola as metas do Acordo de Paris, que limitam o aquecimento global abaixo de 2,0°C, com recomendação a atingir de 1,5°C (UNEP, 2020).

Atualmente vivem em cidades 3,5 bilhões de pessoas, número que deve atingir 5 bilhões de pessoas até 2030, uma projeção de 60% da população morando nas cidades e que crescerá para 70% em 2050, segundo o *UN-Habitat Strategic Plan* 2020-2023. O consumo energético nos centros urbanos encontra-se entre 60 e 80% do consumo de energia total, e geram até 70% das emissões de gases de efeito estufa principalmente devido a queima de combustíveis fósseis no transporte e na geração de energia (UNITED, 2020).

De acordo com Ascione et al. (2019), a expectativa é que as novas construções, principalmente nos países em desenvolvimento, dobrem o estoque mundial de edificações até 2060. Nesse sentido, adotar soluções de projeto com foco em reduzir o consumo de energia e as emissões é uma importante estratégia para reduzir influência do setor sobre as mudanças climáticas (ZHOU et al., 2018).

Para Gonçalves (2017), observa-se ainda que o maior impacto em edificações ineficientes recai sobre edificações antigas. Sem preterir o patrimônio arquitetônico existente,

este autor considera a necessidade e a importância de se implementar projetos de *retrofit* [1] com ótica na eficiência energética como uma das premissas para a construção de cidades mais sustentáveis. Amorim et al. (2021) afirmam que as edificações existentes normalmente estão incutidas de recursos culturais e materiais, e podem agregar senso de identidade local, e por isso consideram o conceito de *retrofit* relevante num projeto de reforma de edificação cuja meta é otimizar o uso de energia.

Em particular, no nicho de edificações corporativas, não apenas as edificações em si, como também os sistemas que promovem o funcionamento e o uso destas edificações precisam se adequar a esta realidade (GARLET et al., 2015). O *retrofit* destas edificações, além de garantir maior otimização de toda energia consumida e carbono emitido pela edificação desde sua construção, garantem menos impacto ambiental e menor geração de resíduos (ASADI et al., 2014). Amorim et al. (2021) ainda complementam considerando que um *retrofit* pode ser oportunidade de não apenas deixar uma edificação mais eficiente, mas de até anular o seu balanço energético com a instalação de sistemas fotovoltaicos de geração de energia.

Considerando a disponibilidade de ampla variedade de estratégias e o vasto repertório de soluções técnicas e materiais que podem ser adotadas para conquistar um melhor desempenho das edificações, contempla-se um leque de possibilidades e incertezas e a simulação computacional vem para contribuir assertivamente. Segundo Loonen et al. (2017) a simulação computacional permite uma análise integrada do desempenho de possíveis diferentes soluções de projeto e operação. Também é um instrumento muito útil para o desenvolvimento de protótipos de novos materiais e sistemas inovadores, assim como para o refinamento de produtos em desenvolvimento, além de permitir explorar diferentes estratégias de controle e operação de sistemas, avaliando o desempenho de materiais e sistemas sob diferentes influências climáticas ou demandas.

Este trabalho propõe um plano de *retrofit* de envoltória de uma edificação corporativa de empresa pública de operações logísticas, Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos

[1] Retrofit é a abordagem de atualização de edificações antigas, preservando essencialmente a edificação e melhorando o desempenho desta em relação a eficiência operacional e/ou energética. De acordo com a NBR 15575-1/2013, normalmente estima pela valorização do imóvel e aumentando sua vida útil, atualizando suas instalações e sistemas às normas vigentes e demandas atuais da edificação, incorporando novas tecnologias e conceitos. (ABNT,2013).

(Correios). Trata-se de uma edificação de médio porte, com problemas de conforto térmico e lumínico e potencial de melhoria de desempenho energético com algumas intervenções na envoltória. Esta edificação passou em 2021 por um *retrofit* de climatização, com a substituição de condicionadores de ar antigos por novos de tecnologia mais eficiente. Também, em 2022, passou por um *retrofit* de iluminação com a substituição de todas as lâmpadas da edificação por lâmpadas mais eficientes em LED, num projeto de investimento promovido pela concessionária de energia local.

Apesar de a empresa entender a importância de ações de redução de impacto ambiental, mudanças em elementos de fachada ou coberturas são vistas como supérfluas e até ineficientes. Considerando as dimensões do objeto de estudo e vulto financeiro envolvido nesta potencial intervenção, há resistência da administração pública em investir em tecnologias para envoltória sem a mínima garantia dos efeitos que este tipo de intervenção venha ocasionar.

Motivado a dirimir receios, este trabalho se empenha em apresentar uma análise mais detalhada dos impactos que estas adequações implicariam em diferentes estratégias de tratamentos de envoltória, por meio de simulação computacional de desempenho termoenergético, propor três cenários de intervenção visando a redução de consumo energético para este estudo de caso.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um plano de intervenção de *retrofit* da envoltória de uma edificação corporativa dos Correios, abrangendo análise de custo-benefício, melhoria do desempenho térmico e lumínico, e redução do consumo estimado de energia.

1.1.2. Objetivos específicos

- Investigar soluções construtivas e materiais sustentáveis aplicáveis a proposta de *retrofit* de uma edificação corporativa em condições de clima tropical de savana;
- Apresentar três configurações de intervenção com seus respectivos desempenhos de eficiência energética simulados;

- Orientar as decisões do investidor com base em critérios técnicos que lhe permita avaliar custo e benefícios de cada cenário de intervenção.

1.2. Justificativa

Ao considerar que o ambiente de trabalho é o lugar onde as pessoas passam a maior parte de suas vidas e a qualidade do ambiente laboral está diretamente relacionada à saúde ocupacional, emocional e mesmo à produtividade dos trabalhadores que se abrigam numa determinada edificação (BRASIL, 2018), elegeu-se um edifício corporativo de empresa prestadora de serviço público, Correios, para ser objeto de pesquisa deste trabalho.

O Centro de Tratamento de Cartas e Encomendas Campo Grande, a partir de agora denominado CTCECG, para o estudo de caso de um plano de intervenção de *retrofit* de envoltória baseado em simulação computacional de eficiência energética.

Trata-se de uma edificação construída no início da década de 80 em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, com deficiências graves ao se considerar parâmetros normativos de desempenho e conforto ambiental atuais. Esta configuração possivelmente resulta em um ambiente desconfortável e pouco eficiente quanto à consumo energético para seu condicionamento e operação.

É uma edificação de conformação comum, sendo possível identificar mais de oitocentos prédios como este na carteira imobiliária dos Correios, em condições bioclimáticas diferentes, mas com mesmo programa e similaridade de atributos construtivos.

Dentro dos princípios que regem decisões administrativas no setor público, planejar investimentos tão vultuosos demandam respaldos técnicos mais precisos e densos, assim como se propõem neste trabalho, a fim de fundamentar não apenas uma empreitada específica, mas até mesmo abrir caminho com uma proposta de política empresarial de intervenções em prédios existentes com as mesmas problemáticas em diferentes contextos bioclimáticos.

1.3. Estrutura do trabalho

O trabalho foi estruturado nos seguintes capítulos:

- O Capítulo 1 tratou da introdução, objetivos, justificativas e estrutura do trabalho, trazendo a contextualização da pesquisa referente ao uso da energia nas edificações e a relação com a sustentabilidade, bem como a importância das pesquisas em simulação computacional e *retrofit* energético de edificações.
- O Capítulo 2 apresenta a revisão de literatura ao abordar algumas pesquisas relacionadas a *retrofit* de envoltória realizados, materiais e sistemas utilizados nestas pesquisas, assim como protocolos internacional e nacional de aferição de eficiência das medidas da conservação de energia que se utilizam da simulação computacional como ferramenta para esta averiguação.
- O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada quanto ao levantamento dos dados de entrada, o procedimento de modelagem computacional, a configuração dos *script*s de simulação e os procedimentos de análise e tratamento de dados.
- O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a aplicação do método. Propõem-se análises e comparativos entre as diferentes configurações de modelos simulados, assim com avalia o desempenho das medidas adotadas quanto ao condicionamento térmico, redução no consumo de energia e aproveitamento da iluminação natural especificamente do modelo que apresentou melhor desempenho de eficiência energética.
- O Capítulo 5 traz as considerações finais a respeito do trabalho e os resultados atingidos. Apresenta um panorama com as três configurações de *retrofit* e considera os aspectos de desempenho sinalizando melhor abordagem.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para Deb e Schlueter (2021), o alcance das metas de redução de emissões de gases de efeito estufa propostos pelo Acordo de Paris implica ao setor de construção adotar abordagens de *retrofit* de construção mais eficazes, considerando que a proporção elevada do atual estoque global de edificações ainda estará em pleno uso em 2050. Chang et al. (2020) ratificam a necessidade de reduzir o impacto ambiental das edificações através do uso de materiais e soluções construtivas mais eficientes. Para eles, a envoltória da edificação, que compreende a cobertura e superfícies que compõem as fachadas, tem grande potencial mitigador do consumo energético.

Esta necessidade de reduzir o consumo de energia e as emissões de CO_2 tem despertado um cuidado mais minucioso dos projetistas em relação aos edifícios e seus componentes. Para Saville-Smith, Bijoux e Neighborhood (2011), o processo de projeto sustentável compreende o desenvolvimento de respostas ao contexto de forma a elevar ao máximo a performance, suscitar experiências humanas ricas e aglutinar ideias. Blanco et al. (2022) sinalizam que os materiais de envelope de construção são cruciais, pois são alternativas passivas de economia de energia, e apresentam vantagens que incluem maior proteção acústica, aproveitamento da iluminação e ventilação natural e maior conforto do usuário.

Em um recorte abrangendo a União Europeia, Ciampi et al. (2021) afirmam que apenas 3% dos edifícios possuem envoltória eficiente, visto que cerca de 35% dos edifícios têm mais de 50 anos e apenas cerca de 1% destes é reformado a cada ano. Para exemplificar, somente na Itália cerca de 4 milhões de edificações foram construídas no início do século XX e metade destes possuem valor histórico o que torna a dinâmica de um projeto de *retrofit* ainda mais complexa (CIAMPI et al., 2021).

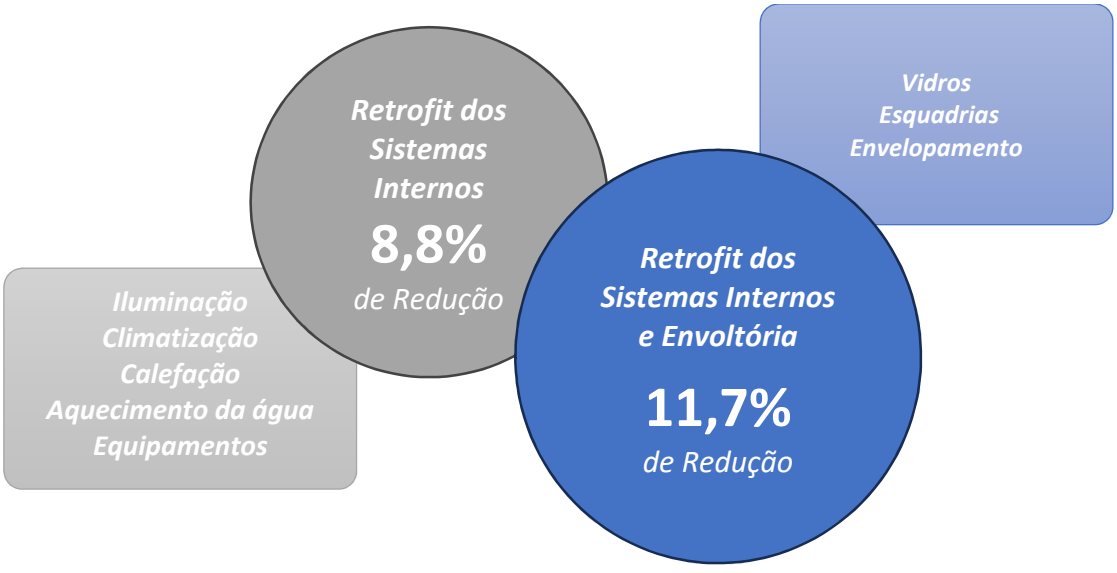
2.1. *Retrofit* em diferentes abordagens

Liang et al. (2022), em sua pesquisa sobre o ciclo de vida de um edifício comercial, propõem a simulação computacional de um protótipo com intuito de apontar estratégias que contribuem para que a China atinja neutralidade de carbono até 2060. Entre as suas considerações é importante sinalizar a melhor adequação da proporção de aberturas envidraçadas e sistemas de sombreamento destas com intuito de maximizar o uso de

iluminação natural de forma controlada, bem como o uso de sistema de iluminação artificial mais eficiente nos edifícios comerciais.

Para Martinez e Choi (2018), ao analisar os impactos energéticos de *retrofit* que incluíram a envoltória da fachada em comparação ao *retrofit* somente dos sistemas internos de iluminação e condicionamento de ar, conseguiram dimensionar o impacto que a envoltória tem sobre a eficiência energética de uma edificação. Segundo estes pesquisadores, o *retrofit* centrado apenas em sistemas internos ocasionou redução de energia de 8,8%, enquanto o *retrofit* inclusivo de fachada resultou em reduções de energia de 11,7%, ambos em relação a edificações não tratadas. A Figura 1 mostra um esquema dos resultados desta pesquisa. Um dado impressionante que abrangeu apenas 3% dos casos foi a adição ou substituição de sistemas de fachada dupla ventilada, sistema também conhecido como envelopamento. Casos de substituição do envelopamento reduziram 38%, enquanto a adição de sistema de envelopamento proporcionou uma redução de 36% no consumo de energia.

Figura 1 - Comparativo de eficiência na modalidade de *retrofit*

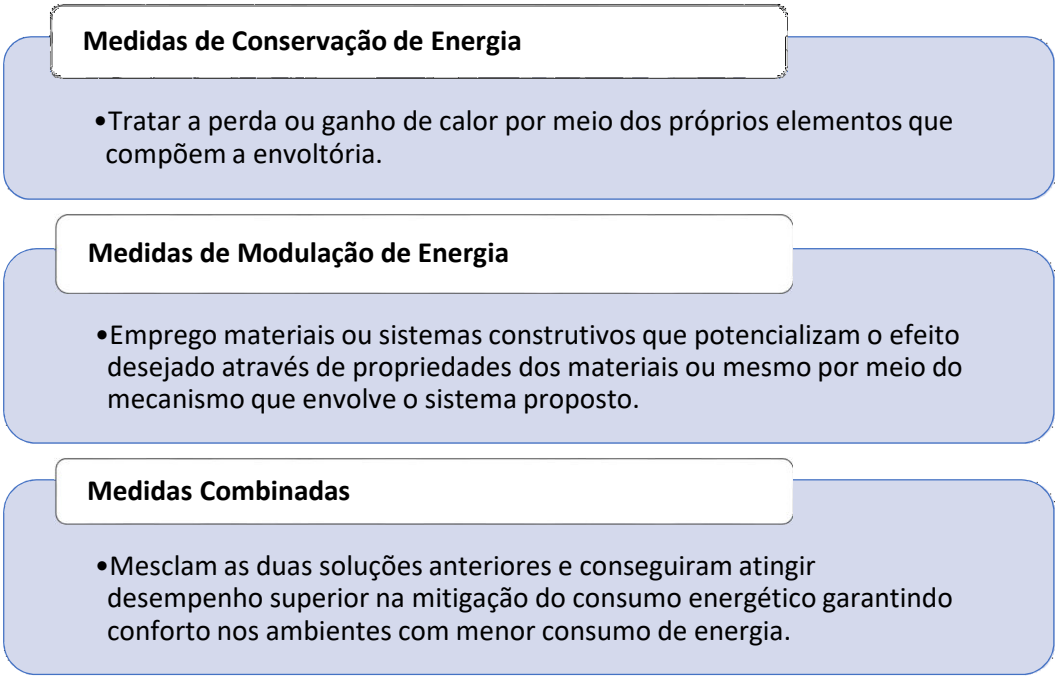


Fonte: Martinez e Choi (2018), adaptado pelo Autor (2023)

Sarihi et al. (2020) realizaram análises em edificações em climas que demandam resfriamento e aquecimento, observando uma redução entre 35 e 40% da demanda energética, em média, após a execução de *retrofit* de fachada. Mas a pesquisa apontou a possibilidade de reduzir o consumo de energia para aquecimento e resfriamento em até 50%

apenas por meio de intervenções arquitetônicas passivas. Neste trabalho, classificou-se as intervenções de *retrofit* em três categorias de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1 - Modalidade de *retrofit*, conforme Sarihi et al. (2020).



Fonte: Autor (2023)

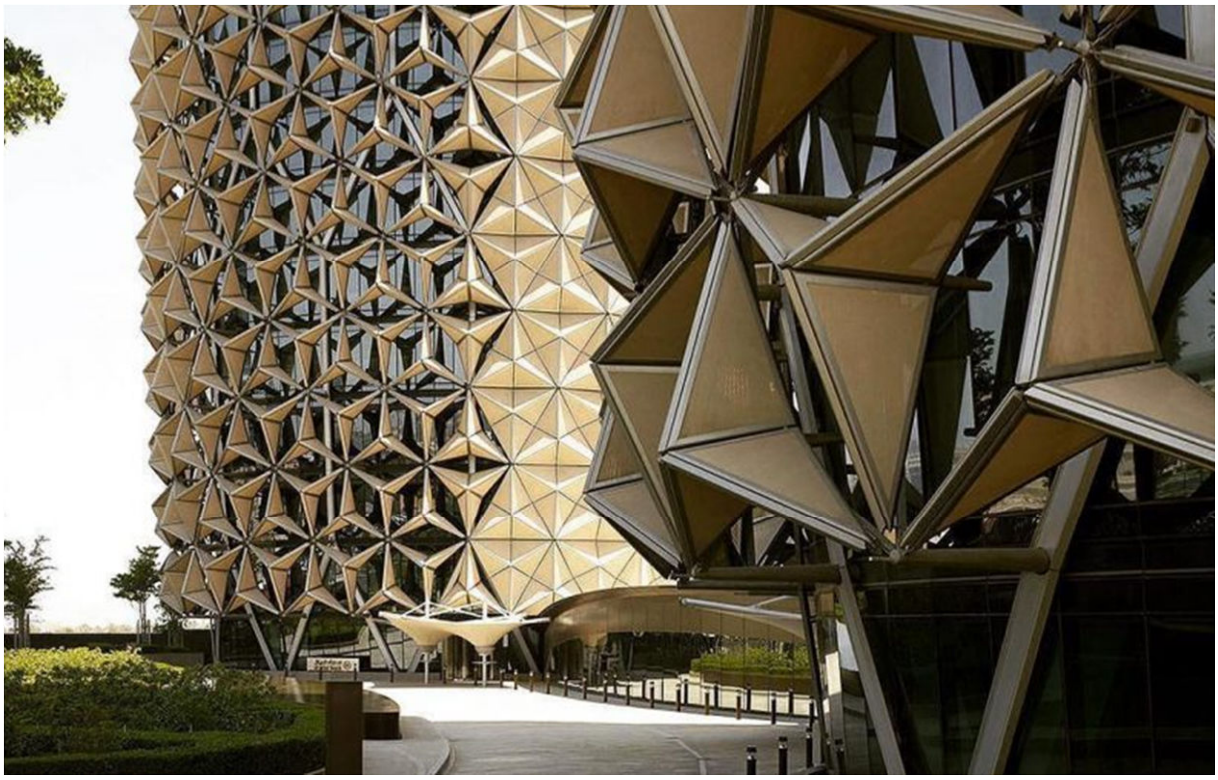
Nesta abordagem de *retrofit* para conservação de energia, Casquero-Modrego e Goñi-Modrego (2019) e Kolokotroni et al. (2018) realizaram pesquisas em soluções que melhoram a eficiência da cobertura com diferentes abordagens, enquanto Marques e Silva (2020), com objetivo de encontrar a propostas de intervenção mais eficiente, realizaram simulação aplicando a variação entre os parâmetros relativos às paredes externas, cobertura e vidros das fachadas. Cunha, Ferreira e Tadeu (2019) ensaiaram doze composições de argamassa com adição de diferentes dosagens na incorporação simultânea de material de mudança de fase e cinzas volantes e constataram que a argamassa teve transmitância térmica reduzida e aumento do atraso térmico do revestimento interno das paredes.

Como medidas de modulação de energia, Eltaweel et al. (2021), por meio de simulação paramétrica, avaliaram formas de orientar as aletas dos brises horizontais para otimizar a iluminação natural no ambiente interno. Munhóz et.al. (2019) verificaram resultados de até 16,6°C na diferença de temperatura superficial confirmando o potencial amenizador térmico

de proteção vegetal, que contribuiu também com o aumento da umidade relativa do ar, o que também melhora o desempenho térmico da edificação por meio do resfriamento evaporativo, especialmente em locais com clima seco. Oliveira e Harris (2021) desenvolveram a patente de um sistema modular para elementos de fachada dinâmicos com inspiração nos muxarabis e analisaram o desempenho de seu protótipo por meio de simulação computacional.

Ascioni et al. (2019) trazem um comparativo entre estratégias tecnológicas: sistemas passivos com fachadas de pele dupla em material opaco, fachadas ventiladas, sistemas integrados de vidros e brises e mesmo integração com sistemas de conversão fotovoltaicos. Paralelamente apresentam as fachadas responsivas, com vidros especiais (duplos e triplos) com sistemas eletrocrômicos e gasocrômicos que têm as suas propriedades alteradas quando solicitados. As propostas com elementos opacos de vedação dinâmica, como os “sistemas cinemáticos” das torres Al Bahr em Abu Dhabi como pode ser visto na Figura 2, e os “sistemas cinéticos elásticos” exemplificado pelo Pavilhão Temático em Yeosu, na Coréia do Sul, apresentado na Figura 3, são tecnologias bastante eficientes, mas um pouco distante da realidade em países em desenvolvimento.

Figura 2 - Vista sistema de brises cinemáticos das torres Al Bahr



Fonte: metamodernarchitect.com (2023)

Figura 3 - Vista do Pavilhão Central One Ocean em Yeosu na Coréia do sul com brises cinéticos elásticos

Fonte: archilovers.com (2023)

Casquero-Modrego e Goñi-Modrego (2019) desenvolveram um estudo de caso de *retrofit* de envoltória de um edifício multifamiliar em Barcelona. O projeto incluiu a melhoria no isolamento térmico das paredes e da cobertura, sendo que as aberturas não sofreram intervenção. Em sua pesquisa, a cobertura era uma laje composta de várias camadas: concreto, cerâmica, isolamento com cortiça, fibra de vidro, argamassa e pintura. A espessura total original da laje foi de 355mm com uma transmitância final de 0,62 W/m²K. O tratamento adotado foi o isolamento térmico com poliestireno extrudado de espessura de 80mm. O procedimento consistiu na extração das camadas de isolamento antigas, regularização da superfície, impermeabilização e proteção mecânica desta e a projeção da camada de isolamento de espuma de poliestireno. Por fim, uma camada de 100mm de espessura de argamassa para proteção mecânica do isolamento térmico foi executada. A espessura da laje passou a ser de 465mm e a nova transmitância térmica 0,30 W/m²K. Após um ano de monitoramento energético, os autores constataram que os apartamentos logo abaixo da cobertura tiveram uma economia de energia da ordem de 12,0%. Mas os moradores relataram ter mais desconforto no inverno e tiveram que recorrer ao aquecimento dos ambientes. Os

pesquisadores ponderam que o inverno acometido durante de monitoramento foi mais severo do que normal, ocorrendo inclusive nevasca fora de época.

Algumas pesquisas se apresentam com alto grau de sofisticação, e que dificilmente se aplicam ao contexto da administração pública, como no caso do objeto de estudo desta pesquisa. Por outro lado, Kolokotroni et al. (2018) desenvolveram uma pesquisa de solução de telhado frio para moradias de baixa renda em países de clima tropical. Foram utilizados arquivos climáticos de Kingston (Jamaica), Recife (Brasil) e Acra (Gana), sendo localidades com climas semelhantes e caracterizados por altas temperaturas do ar e intensidade de radiação solar ao longo do ano. Com base em um estudo de caso de uma unidade habitacional na Jamaica, foi realizado monitoramento de conforto térmico prévio e pós-tratamento com aplicação de pintura termorreflexiva comercialmente disponível. Com auxílio de sensores, foram registradas a temperatura da superfície do teto, temperatura do ar no ambiente interno, umidade relativa e irradiância solar global para calibrar o modelo computacional.

O estudo de caso de Kolokotroni et al. (2018) foi modelado no OpenStudio® e calibrado no EnergyPlus™, com inserção de rotinas informadas pelos habitantes e levantamento de geometria dos ganhos internos levantado pelos pesquisadores. O produto foi aplicado sobre a laje limpa, com aplicação de primer e a pintura fria em três demãos. Os dados fornecidos pelo fabricante informaram refletância solar inicial de 0,82; emissividade térmica de 0,90. Os modelos calibrados desenvolvidos foram submetidos às condições climáticas de Recife e Acra.

Os resultados apontaram melhoria nos três países. Na Jamaica registrou-se pico de redução de 24,4 °C na temperatura da face interna, em Gana a redução de pico foi de 23,7°C e no Brasil, 14 °C. A maior redução da temperatura da face externa do telhado também foi verificada na Jamaica, sendo de 32,4 °C; em Gana a redução do pico foi de 30,7 °C e no Brasil de 31,8 °C. A maior redução na Jamaica é uma combinação de alta intensidade de radiação solar na campanha de monitoramento prévio e por ser o caso com situação original de cobertura com pior nível de isolamento.

Presença marcante no cenário arquitetônico da atualidade, as chapas metálicas em revestimento de fachadas e em sistemas de paredes ventiladas ou elementos de sombreamento têm ganhado grande aceitação. Certamente a durabilidade, a pouca necessidade de manutenção ao longo de sua vida útil e mesmo o apelo estético são fatores

que permitem esta observação. Blanco et. al. (2019), movidos por esta mesma observação, debruçaram na pesquisa das chapas perfuradas como elementos de sombreamento em diversas localidades e orientações. Preliminarmente desenvolveram uma pesquisa de campo coletando as impressões pessoais diante de uma janela em 6 amostras diferentes de folhas perfuradas com padrões e taxas de perfuração diferentes. Também propuseram uma análise de sua aplicação em 18 diferentes locais no território europeu e simulações de edificações com a adoção do envelope de folha de aço galvanizado perfurada. O intuito da pesquisa foi dimensionar o consumo total de energia e a economia por ano considerando aspectos relativos à iluminação, aquecimento e resfriamento dos ambientes.

Como procedimento de validação da experiência, Blanco et. al. (2019) registraram o monitoramento de uma fachada real do Departamento de Engenharia, Química e Meio Ambiente da Universidade do País Basco, edificação ilustrada na Figura 4, campus localizado em Bilbao, numa campanha que durou um ano, em um edifício de referência com sem o dispositivo de proteção. Foram utilizadas estações meteorológicas com sondas de temperatura, anemômetros de fio quente e registro termográfico infravermelho, os quais captaram as condições climáticas e o efeito que as chapas perfuradas exerceram sobre a edificação quanto a economia de energia.

Figura 4 - Departamento de Engenharia, Química e Meio Ambiente da Universidade do País Basco em Bilbao, objeto da pesquisa de Blanco et al. (2019)

Fonte: Euskal Herriko Unibertstatea (2023)

Confrontando os dados das simulações e os registros da campanha de monitoramento, os resultados validaram o uso das chapas metálicas perfuradas com impacto relevante em

relação ao consumo de energia para resfriamento tanto em regiões de clima frio, quanto em regiões de clima quente, especialmente em fachadas mais ensolaradas. Suas conclusões apontam economia de 900 kWh/ano em climas frios e 5.000 kWh/ano em climas quentes, que em percentuais configuram economias de até 15% e cerca de 48% respectivamente no consumo de energia.

Ciampi et al. (2021) avaliaram o desempenho de fachadas sombreadas com tecido de poliéster e observaram uma melhoria em conservação de energia primária da ordem de até 6,1%. Em sua pesquisa desenvolveram um experimento com monitoramento por meio de medições *in loco* no Departamento de Arquitetura e Design Industrial da Universidade da Campânia "Luigi Vanvitelli", utilizando duas células de teste comparativas ao ar livre para avaliar o desempenho do tecido de poliéster revestido de PVC que protegeram a superfície da instalação mais ensolarada das células, permitindo uma cavidade para a circulação de ar entre o painel de tecido tensionado e a envoltória. Sensores para direção e velocidade do vento, temperatura, umidade relativa, pressão do ar, radiação horizontal global e radiação horizontal difusa foram colocados a cerca de 6,5 m do solo na melhor posição para minimizar a influência de obstruções externas aos sensores climatológicos. Segundo os autores os resultados de sua pesquisa demonstram que o emprego desta tecnologia permite uma economia na redução da demanda de energia de resfriamento em até 29,3%.

Explorar a semitransparência e a flexibilidade oferecida por este material para implementar um projeto contínuo de fachada inteira, cobrindo assim como uma segunda pele tanto as paredes de vedação externas quanto as aberturas, pode ser um recurso valioso na concepção de um projeto arrojado. Entre os exemplos mais recentes e em evidência no Brasil são alguns dos estádios de futebol construídos por ocasião da Copa do Mundo de Futebol em 2014. Entre estes a Arena da Amazônia em Manaus, Arena do Pantanal em Cuiabá, ilustrado na Figura 5, e mesmo os casos de *retrofit* em estádios como o Beira Rio em Porto Alegre e o Maracanã no Rio de Janeiro. Outro exemplar é o Centro de Treinamento Paralímpico Brasileiro em São Paulo. Estes exemplares utilizaram sistemas similar com estruturas metálicas e tensionamento de membranas de sombreamento e de cobertura.

Figura 5 - Arena Pantanal com painéis de membrana de sombreamento

Fonte: GCP Arquitetura (2023)

Há outros exemplos de uso de arquitetura têxtil entre referenciais arquitetônicos não esportivos no Brasil que se utilizaram de membranas têxteis para sombreamento de fachadas, como a Sede do CONFEA em Brasília, a fábrica da Berlinerluft em São José dos Pinhais, a Escola Gastronômica do SENAC em Campo Grande e o Campus da Universidade Federal de Santa Catarina em Joinville.

Segundo Assis (2012), as membranas têm sido melhoradas e possuem grande durabilidade, especialmente devido ao revestimento dos polímeros que a compõem. Segundo o pesquisador há dois tipos de membranas de tecido estruturante, as que possuem trama de poliéster revestida em ambas as faces por cloreto de polivinila (PVC) e as tramas em fibra de vidro revestidas de com politetrafluoroetileno (PTFE). Dependendo do material escolhido, alguns fabricantes apresentam aspecto altamente estético com cores neutras e vibrantes, com eficiente filtração dos da radiação solar direta com opacidade variável entre 60% e 90%. Outra vantagem, é que algumas tramas são permeáveis a não obstruem a ventilação e ainda garante proteção da radiação direta permitindo acesso de iluminação difusa.

Estas tecnologias se mostram bastante promissoras para compor amostras de simulação no estudo de caso proposto por este trabalho. Mas Piccinini et al. (2021) afirmam que há entraves para a contratação de obras desta magnitude, mesmo com reconhecida necessidade de implementação de execução de melhorias que proporcionem melhor

desempenho térmico e energético das edificações. Os pesquisadores apontam que a complexidade do processo de projeto de *retrofit* de desempenho e as incertezas quanto a garantia de eficiência energética da edificação no pós-*retrofit* configuram obstáculos que intimidam os investidores ante a implementação de *retrofit* de desempenho e se baseiam no protocolo internacional M&V® (*Measurement and Verification)* para ajudar a reduzir as incertezas dos investidores diante da contratação do investimento.

2.2. Protocolos de certificações e o *retrofit*

Desde 1994, o Departamento de Energias dos Estados Unidos, alinhado à indústria de tecnologias norte americana, iniciou tratativas com a finalidade de desenvolver métodos para superar as barreiras que investidores vinham enfrentando para aceitação de tecnologias inovadoras com promessa de mais eficiência. Com o passar dos anos foram desenvolvidos protocolos e a organização ganhou prestígio e extrapolou as fronteiras envolvendo também interesses no México e Canadá (EVO, 2022). Já em 2001, criou-se o Comitê do IPMVP®, o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho, que passou a ser mantido por uma organização global sem fins lucrativos e que assume o propósito de desenvolver diretrizes que aumentam a confiabilidade e reduzem os custos de investimento em eficiência ao fornecer a padronização necessária para garantir o financiamento de custo mais baixo para desenvolvimento de projetos em eficiência energética ou hídrica (EVO, 2022).

Os protocolos do Comitê foram adotados inicialmente por empresas de serviços de energia e atualmente também por concessionárias, agências governamentais e instituições financiadoras. Estas utilizam especialmente o protocolo M&V® (*measurement and verification*) para avaliar investimentos, reduzir riscos e gerenciar seus programas de incentivo à eficiência. Trata-se de um processo que abrange o planejamento, coleta e análise de dados com o objetivo de verificar e relatar resultados mediante implementação de medidas de conservação de energia.

Neste protocolo a eficiência é determinada com base em dados comparados de forma consistente relativa ao consumo ou demanda antes e depois da implementação de uma medida de eficiência energética. Esta metodologia pode ser implementada em quatro abordagens distintas que definida a partir do tipo de medida de eficiência a ser avaliada e a forma como se pretende aferir os dados medidos, o que nem sempre é possível, em se

tratando de edificação ainda não construídas ou quando os dados disponíveis são imprecisos (EVO, 2022). O protocolo M&V pode ser aplicado nas quatro modalidades do Quadro 2.

Quadro 2 - Modalidade de M&V do IPMVP (EVO, 2022)

Opção A Quanto se pretende avaliar medida de eficiência específica com medição de consumo individual	Opção C Quando se almeja avaliar um conjunto de medidas de eficiência e a medição de consumo será generalizada dos sistemas
M&V	
Opção B Quando o objetivo é avaliar medida de eficiência específica, mas com medição de consumo generalizado dos sistemas.	Opção D Quando os dados são inexistentes ou imprecisos e se anseia avaliar medida específica ou conjunto de medidas de eficiência. Os resultados são aferidos por simulação calibrada.

Fonte: Autor (2023)

No Brasil, o Ministério da Economia e o Inmetro aprovaram no dia 09 de março de 2021 a nova Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) que aperfeiçoa o RTQ-C[2], especificando os critérios e os métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética, que vigora a partir da Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022, com a publicação dos Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC) para Eficiência Energética de Edificações, que estabelece os critérios e procedimentos de avaliação da conformidade das edificações (BRASIL, 2022).

De acordo com o manual de aplicação da INI-C, a classificação da envoltória de uma edificação é feita com base em um comparativo entre os valores preditos de carga térmica total anual para refrigeração da edificação nas condições real e a carga térmica anual de refrigeração estabelecidos como referência equivalente à classificação D. Essa estimativa da carga térmica pode ser realizada por meio do método simplificado, ou pelo método de simulação computacional. Nestas duas modalidades pode ser contabilizado o aproveitamento da ventilação natural da edificação real por meio da redução na carga térmica de refrigeração. Os parâmetros de entrada necessários para o prognóstico da carga térmica da envoltória são relativos às características físicas desta, considerando os materiais e conformações da

[2] RTQ-C é o antigo protocolo do INMETRO de Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos que foi substituído pelo INI-C.

cobertura, dos planos verticais, das aberturas, assim como os padrões de ocupação e de uso da edificação (BRASIL, 2022).

Pimentel et al. (2021) apontam vantagens em relação ao novo método de simulação INI-C. Segundo os pesquisadores, enquanto no antigo RTQ-C era necessário além de modelar a edificação em avaliação em seus parâmetros reais, modelar também mais quatro edifícios de referência com os diferentes níveis eficiência energética, de nível A até nível D, no novo protocolo se modela apenas o edifício real e um edifício de referência com eficiência classe D. Além disso, a INI-C apresenta diversos parâmetros construtivos a serem adotados nos modelos da simulação, enquanto no antigo RTQ-C esses parâmetros deveriam ser calculados indiretamente por equações do método prescritivo.

Com uma visão mais focada no uso e otimização de projetos de iluminação para conservação de energia através do aproveitamento da iluminação natural, Monteiro et al. (2022) propuseram analisar o potencial de integração da iluminação natural e artificial, a partir de um estudo de caso no qual se utilizaram do método simplificado e do método de simulação da INI-C, com a finalidade de comparar os resultados dos dois métodos, e compreender a dinâmica de avaliação nestes protocolos.

Dada a melhor precisão dos resultados, as simulações computacionais com a projeção dinâmica da luz do dia apresentaram um aproveitamento 24% maior de área iluminada naturalmente, se comparado o método simplificado em seu estudo de caso. Além disso, os pesquisadores ponderam que a apresentação gráfica e numérica dos resultados concede ao projetista uma visão mais clara de soluções (MONTEIRO et al., 2022).

Amorim et al. (2022) também utilizaram o método de simulação da INI-C na pesquisa que desenvolveram para identificar pontos críticos da envoltória de um projeto padrão de edificação educacional no clima de Florianópolis-SC. A pesquisa analisou as estratégias de eficiência energética como absortância solar, percentuais de abertura, sombreamento, fator solar e transmitância térmica das paredes e coberturas. O trabalho compreendeu a simulação de acordo com o método da INI-C de uma amostra de casos com parâmetros construtivos distintos. Os resultados foram tratados em matrizes de correlação, a fim de determinar quais estratégias apresentaram maior influência entre os modelos simulados. Os pesquisadores

avaliam que os resultados correlacionados se apresentam como ferramenta para decisões ou consultoria em novos projetos nas mesmas condições invariáveis.

Nesta mesma perspectiva de pesquisa, Costa, Alvarez e Martino (2021) propuseram um método de projeto baseado no desempenho de eficiência energética com o objetivo de associar a modelagem paramétrica aos parâmetros da Instrução Normativa INMETRO para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviço e Públicas (INI-C). Foram utilizados os programas Rhinoceros®, Grasshopper®, Opossum e Honeybee para a simulação de estudos de caso de edifícios de escritórios em Vitória, ES. Os resultados de sua pesquisa indicaram uma melhoria de 31% no consumo total de energia primária e uma redução de 54% na demanda por refrigeração nos edifícios. Os dados indicaram forte influência do tipo de vidro, do percentual de abertura da fachada e da configuração de elementos de sombreamento.

Prado, Silva e Roméro (2018), ainda sob as normativas de extinto Regulamento técnico da qualidade para eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos RTQ-C (INMETRO, 2010), apresentaram em seu trabalho uma proposta de *retrofit* da envoltória do edifício sede do Ministério da Transparência e Controladoria-Geral da União, em Brasília, DF. A abordagem do trabalho consistiu em demonstrar o impacto da proposta na eficiência do *retrofit* e propor análise de custo-benefício da intervenção, por meio do cálculo do *payback*. Primeiro fizeram a avaliação qualitativa da eficiência energética atual da edificação por meio da plataforma de cálculo Benchmarking de Prédios Públicos e da avaliação da eficiência da envoltória da edificação pelo método prescritivo do RTQ-C. Em seguida, apresentaram uma proposta conceitual para o *retrofit* da envoltória do edifício, incluindo um orçamento estimado. Então, fizeram as simulações computacionais com o programa Design Builder, tanto da situação atual da envoltória quanto da solução proposta, de forma a quantificar o ganho no desempenho térmico da edificação e finalmente realizaram o cálculo do *payback*, confrontando o valor do investimento no *retrofit* à potencial economia no consumo de energia do sistema de ar-condicionado calculados pelas simulações.

3. O ESTUDO DE CASO

O estudo de caso deste trabalho é o Centro de Tratamento de Cartas e Encomendas Campo Grande, a partir de agora denominado CTCECG, da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (Correios).

Os Correios é uma empresa pública emblemática entre as estatais no cenário brasileiro. Possui grande capilaridade, estando presente em todo o território nacional e preza por prestígio e bom nível de credibilidade da população brasileira conforme avaliação on line de seus usuários na plataforma Reclameaqui[3].

O prédio escolhido possui tipologia e conformação bastante comum não apenas na carteira imobiliária da estatal como de muitas outras empresas de logística operacional e outras atividades.

Figura 6 - Vista das fachadas leste e norte do CTCECG

Fonte: Autor (2023)

Outro fator favorável a sua escolha foi o fato trabalhar na Coordenação de Engenharia da Superintendência Estadual dos Correios em Mato Grosso do Sul, e assim ter acesso, enquanto usuário desta edificação e funcionário da empresa, às dependências da edificação para levantamentos necessário assim como consulta aos projetos e documentos históricos desta edificação.

[3] Pesquisa on line no sitio reclameaqui.com.br em agosto de 2023.

O CTCECG É uma edificação corporativa operacional e administrativa dos Correios, com 4.800,00m², de planta retangular com 40m no sentido norte-sul e 60m no sentido Leste-Oeste.

Localizado no Bairro Amambaí, nas proximidades do centro de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, se insere numa região de degradação social e criminalidade, em um dos principais corredores de tráfego, a Avenida Ernesto Geisel, e a pouco mais de cem metros da principal avenida da cidade, Avenida Afonso Pena, sendo um importante ponto de referência na região, conforme indicado na imagem de georreferência disponibilizada pela prefeitura municipal de Campo Grande através do sistema SIMGEO, apresentada na Figura 7.

Figura 7 - Imagem aérea do entorno do CTCECG.

Fonte: SIMGEO, adaptado pelo Autor (2023)

A aplicação de um plano de *retrofit* desta edificação, não teria apenas importância em relação à questões financeiras relativas a economia relacionada a eficientização térmica da envoltória, mas tem seu impacto social e urbanístico trazendo mais qualidade à paisagem arquitetônica no entorno e certamente impacta positivamente a região que tanto necessita de incentivos a empreendedores da localidade, assim como moradores da região.

Outras contribuições, que fogem do recorte desta pesquisa, pois são contribuição de difícil mensuração, mas que precisam ser pontuadas: o impacto psicológico nos usuários da edificação, o impacto político na gestão pública com um precedente deste porte entre os

imóveis da estatal e por consequência um impacto ambiental mais abrangente considerando que projetos similares em outras edificações compatíveis a esta no Brasil e no mundo.

3.1. Condições bioclimáticas

A edificação está localizada na região urbana central do município de Campo Grande, cidade localizada na Região Centro-Oeste do Brasil, Latitude 20°27’07” S e Longitude 54°33’23” O. É uma região distante do oceano e sem a presença de grandes rios dentro da malha urbana da cidade que pudesse condicionar um microclima diferenciado. Por isso, a região sofre influência da continentalidade, o que provoca uma elevada amplitude térmica ao longo do ano e durante o dia na estação mais seca. O município está localizado na região de classificação Zona Bioclimática 6 na referência correspondente ao zoneamento bioclimático brasileiro proposto pela ABNT NBR15220-3 (ABNT, 2005), e adotada pela INI-C (BRASIL, 2022).

Trata-se de uma região bioclimática caracterizada por clima tropical com estação seca de inverno, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (KOTTEK et al., 2006). O clima evidencia a predominância de duas estações bem definidas: verão quente e chuvoso e inverno ameno e seco.

Para o procedimento de simulação energética, foram adotados os arquivos climatológicos INMET 2018 (Instituto Nacional de Meteorologia) para o município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

3.2. Diagnóstico da edificação

O CTCECG possui tipologia pavilhão industrial de dois pavimentos que abriga a atividade de triagem e distribuição de cartas e encomendas no pavimento térreo e atividades administrativa em escritórios no pavimento superior.

A edificação possui poucas compartimentações internas com paredes de alvenaria, sendo no pavimento térreo um grande salão operacional com ambientes compartimentados para apoio como recepção e sanitários. Neste pavimento é feita a manipulação de grandes carregamentos que são manualmente tratados e despachados para outras localidades.

No pavimento superior, as compartimentações de alvenaria ainda se limitam à sanitários, escada, elevador e copa. Neste pavimento, predominam a atividade

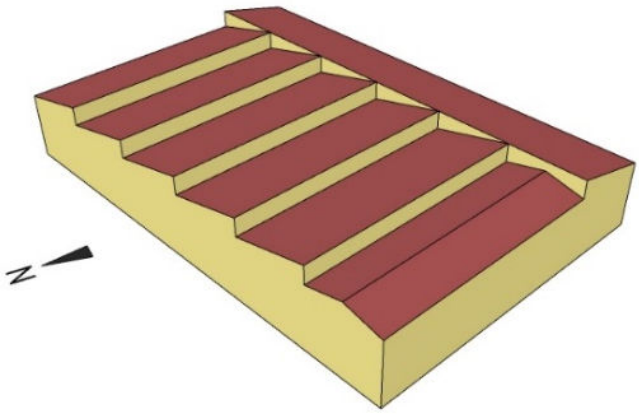
administrativa, cujos escritórios das seções são delimitados por divisórias navais de compensado de madeira com recheio de alveolar de papelão.

Para uma melhor compreensão das condições físicas da edificação, objeto de pesquisa do estudo de caso, procede um diagnóstico mais preciso das condições físicas e de conservação da envoltória da edificação. Bem como uma análise das rotinas dos usuários da edificação que serão parâmetros de entrada na simulação computacional.

3.2.1. Fator de forma

Considerando as dimensões gerais da edificação, o número de pavimentos e a altura do pé-direito dos pavimentos, é evidente que o prédio possui proporções horizontais. O volume da edificação foi modelado no programa Sketchup para levantamento mais preciso das superfícies, considerando a inclinação dos planos de telhado, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Modelagem volumetria Modelo Real



Fonte: Autor, 2022.

O fator de forma é um índice resultante da razão entre a área total da envoltória e o volume total da edificação. No procedimento para determinar a classificação de eficiência energética, no método simplificado de avaliação da INI-C, este fator é determinante para obter o coeficiente de redução de energia primária e incide diretamente na classificação final da eficiência energética no protocolo de etiquetagem. Entretanto este não é o objetivo deste trabalho, o que torna dispensável o cálculo do Fator de Forma propriamente dito, mas esta análise se mostra relevante por sinalizar a proporção de cada tipo de tipo de superfícies expostas aos efeitos do clima e assim orientar diretrizes quanto a melhoramentos a serem feitos na envoltória.

As superfícies verticais expostas da envoltória, que compreendem as paredes opacas e as aberturas, somam 2.186,00m² de área. O somatório dos planos que compõem o telhado, corresponde a área total de 2.462,66m² de cobertura, que representa 53,04% de toda a envoltória exposta. A área total de superfícies corresponde a 4.642,66m².

Logicamente, tratando-se de um estudo de caso de *retrofit*, a proporção de forma da edificação não é uma variável possível. Porém essas constatações sinalizam que as proporções entre superfícies verticais compreendidas por paredes e aberturas e superfícies relativamente horizontais como a cobertura, são equivalentes em influenciar a eficiência termoenergética desta edificação, portanto, o tratamento mais eficiente neste caso deve contemplar não apenas o tratamento das fachadas, mas especialmente a cobertura.

3.2.2. Estrutura e vedações

Com estrutura em concreto armado, o prédio apresenta uma modulação de grandes pilares e vigas que sustentam a laje de piso intermediária, assim como a cobertura em estrutura metálica e telhas de fibrocimento ondulada 6mm. Devido ao estoque e manipulação de carga pesada o piso do pavimento térreo também é uma laje monolítica de concreto armado, com pavimentação em piso industrial tipo Korodur.

As vedações externas em alvenaria de bloco cerâmico de oito furos com reboco interno emassado e pintado. O tratamento externo é e o emboço e o revestimento com lajotas cerâmicas na cor terracota, que já foram em algum momento pintados com uma espécie de resina impermeabilizante de cor terracota.

3.2.3. Cobertura e forro

A cobertura da edificação é dividida em oito águas, sendo uma delas voltada para o sul, seis delas voltadas para o leste e uma voltada para oeste, numa configuração de *shed*s orientados para oeste.

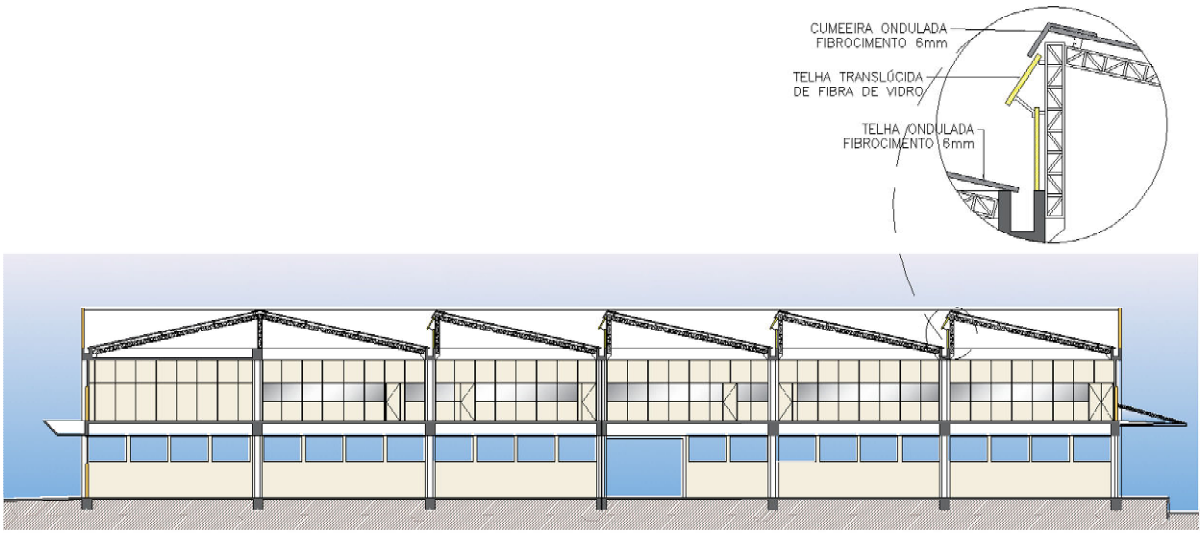
As telhas são do tipo ondulada de fibrocimento com 6mm de espessura apoiadas sobre tesouras estruturais metálicas. Pela data de sua construção, é afirmativo que a composição das telhas possui fibra de amianto. Com mais 40 anos de exposição às intempéries, o telhado se apresenta em um estado avançado de deterioração, sendo inclusive um risco à saúde de pessoas expostas à fragmentos e pó de decomposição deste material. Observa-se também

algumas telhas rachadas e remendos feitos com manta asfáltica. Além disso, o acúmulo de poeira, poluição e limo sobre a superfície das telhas compromete o desempenho térmico do material que apresenta aspecto mais escurecido se comparado ao mesmo material em condições nova.

Os *shed*s certamente foram projetados com intenção de garantir iluminação e ventilação natural ao pavimento superior. Foram originalmente feitos com telhas translúcidas de fibra de vidro, em uma estrutura de ventilação permanente tipo “boca de lobo” que também se encontram bastante avariadas pela ação do tempo.

Este sistema pode até passar despercebido, não fossem avarias no forro de fibra de vidro que atualmente enclausura toda esta cobertura e restringe os efeitos da iluminação e ventilação ao ático no entreforro. Esta vedação é forte indício de mal desempenho desta solução em relação ao conforto ambiental, certamente por sua equivocada orientação a oeste, enquanto seria mais adequado que fosse voltado ao sul considerando a latitude da localidade da edificação. A cobertura segue representada na seção longitudinal ilustrada na Figura 9.

Figura 9 - Seção longitudinal do CTCECG e detalhe da cobertura em *shed*



Fonte: Correios, 2023.

Quanto ao forro também apresenta muitos danos e acúmulo de poeira. É um forro plano, modular, em placas de fibra de vidro e revestimento melamínico fixados em estrutura de montantes metálicos suspensos por tirantes presos à estrutura de apoio da cobertura. O padrão e material de composição é antigo e de difícil acesso para reposição pela equipe de

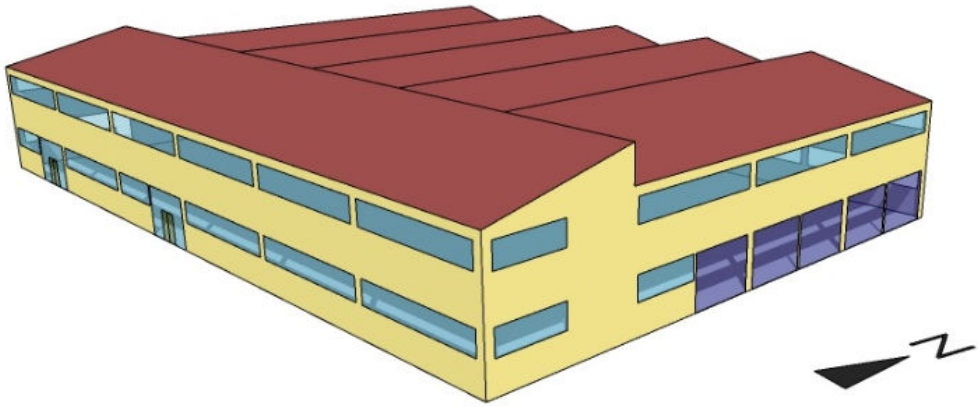
manutenção predial da empresa, de forma que apresenta alguns reparos isolados que foram feitos com placas de poliestireno expandido com acabamento em uma fina camada de gesso.

3.2.4. Aberturas

As aberturas da edificação são janelas metálicas de tipo basculante, portas metálicas com vidro, portões de grade metálica e os *shed*s de ventilação permanente em telhas translúcidas de fibra de vidro, porém enclausurados.

As portas metálicas são de tipo quadriculada, com vidros simples 4mm fixos e abertura apenas para o vão com duas folhas de abrir com total de abertura de 1,60m de largura e 2,10m de altura cada uma das portas. Duas destas estão localizadas na fachada Sul, como ilustra a figura 5 e duas na fachada oeste. Na fachada leste encontram se as docas de carga e descarga, representadas na cor azul escuro na Figura 10.

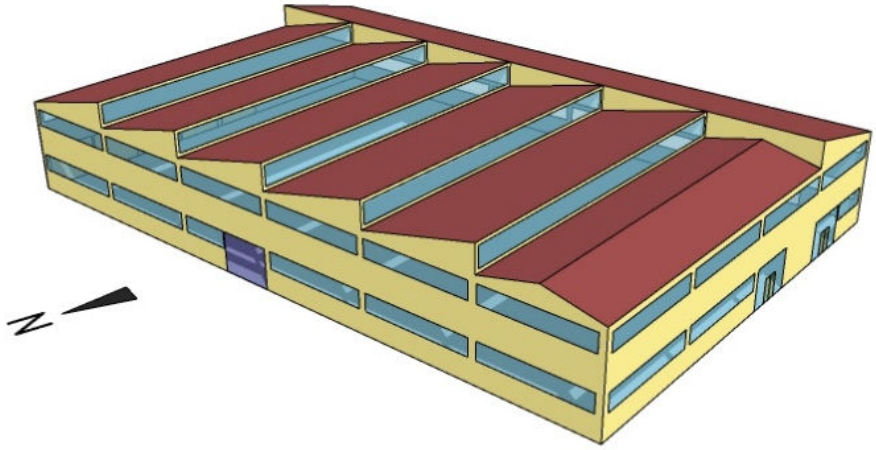
Figura 10 - Aberturas fachadas sul e leste no Modelo Real



Fonte: Autor (2023)

Estas aberturas possuem portões permanentemente abertos, proporcionando grandes trocas de ar, por serem grades em tubos de metálicos. Uma doca auxiliar também nas mesmas condições está disposta na fachada norte. As janelas basculantes são metálicas, com uma báscula fixa e quatro básculas pivotantes. Elas possuem vidros simples 6mm e possuem um percentual de abertura de 32,2% em relação à área da própria janela, e podem ser observadas na volumetria ilustrada na Figura 11.

Figura 11 - Aberturas fachadas norte e oeste no Modelo Real



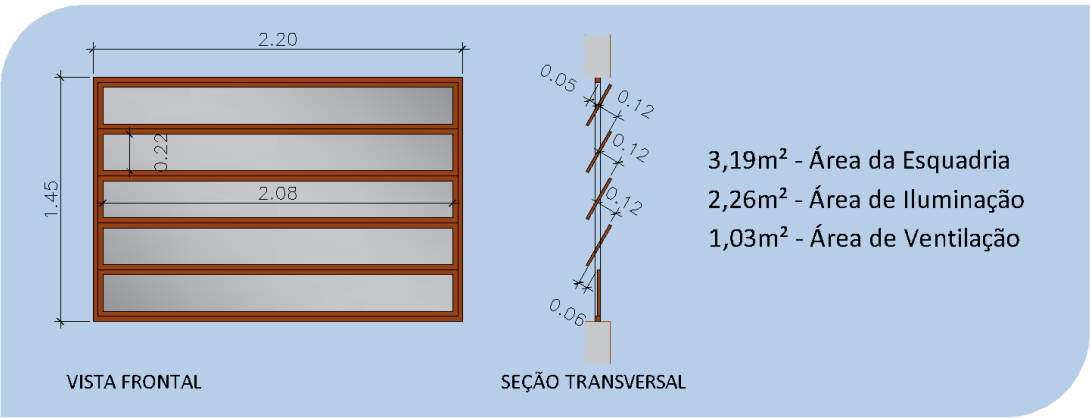
Fonte: Autor (2023)

Todas as aberturas existentes na envoltória totalizam 876,37m². A Figura 12 ilustra em detalhes a janela típica presente na edificação, e seguindo este detalhe, 620,82m² correspondem a área de envidraçamento total. Relacionando a área total de aberturas das fachadas com a área total de fachadas, verificamos um Percentual de Abertura de Fachadas Total (PAFT) de 0,11, ou 11%, conforme a Equação (1):

PAFT = Aab total/Afachada total (%) *(1)*

O manual de aplicação da INI-C indica PAFT de 50% como condição de referência para escritórios.

Figura 12 - Detalhe módulo típico de janela

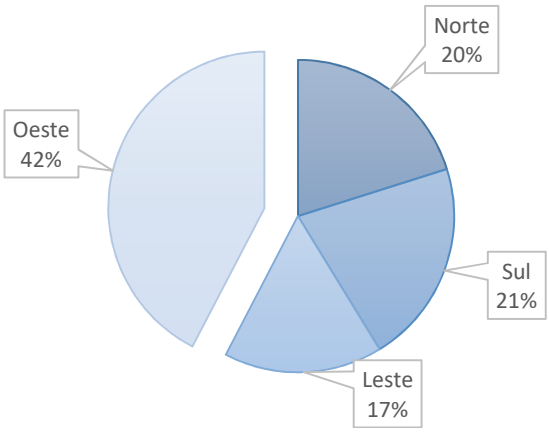


Fonte: Autor (2023)

Com relação à área efetiva de ventilação, para o cálculo adequado é necessário desconsiderar as portas do pavimento térreo, pois não são consideradas permanentemente abertas, ao contrário das docas. Com relação às janelas, deve-se descontar áreas correspondentes à caixilhos fixos e vidros, considerando apenas o vão aberto das basculantes.

Desta forma verifica-se que no pavimento térreo, a área de abertura para ventilação corresponde a 5,2% e no pavimento superior corresponde a 3,3%. Em ambos os pisos não é atendida a recomendação mínima orientada pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021) para ventilação em ambientes de permanência prolongada. Ainda deve se considerar que as docas não possuem ventilação controlável, o que é recomendável para a região bioclimática em que a edificação se insere.

Gráfico 1 - Orientação das aberturas



Fonte: Autor (2023)

Com relação à orientação das aberturas observa-se no Gráfico 1 que a grande maioria das aberturas estão orientadas para a fachada Oeste, certamente pela presença dos *sheds*, o que sinaliza a importância de se proteger da insolação das aberturas para um melhor aproveitamento da iluminação natural pelas próprias janelas e também pelos *sheds*, com a abertura do forro e aproveitamento deste sistema de aberturas zenitais se devidamente protegidas.

3.2.5. Sombreamentos

A edificação está posicionada num terreno de três divisas com logradouros. Uma divisa com a Rua Vasconcelos Fernandes a oeste, divisa com a Rua Barão do Rio Branco ao Sul e divisa com a Avenida Ernesto Geisel a Leste. Apenas ao norte, o terreno faz confrontações com outros lotes, mas nenhuma edificação existe nestes a ponto de provocar o

sombreamento da edificação por terem nível de topo inferior ao nível do prédio objeto de estudo. Em relação ao Terminal Rodoviário do Oeste, imóvel vizinho além da Rua Vasconcelos Fernandes, este possui nível de topo pouco maior que o objeto de estudo, mas seu afastamento apresenta pouco sombreamento a edificação do CTCECG, sendo assim, considerando o afastamento e altura dos imóveis da vizinhança, adotou-se que o Ângulo de Obstrução Vizinha (AOV) é zero.

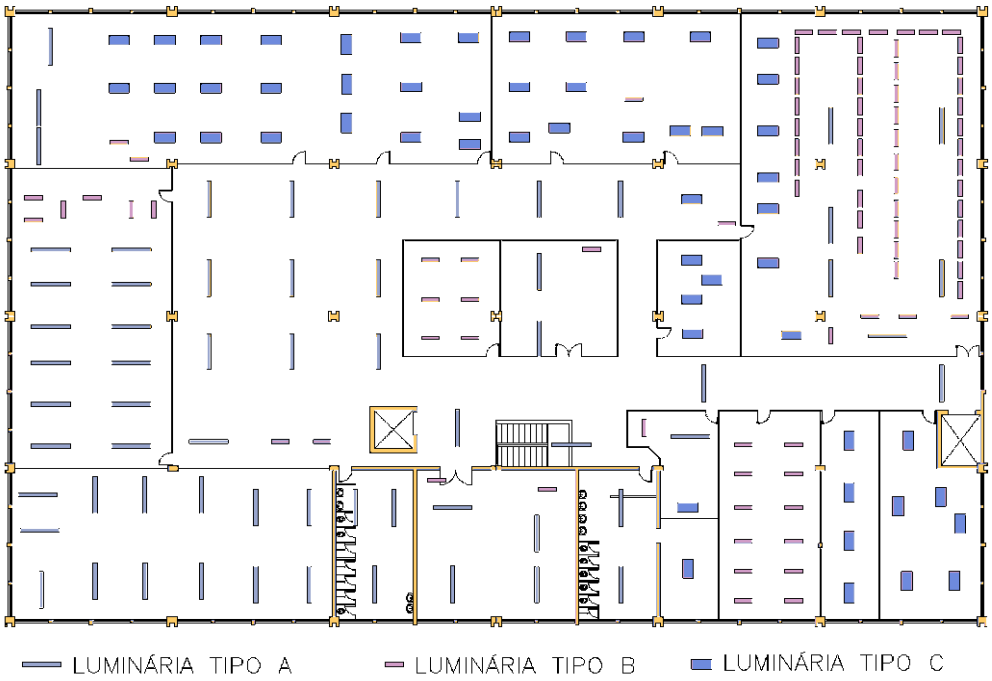
Em se tratando de autossombreamento, as aberturas de modo geral não possuem elementos de sombreamento, com exceção das marquises acima das docas e das portas de acesso. Como cada uma possui disposição e dimensões distintas, estas foram consideradas na modelagem tal qual a condições real da edificação.

3.3. Sistemas da edificação

3.3.1. Iluminação

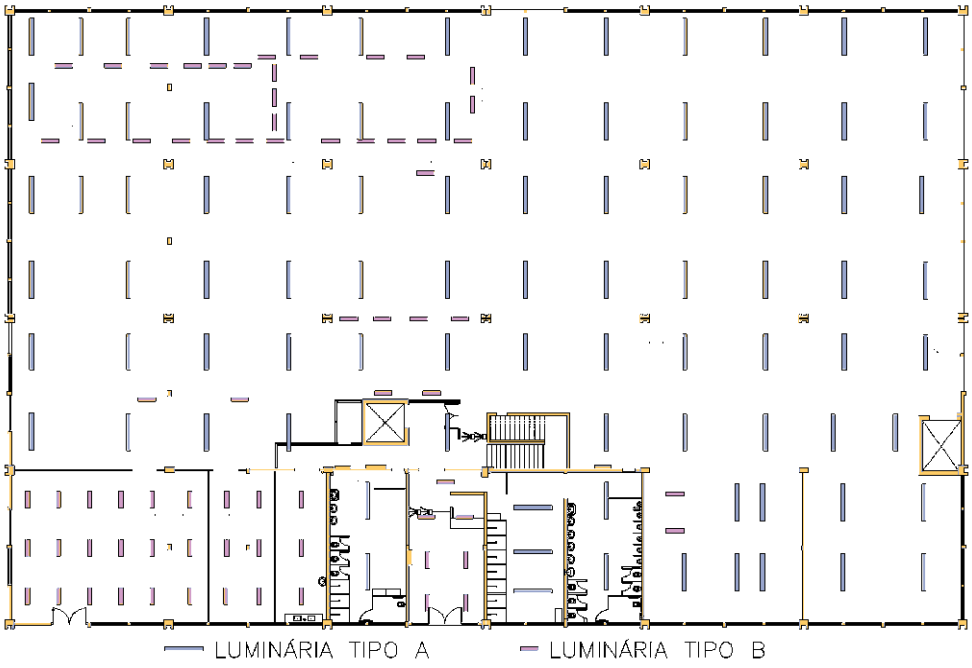
A edificação não possui um sistema padronizado de distribuição iluminação, o que evidencia sucessivas adaptações ao longo do tempo para acomodar demandas de uso que foram surgindo, como indicam as Figuras 13 e 14.

Figura 13 - Planta luminárias do piso superior



Fonte: Autor (2023)

Figura 14 - Planta luminárias do piso térreo



Fonte: Autor (2023)

Foi informado que em 2022 esta edificação passou por um *retrofit* de iluminação em financiamento compartilhado entre os Correios e a concessionária de energia local, por meio de projeto de incentivo da concessionária em programa público de investimento em eficiência energética. O *retrofit* desenvolvido aproveitou as luminárias existentes e substituiu apenas as lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas tubulares de LED correspondente, além de substituição de luminárias externas do pátio não abrangidas nesta pesquisa.

Mesmo pós-*retrofit*, a distribuição aleatória da iluminação implica numa variação na densidade de potência de iluminação (DPI) e iluminamento irregular. Diante disso, estabeleceu-se uma dificuldade de simular o sistema de iluminação tal qual ele se apresenta em cada um dos ambientes compartimentados. Em acordo com recomendações da INI-C, para efeito de levantamento se estabelece um dado de entrada médio neste caso.

Em levantamento geral das luminárias verifica-se a existência de três tipos de luminárias para iluminação interna dos ambientes no pavimento térreo e no pavimento superior. A luminária “Tipo A” corresponde a luminárias tipo calha com duas lâmpadas tubulares de LED de 40 W de potência e 3800lm de fluxo luminoso. A luminária “Tipo B” corresponde às luminárias com defletores óticos de alumínio polido e duas lâmpadas tubulares de LED de 18W de potência e 1850lm de fluxo luminoso. E a luminária “Tipo C” são

do tipo calha com quatro lâmpadas tubulares de LED de 8 W de potência e 1000lm de fluxo luminoso.

Foi feito o cálculo de DPI considerando a razão entre a somatória de potência total de lâmpadas instaladas pela área de piso a ser iluminada. O levantamento *in loco* aponta que no pavimento superior estão instaladas 62 luminárias "Tipo A", 88 luminárias "Tipo B" e 55 luminárias "Tipo C", instalações que somam 9.888W de potência distribuídas aleatoriamente em 2.400m² de área para iluminação. O cálculo correspondente a DPI do pavimento superior resulta em 4,12 W/m².

No pavimento térreo estão instaladas 89 luminárias "Tipo A" e 72 luminárias "Tipo B", que somam 9.712W de potência distribuídos aleatoriamente em 2.400m² de área para iluminação. O cálculo correspondente a DPI do pavimento térreo resulta em 4,05 W/m².

3.3.2. Climatização e ventilação natural

O condicionamento de ar interno no CTCECG ocorre de acordo com o tipo de atividade exercida no local de trabalho. Em levantamento realizado verificou-se a existência de 5 tipos de equipamentos diferentes. Os aparelhos de ar condicionado foram levantados no local, e estão especificados e dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações dos Equipamentos de Climatização

Legenda	Descrição	Fabricante	Capacidade	Potência	COP	ENCE
AR 01	Ar-condicionado inverter	Elgin	18.000 Btus	1080W	4,88	A
AR 02	Ar-condicionado inverter	Elgin	24.000 Btus	2310W	3,04	A
AR 03	Ar-condicionado convencional	Agratto	30.000 Btus	7290W	3,61	A
AR 04	Ar-condicionado Convencional	Hitachi	36.000 Btus	2850W	3,70	B
EC	Climatizador Evaporativo	Climattize	30.000m³/h	360W	-	-

Fonte: Autor (2023)

No pavimento superior todos os ambientes de permanência prolongada são climatizados por condicionadores de ar, ficando apenas os sanitários e vestiários com ventilação natural, conforme a planta ilustrativa representada na Figura 15. Em todos os corredores de circulação no piso superior, apenas uma janela ao lado do elevador de carga propicia iluminação e ventilação naturais.

Figura 15 - Climatização e ventilação do pavimento superior

Fonte: Autor (2023)

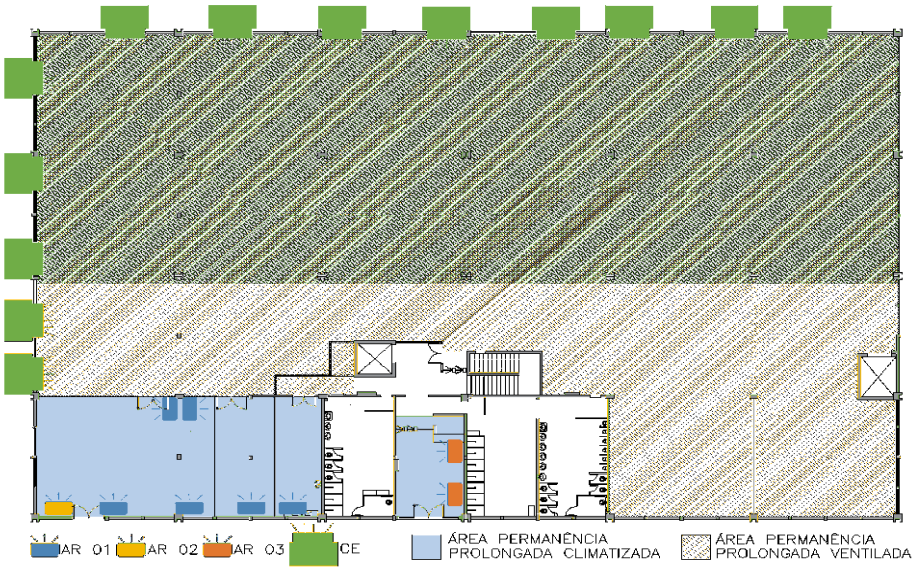
Considerando a variedade de equipamentos, cujos desempenhos são bem específicos a cada modelo, adotou-se a média de coeficiente de performance (COP) médio a partir da média aritmética de todos os equipamentos instalados na edificação. Desta forma o COP médio da edificação corresponde a 3,85W/W.

Quanto a utilização dos aparelhos de ar-condicionado, é considerada a mesma rotina da ocupação de escritórios, em 260 dias por ano. Normalmente regulam a temperatura em 24°C para resfriamento. Todos os aparelhos funcionam apenas na função resfriamento.

No pavimento térreo, nos ambientes de permanência prolongada onde há manipulação e movimentação de cargas operacionais, que possuem docas com ventilação natural permanente, o condicionamento ocorre apenas com ventilação natural potencializada pela instalação de 14 climatizadores evaporativos autônomos. Cada aparelho possui uma capacidade individual de 30.000,00m³/h de vazão, que se todos acionados simultaneamente proporcionam um fluxo de renovação de ar de 420.000,00m³/h. Estes aparelhos são todos conectados a uma rede específica de água que umidifica colméias e filtros por onde o ar captado externamente é resfriado e soprado para o interior do salão.

A disposição dos condicionadores de ar e dos climatizadores evaporativos do pavimento térreo podem ser observados na planta ilustrativa representada na Figura 16.

Figura 16 - Climatização e ventilação do pavimento térreo



Fonte: Autor (2023)

Nos ambientes de tratamento especial, sala de raio-x, refeitório e recepção ocorrem climatização por condicionadores de ar, enquanto no salão operacional apenas os climatizadores evaporativos.

3.4. Ocupação

A ocupação é bem distinta entre os dois pavimentos, devido ao tipo de atividade que se desenvolve em cada área. O pavimento superior, embora tenha visivelmente mais mobiliário que o pavimento térreo é mais ocupado que o pavimento térreo. Enquanto no pavimento superior são estimadas 149 pessoas, no pavimento térreo são contabilizadas 76 pessoas. Estes números são relativos ao turno mais cheio de funcionários que ocorre em horário comercial, de segunda a sexta-feira.

3.5. Equipamentos

Não foi possível aferir com precisão a quantidade e potência de equipamentos ligados à rede elétrica para estabelecer uma densidade de potência para equipamentos (DPE) confiável para inserir na simulação. Sendo então adotados parâmetros estabelecidos pela normativa INI-C que orienta que se utilize o mesmo valor para o caso real e de referência, estabelecidos de acordo com a tipologia de uso da edificação. Para uma edificação de escritório, verificou-se a Tabela A.1 da INI-C e foi adotada a DPE de 15 W/m² como condição

real e de referência. A fração radiante dos equipamentos de todos os equipamentos adotada foi de 30%, seguindo referências da NBR 15575 (ABNT,2021), que traz recomendações para edificações habitacionais, mas que balizam algumas decisões enquanto não se tem uma norma especifica para edifícios comerciais e outros.

3.6. Rotinas

A rotina de ocupação também se distingue entre a atividade administrativa e atividade operacional. Observou-se que nos setores administrativos, de segunda a sexta-feira os funcionários começam a chegar às 7h da manhã, estimando uns 20% dos funcionários neste horário. Às 8h, 100% dos funcionários administrativos assumiram seus postos de trabalho e essa ocupação se estende até o intervalo de almoço entre 12 e 13h, quando parte dos funcionários saem para o almoço, restando uns 50% destes que se alimentam no local de trabalho e descansam ali mesmo no intervalo. A ocupação volta a 100% a partir das 14h e se estende até as 17h quando reduz novamente a 20% e zera a partir das 18h. Aos sábados, poucos funcionários fazem expediente administrativo, estima-se em torno de 10% que fazem expediente normalmente no período matutino entre 8 e 11h.

Na área operacional, a rotina é um pouco mais dinâmica. De segunda a sexta-feira no primeiro turno, em torno de 10% do efetivo inicia a rotina às 4h da madrugada. Os demais funcionários começam a chegar às 7h da manhã, estimando uns 50% dos funcionários neste horário. Às 8h, 100% dos funcionários operacionais assumiram seus postos de trabalho e uma parte destes tem troca de turno. Esta ocupação se estende até o intervalo de almoço entre 12 e 13h, quando uma pequena parte dos funcionários saem para o almoço, restando cerca de 70% destes que se alimentam e descansam no local de trabalho durante o intervalo. A ocupação volta a 100% a partir das 14h e se estende até as 17h, quando ocorre nova troca de turno e o efetivo é reduzido a 20% até as 21h quando reduz a 10% e zera às 23h.

Aos sábados, o efetivo operacional é reduzido, mas ainda assim estima-se em torno de 10% no período matutino a partir das 4h, chegando a 25% às 7h e 40% às 8h se estendendo até as 12h quando ocorre troca de turnos e equipe vespertina começa a assumir seus postos no período entre 12 e 13h quando o efetivo fica em torno de 5%. Das 14h até as 17h, 40% dos postos estão ocupados, reduzindo novamente a 5% ao final do turno às 18h. Entre 19 e

21h praticamente não há funcionários trabalhando, quando às 22h apenas 10% retornam para últimos despachos do dia.

Aos domingos a atividade se restringe apenas à carga e descarga em dois horários. Logo às 4h até as 5h, com 10% do efetivo opera a carga e descarga. O mesmo ocorre a noite das 22h até 23h, novamente com 10% do efetivo em posto de trabalho.

3.7. Taxa metabólica

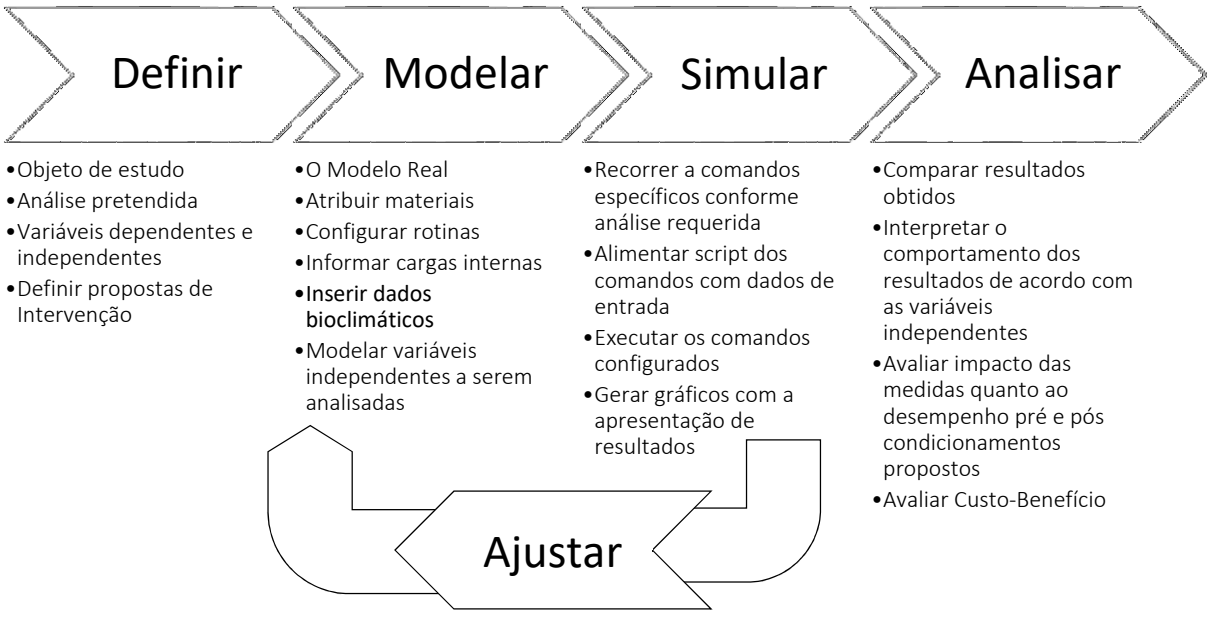
Considerando atividades distintas entre o pavimento térreo e o pavimento superior, e tomando como referência a ISO 7730 *(International Organization for Standardization*, 2005), pode-se classificar a atividade administrativa no pavimento superior como atividade sedentária com taxa metabólica de 70W/m². Já a atividade operacional no pavimento térreo é similar aos trabalhos domésticos com movimentação moderada e manejo de objetos leves. É considerado o tratamento de cargas pesadas uma atividade operacionalizada por meio de equipamentos que eliminam o esforço físico como empilhadeiras e paleteiras elétricas. Sendo assim, estimou-se a taxa metabólica de pessoas envolvidas na atividade operacional em 116W/m².

4. O MÉTODO

Como observado no capítulo anterior, este trabalho adotou o estudo de caso como estratégia de pesquisa científica. A pesquisa se baseia na Instrução Normativa INMETRO para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C (INMETRO, 2022) para examinar a complexidade envolvida no comportamento energético da edificação, bem como as variáveis que o influenciam. A vertente adotada deste método contempla a simulação da INI-C em pares de condições: a "condição real" em que se configuram os parâmetros da edificação sem qualquer intervenção de melhoria, em contraponto ao modelo de simulação na "condição de referência".

O método adotado não é exatamente o da Instrução Normativa, pois há diferença encontrada nos pares comparativos. Neste estudo de caso, a simulação de um "modelo real" não pretende ser confrontada a um modelo de referência, mas confrontar este modelo a propostas definidas de intervenção de *retrofit* de envoltória. O desenvolvimento do trabalho foi divido em quatro etapas, conforme a Figura 17.

Figura 17 - Etapas do método



Fonte: Autor (2023)

Primeiro foram determinados os cenários que hão de compor o panorama comparativo de intervenções, considerando o objetivo geral deste trabalho que se propõem a apresentar um plano de intervenção de *retrofit* da envoltória baseado em análise de custo-

benefício por exploração de cenários simulados. A premissa foi estabelecer três cenários de intervenção:

- Modelo Baixo Investimento (MBI) – modelo de simulação do CTCECG com intervenções a baixo custo de investimento;
- Modelo Médio Investimento (MMI) – modelo de simulação do CTCECG com intervenções a médio custo de investimento;
- Modelo Alto Investimento (MAI) – modelo de simulação do CTCECG com intervenções a alto custo de investimento;

Além destes cenários de intervenção, também um modelo de simulação da edificação nas condições reais em que ele se encontra, sem qualquer intervenção, denominado "Modelo Real" – MR para o comparativo dos resultados simulados na ocasião da análise de resultados.

Os parâmetros térmicos dos materiais que compõem as diferentes envoltórias se basearam no "Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidro" anexo à Portaria INMETRO 50/2013 que regulamenta a INI-C. As propriedades de materiais não presentes neste documento foram consultados nos catálogos técnicos dos materiais e calculadas conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

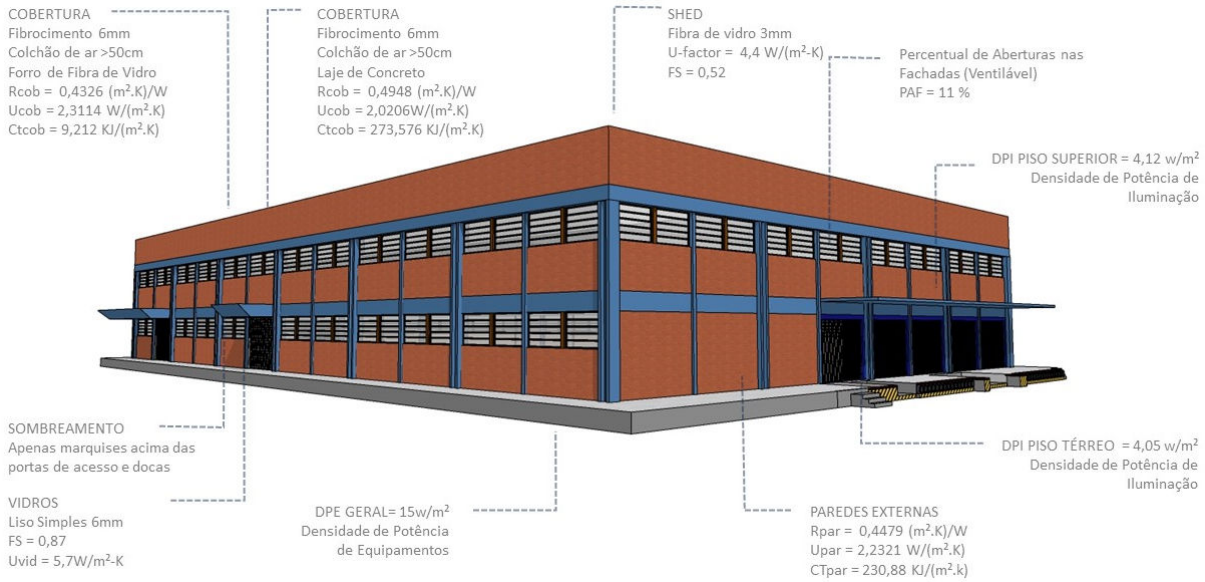
A análise de custo-benefício foi realizada com base na estimativa de redução do consumo de energia das propostas de intervenção e seus desempenhos determinados pela simulação de desempenho de edificações. A análise de custo-benefício foi feita por cálculo de *payback*, confrontando o valor do investimento ao valor estimado em economia a ser calculado de acordo com a tarifa praticada pela concessionária local para edificações públicas no Estado de Mato Grosso do Sul.

4.1. O Modelo Real - MR

O Modelo Real (MR), seguindo os mesmo termos e recomendações da INI-C, foi desenvolvido a partir dos levantamentos realizados *in loco* e representam as propriedades térmicas dos materiais que o compõem tal qual se encontram na edificação existente. Estas informações se apresentam conforme ilustra a Figura 18, que é um modelo em SketchUp pré-existente a esta pesquisa e adaptado pelo autor para compor este e os demais modelos

ilustrativos. As tabelas que se seguem com as propriedades térmicas relativas aos materiais aplicados ao modelo de simulação, segue referência da NBR15220-2:2005.

Figura 18 - Imagem ilustrativa Modelo Real - MR



Fonte: Autor (2023)

As paredes externas são compostas por blocos cerâmicos de 6 furos reboco interno de argamassa e revestimento externo em placas de cerâmica em cor terracota, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Composição das Paredes Externas

Composição	e (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m².K/W)	CT (kJ/m².K)
Revestimento Cerâmica	0,01	0,90	2000	0,92	0,011111	18,4
Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1,00	0,017391	40,0
Bloco Cerâmico	0,09	0,90	1600	0,92	0,2321	132,4
Argamassa de Reboco	0,02	1,15	2000	1,00	0,017391	40,0

e = espessura; λ = condutividade térmica; ρ = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica. Fonte: NBR15220-2:2005

Quanto às paredes internas (Tabelas 3 e 4) na compartimentação da recepção, sanitários, poço de elevador e copa as paredes são de alvenaria de blocos cerâmico revestida. As compartimentações dos ambientes de trabalho são feitas com painéis de divisória naval e perfis metálicos, assim como as portas internas nestes ambientes.

Tabela 3 - Composição das Paredes Internas

Composição	e (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m².K)/W)	CT (kJ/m².K)

Argamassa de Reboco	0,02	1,15	2000	1,00	0,017391	40,0
Bloco Cerâmico	0,09	0,90	1600	0,92	0,2321	132,4
Argamassa de Reboco	0,02	1,15	2000	1,00	0,017391	40,0

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica. Fonte: NBR15220-2:2005

Tabela 4 - Composição divisórias internas

Composição	**e (m)**	**λ (W/m.K)**	**ρ (kg/m³)**	**c (kJ/kg.K)**	**R (m².K)/W)**	**CT (kJ/m².K)**
Compensado de Madeira	0,0025	0,15	600	1,34	0,016667	2,01
Colchão de Ar	0,03	0,16	-	-	0,16	-
Compensado de Madeira	0,0025	0,15	600	1,34	0,016667	2,01

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica. Fonte: NBR15220-2:2005 adaptado pelo autor

O telhado é composto por estrutura metálica com fechamento em telhas de fibrocimento 6mm ondulada, conforme Tabela 5. Trata-se da cobertura original da edificação e encontra-se bem deteriorada pela ação do tempo, com escurecimento da superfície externa e perda de massa ao longo de quase 40 anos de exposição.

Tabela 5 - Composição da cobertura com laje

Composição	**e (m)**	**λ (W/m.K)**	**ρ (kg/m³)**	**c (kJ/kg.K)**	**R (m².K)/W)**	**CT (kJ/m².K)**	**FS (%)**	**TS (%)**
Telha Fibrocimento	0,006	0,95	1900	0,84	0,006316	9,576	-	-
Colchão de Ar (não ventilado)	>0,50	1,19	-	-	0,21	-	-	-
Laje de Concreto	0,12	1,75	2200	1,00	0,068571	264	-	-
Telha Translúcida Fibra de Vidro	0,003	0,40	1300	-	0,0075	3,276	52,64	48,52

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica; FS= fator solar; TS = transmitância solar. Fonte: NBR15220-2:2005, Catálogo Planefibra adaptado pelo autor

Parte do pavimento superior possui laje de cobertura em concreto maciço, porém a maior parte do pavimento não possui laje de cobertura e os ambientes possuem fechamento do ático com forro modular de fibra de vidro em montantes metálicos. A Tabela 6 mostra a composição da cobertura com forro.

Tabela 6 - Composição da cobertura com forro

Composição	**e (m)**	**λ (W/m.K)**	**ρ (kg/m³)**	**c (kJ/kg.K)**	**R (m².K)/W)**	**CT (kJ/m².K)**
Telha Fibrocimento	0,006	0,95	1800	0,84	0,006316	9,072

Colchão de Ar	>0,50	1,19	-	-	0,21	-
Forro de Fibra de Vidro	0,02	0,045	10	0,70	0,006316	0,14

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica. Fonte: NBR15220-2:2005 adaptado pelo autor

A laje de piso intermediária, de acordo com os projetos disponibilizados, é de concreto armado do tipo maciça com 15cm de espessura, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Composição da laje de piso

Composição	e (m)	λ (W/m.K)	ρ (kg/m³)	c (kJ/kg.K)	R (m².K)/W)	CT (kJ/m².K)
Piso Industrial Monolítico	0,03	1,75	2200	1,00	0,01	66,00
Laje de concreto	0,15	1,75	2200	1,00	0,08	330,00
Argamassa de Reboco	0,025	1,15	2000	1,00	0,02	50,00

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica. Fonte: NBR15220-2:2005 adaptado pelo autor

Para estabelecer uma análise comparativa com MR, a absortância dos elementos da envoltória e superfícies internas de todos os modelos simulados serão apresentados após a exposição dos modelos de retrofit. Foram adotados parâmetros referenciais normatizados e dados apresentados pelos fabricantes em catálogos técnicos, visto que a aferição das propriedades térmicas (resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar) de elementos e componentes do Modelo Real bem como das amostras simuladas fogem ao escopo deste trabalho.

4.2. Modelos de *retrofit* de envoltória

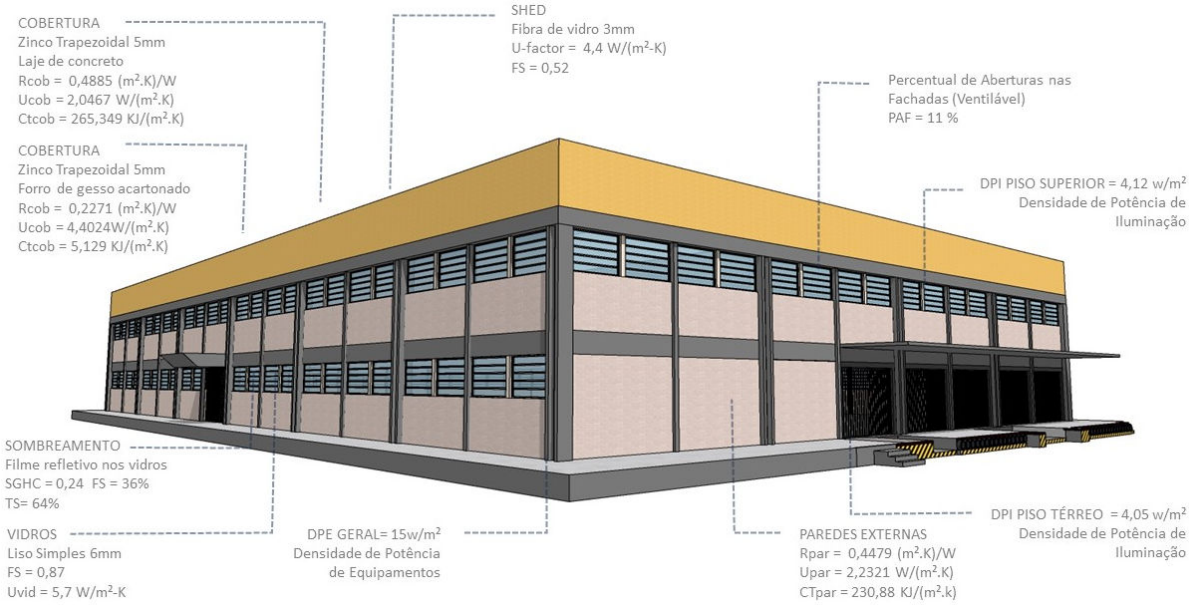
4.2.1. Modelo Baixo Investimento - MBI

O Modelo de Baixo Investimento (MBI) contempla a substituição do telhado de fibrocimento 6mm por telhas metálicas galvanizadas 5mm de espessura. Para acabamento inferior e garantir um isolamento mínimo logo abaixo das telhas é proposto um forro com placas de gesso acartonado acompanhando a declividade do telhado, instalado sobre a estrutura metálica da cobertura. Os *shed*s devem ser reativados para garantir o uso de

iluminação e ventilação natural. As telhas translúcidas de fechamento devem ser substituídas por novas telhas de fibra de vidro leitosa de 3mm de espessura[4].

As janelas devem ser reparadas e mantidas como originalmente instaladas. Os vidros permanecem como no MR com o vidro comum 6mm, porém recebem aplicação de película de controle solar refletiva[5]. As paredes externas são pintadas na cor palha, assim com as esquadrias das janelas e portas. A Tabela 8 apresenta as propriedades térmicas relativas aos materiais propostos a simulação do MBI e a Figura 19 ilustra esta proposta de intervenção.

Figura 19 - Imagem ilustrativa Modelo Baixo Investimento (MBI)



Fonte: Autor (2023)

Tabela 8 - Propriedades dos materiais propostos para simulação do MBI

Elemento Opacos	**e (m)**	**λ (W/m.K)**	**ρ (kg/m³)**	**c (kJ/kg.K)**	**R (m².K)/W)**	**CT (kJ/m².K)**
Telha Metálica	0,0005	112	7100	0,38	0,000004	1,349
Gesso Acartonado	0,006	0,35	750	0,84	0,017144	3,780
Elementos Translúcidos	**e (m)**	**U-factor (W/m²-K)**	**SGHC**	**Tvis (%)**	**FS (%)**	**TS (W/m².K)**
Telha Fibra de Vidro	0,003	-	0,87	48	52	4,40
Vidro Comum	0,006	0,20	0,87	84	87	0,57
Película Refletiva	-	0,95	0,47	49	36	0,39

[4] Telha translúcida referência Planefibra, FBR06

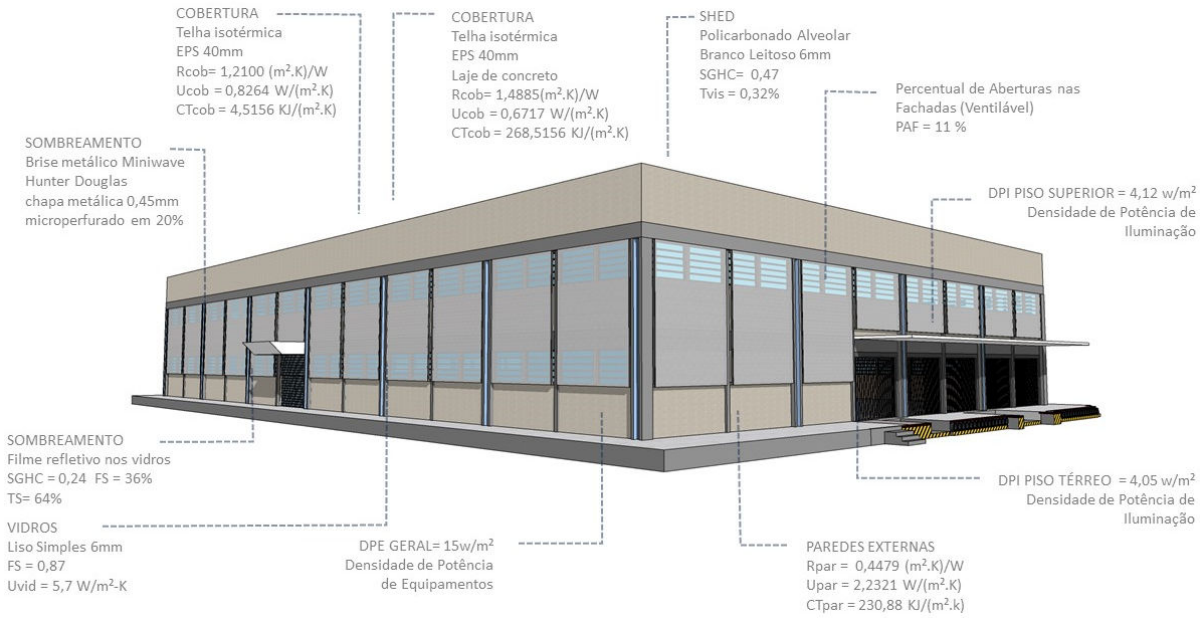
[5] Película solar refletiva referência LLumar, R50 SR CDF / Silver

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica; U-Factor = fator de isolamento térmico; SGHC= coeficiente de ganho de calor; Tvis = transmitância visível; FS= fator solar; TS = transmitância solar Fonte: NBR15220-2:2005, Catálogos CB3E, LLumar e Planefibra

4.2.2. Modelo Médio Investimento - MMI

O Modelo de Médio Investimento (MMI), ilustrado na Figura 20, propõe a substituição do telhado de fibrocimento 6mm por telhas termoacústicas com isolante de poliestireno expandido (EPS). São telhas trapezoidais de liga metálica trapezoidais com 40mm de espessura de camada isolante. Como a telha possui acabamento inclusive pelo lado inferior é dispensado o uso de forro, sendo as telhas instaladas diretamente na estrutura metálica da cobertura.

Figura 20 - Imagem ilustrativa Modelo Médio Investimento (MMI)



Fonte: Autor (2023)

Os *shed*s também devem ser restaurados e reutilizados com a substituição das telhas translucidas por chapas de policarbonato alveolar branco leitoso de 6mm de espessura.

As janelas devem ser reparadas e mantidas como originalmente instaladas, e os vidros permanecem sendo o vidro comum 6mm, porém recebem aplicação de película de controle solar refletiva e proteção com sistema de brise metálico com chapas micro perfuradas[6]. Este

[6] Brise metálico referência Hunter Douglas, Miniwave Aluzinc / perfurado 20% /Prata Brasil

material possui propriedades opacas do metal e translúcidas por conta da microperfuração. São de chapas de liga metálica com 0,45mm de espessura com perfuração de 20% e são instaladas externamente à 25cm das esquadrias.

As paredes externas são pintadas de cor palha, absortância 27,2% conforme o catálogo de propriedades térmicas anexo a INI-C (INMETRO, 2022), assim com as esquadrias das janelas e portas. A Tabela 9 apresenta as propriedades térmicas relativas aos materiais propostos a simulação do MMI.

Tabela 9 - Propriedades dos materiais propostos para simulação do MMI

Elemento Opacos	**e (m)**	**λ (W/m.K)**	**ρ (kg/m³)**	**c (kJ/kg.K)**	**R (m².K)/W)**	**CT (kJ/m².K)**
Telha Metálica	0,0005	55	7100	0,38	0,0000091	13,49
Isolamento EPS	0,04	0,04	32	1,42	1,00	1,8176
Brise Metálico	0,00045	55	7100	0,38	0,000008	0,513
Elementos Translúcidos	**e (m)**	**U-factor (W/m²-K)**	**SGHC**	**Tvis (%)**	**FS (%)**	**TS (W/m².K)**
Policarbonato Alveolar Leitoso	0,006	-	0,47	0,32	47	0,32
Vidro comum	0,006	0,20	0,87	0,84	87	0,13
Película Refletiva	-	-	0,39	0,18	39	0,64

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica; U-Factor = fator de isolamento térmico; SGHC= coeficiente de ganho de calor; Tvis = transmitância visível; FS= fator solar; TS = transmitância solar Fonte: NBR15220-2:2005, Catálogos CB3E, LLumar, Planefibra e Poligal

4.2.3. Modelo Alto Investimento - MAI

O Modelo de Alto Investimento proposto consiste na substituição do telhado por telhas termoacústicas com isolante de espuma de poliuretano com 30mm de espessura. Também substituição da vedação do *shed* com policarbonato alveolar branco leitoso[7] e reativação do sistema com a retirada do forro.

As janelas foram todas substituídas por modelo maxim-ar com vidro refletivo 6mm[8]. As aberturas foram aumentadas no piso superior e no piso térreo, sendo que no piso superior aumentaram de 1,50m de altura para 2,10m de altura com o rebaixo do peitoril a 1,40m. Já no pavimento térreo aumentou-se 20cm na altura, passando o peitoril a 1,80. Além disso a

[7] Policarbonato referência Poligal, Estandard Opalina 6mm

[8] Vidro referência CEBRACE, Cool Lite SKN 154 6mm

porta principal também foi substituída para manter a estética das janelas. Esta substituição das janelas aumenta a área de abertura de 5,2% da área de piso para 16,1% da área de piso.

Com relação à ventilação, o aumento também foi expressivo, passando de 32,3% para 50% da área das aberturas e especialmente a área de ventilação natural. Estas aferições foram feitas conforme protocolo de medições da INI-C, e estas mudanças foram propostas para atendimento às recomendações da NBR 15575 (ABNT, 2021) para ambientes de longa permanência, apesar das recomendações desta norma serem direcionadas às edificações habitacionais, isso devido ao fato da inexistência de norma especifica para edificações públicas, comerciais ou de serviços.

Figura 21 - Imagem ilustrativa Modelo Baixo Investimento (MAI)

Fonte: Autor (2023)

Neste modelo foi proposto um sistema de sombreamento com tela solar de trama de poliéster revestida com PVC[9], como ilustrado na Figura 21. O sistema é instalado externamente com afastamento entre 50cm e 1m da estrutura da edificação. Um elemento com função de sombrear aberturas e paredes e possui apelo estético remetendo ao grafismo das caixas de encomendas dos Correios, e cujas propriedades dos materiais estão indicados na Tabela 10.

Tabela 10- Propriedades dos materiais propostos para simulação do MAI

Elemento Opacos	**e (m)**	**λ (W/m.K)**	**ρ (kg/m³)**	**c (kJ/kg.K)**	**R (m².K)/W)**	**CT (kJ/m².K)**
Telha Metálica	0,0005	55	7100	0,38	0,000009	1,349
Isolamento PU	0,03	0,04	32	1,42	0,75	1,3632
Membrana Têxtil	0,00045	0,05	1400	1,3	0,27	8,19
Elementos Translúcidos	**e (m)**	**U-factor (W/m²-K)**	**SGHC**	**Tvis (%)**	**FS (%)**	**TS (W/m².K)**
Policarbonato Alveolar Leitoso	0.006	-	0,47	0,32	47	0,32
Vidro Refletivo	0,006	3,13	0,29	0,20	29	0,23

e = espessura; **λ** = condutividade térmica; **ρ** = densidade de massa aparente; c = calor específico; R= resistência térmica; CT= capacidade térmica; U-Factor = fator de isolamento térmico; SGHC= coeficiente de ganho de calor; Tvis = transmitância visível; FS= fator solar; TS = transmitância solar Fonte: NBR 15220-2:2005, Catálogos CB3E, Planefibra, Poligal, Serge Ferrari e 3M

[9] Tela solar referência Serge Ferrari, Soltis Perform 92 Alu/ Medium grey 92-2074

4.3. Estimativo de custo das intervenções

Por meio de três planilhas[10] representativas de orçamentos de cenários distintos de intervenção de *retrofit*, foram definidas as alterações a serem implementadas conforme o porte de investimento.

Esta etapa é importante no rito processual de contratação de uma obra pública, que necessita ser planejada com base em projetos e orçamentos devidamente especificados, quantificados e orçados. Entretanto, o rigor para a estimativa de custos para este trabalho não foi a mesma adotada na instrução de contratos de obras de engenharia, por se tratar de um ensaio acadêmico. Ainda assim, as planilhas foram elaboradas por meio da plataforma Orçafascio[11], sistema de orçamento de obras online utilizado pelos Correios e que contempla os preços unitários dos insumos e composições em tabelas públicas de cotação de mercado. O banco de referência utilizado preferencialmente foi o mesmo recomendado pelo Tribunal de Conta da União, SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, da Caixa Econômica Federal, entre outros bancos públicos.

Esta previsão de investimento foi estimada apenas com base nas intervenções proposta e não compreende outras obras que provavelmente integrariam um projeto real de *retrofit* como reparos e outras mudanças.

Com a intenção de desafixar os parâmetros financeiros desta pesquisa a um orçamento datado, optou-se por converter o custo estimado em uma data-base a um índice. Logo, os custos do investimento estimados foram indexados pelo Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/m² desonerado), calculado pelo Sindicato Intermunicipal da Industria da Construção do Estado de Mato Grosso do Sul (Sinduscon-MS), conforme disposto no artigo 7º da Lei 12.546/11 e alterações pela Lei 12.844/13. Foi adotada a categoria Comercial Andar Livre até 8 pavimentos padrão de acabamento normal, CAL-8 Padrão Normal, data base agosto de 2023, para a indexação, cujo cálculo foi estimado em R$ 1.917,78 R$/m², sendo este

[10] As planilhas de orçamento para definição dos modelos estão disponíveis nos Anexos.

[11] Orçafascio é um sistema *on line* que possibilita a confecções de orçamentos de obras baseado na tabela Sinapi, gerenciada pela Caixa Econômica Federal, ou outras tabelas públicas de referência de preços de mercado ofertadas no sistema, Acesso ao sistema disponível no site orcafascio.com.br

índice atualizado mensalmente pelo Sinduscon-MS, seguindo as normativas da ABNT NBR 12.721:2006.

E para balizar a análise de custo-benefício se faz necessário abordar os valores previstos e arredondados, conforme constam na Tabela 11.

Tabela 11 - Previsões de Investimento para as propostas de *retrofit*

Proposta de *Retrofit*	**Investimento no *Retrofit***
Modelo de Baixo Investimento	491,52 CUB
Modelo de Médio Investimento	1.114,15 CUB
Modelo de Alto Investimento	1.933,95 CUB

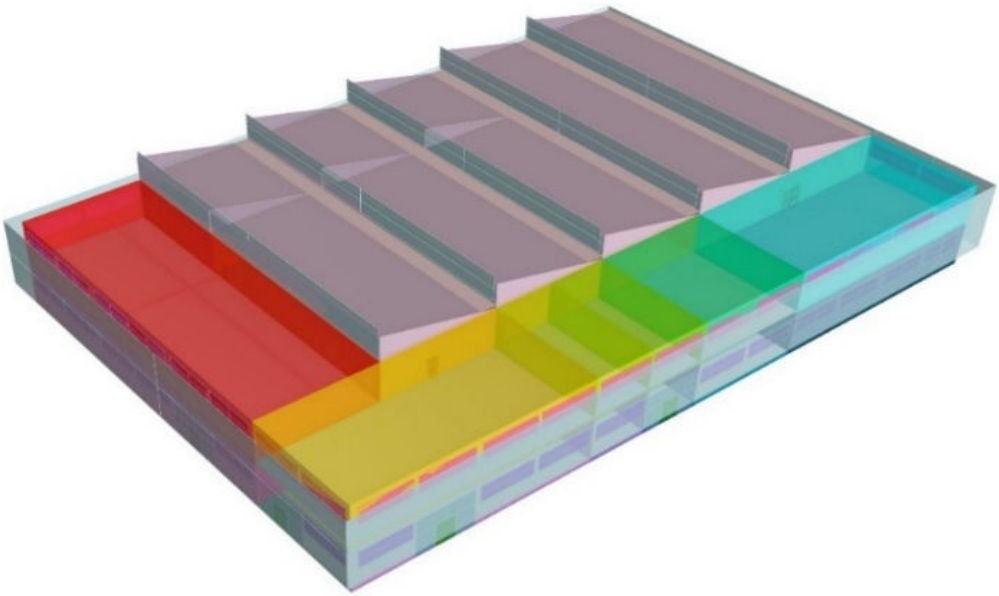
Fonte: Autor (2023)

Os quantitativos foram extraídos de maquetes do CTCECG modeladas nos três cenários de intervenção por meio do aplicativo Sketchup®, disponibilizados pelos Correios e adaptados pelo autor. O levantamento se limitou estritamente a intervenções na envoltória, como substituição de telhado, forro, vidros, esquadrias e elementos de sombreamento.

4.4. Modelo de simulação computacional de edificações

Além dos modelos ilustrativos feitos no Sketchup® para o MR, MBI, MMI e MAI, foi necessário o desenvolvimento de um modelo de simulação de eficiência energética com uso do *software* de modelagem tridimensional baseado na tecnologia NURBS, o *software* Rhinoceros® (Rhino), versão 7, ilustrada na Figura 22.

Figura 22 - Modelagem no Rhino do Modelo Base para análise exploratória



Fonte: Autor (2023)

Tanto o MR quantos os demais modelos de *retrofit* se utilizaram deste mesmo modelo computacional tridimensional paramétrico para a simulação de seu desempenho energético, pois este permite a alteração das propriedades dos materiais bem como a ativação ou não de elemento de sombreamento ou outra variável no modelo. Este tipo de modelo paramétrico possibilita a simulação exploratória de tratamentos da envoltória e até mesmo outros ensaios destes em diferentes localidades e orientações geográficas se necessário.

A construção deste modelo tomou por base os projetos disponibilizados pelos Correios e levantamentos arquitetônicos feitos presencialmente. A modelagem considerou as dimensões e conformações da edificação como se apresenta na realidade. Foram feitas todas as compartimentações que consequentemente definiram as zonas térmicas existentes tanto no pavimento térreo quanto no pavimento superior. Os *shed*s presentes na cobertura também foram modelados como zonas térmicas específicas por serem enclausuradas. Todas as aberturas nas fachadas, nos *shed*s e as aberturas nas paredes internas foram modeladas.

A modelagem considerou o zoneamento térmico seguindo a compartimentação interna dos pavimentos com pequenas adaptações para melhor comunicação nos encontros de adjacências, a qual resultou em 15 zonas térmicas, sendo 6 no pavimento térreo e 9 no pavimento superior, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 - Zoneamento térmico do modelo de simulação

Fonte: Autor (2023)

4.5. Variáveis do modelo de simulação

Alguns parâmetros foram definidos como invariáveis por necessidade de isolar os efeitos que os elementos da envoltória exercem sobre os modelos. A modelagem básica que implica na definição da área construída, pé-direito dos pavimentos, forma, compartimentações e elementos de composição das paredes de vedação externa e divisões internas foram mantidas em todos os modelos.

As alterações em relação à modelagem correspondem a eliminação de portas que existiam no canto das fachadas oeste e sul e substituição destas por janelas, o que ocorreu em todos os modelos de *retrofit*. Ainda com relação às mudanças, apenas na modelagem de MAI, o PAFT foi alterado com o aumento da dimensão das janelas e o sistema de abertura destas sendo que MR, MBI e MMI foi considerado PAFT 11% e MAI, considerou-se PAFT 15%.

A absortância solar das superfícies internas e externas dos modelos simulados impactam nos resultados de consumo energético, térmico e lumínico, pois é uma grandeza que relaciona a quantidade de energia solar absorvida pela energia que incide na superfície. Foram atribuídos aos materiais internos e externos os parâmetros normativos da NBR 12220-2 (ABNT, 2005) e se apresentam nos modelos MR, MBI, MMI e MAI conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Absortância das superfícies interna e externas dos modelos simulados (α)

	MR	MBI	MMI	MAI
Telhado	0,70	0,20	0,20	0,20
Parede Externa	0,70	0,30	0,30	0,30
Paredes Internas	0,30	0,30	0,30	0,30
Piso interno	0,75	0,75	0,75	0,75
Teto	0,20	0,20	0,20	0,20

Fonte: NBR 15220-2:2005

As variáveis bioclimáticas relativas à localidade em que o objeto de estudo está inserido, assim como a interferência do entorno e impactos ocasionados pela vizinhança, considerados nulos, foram invariáveis entre os modelos MR e os demais modelos de *retrofit.*

As cargas térmicas internas, definidas pela iluminação, equipamentos, ocupação e taxa metabólica da atividade desenvolvida foram constantes nos modelos simulados, assim como o calendário de rotina e variações da ocupação ao longo das horas do dia e no decorrer da semana. A Tabela 13 resume os parâmetros invariáveis utilizados na configuração dos modelos MR, MBI, MMI e MAI.

Tabela 13 - Parâmetros invariáveis da configuração da simulação

Parâmetro	und	MR	MBI	MMI	MAI
DPI Pav. Térreo	W/m²	4,04	4,04	4,04	4,04
DPI Pav. Superior	W/m²	4,12	4,12	4,12	4,12
DPE Pav. Térreo	W/m²	15,00	15,00	15,00	15,00
DPE Pav. Superior	W/m²	15,00	15,00	15,00	15,00
Ocupação Pav. Térreo	Pessoas/m²	0,031	0,031	0,031	0,031
Ocupação Pav. Superior	Pessoas/m²	0,062	0,062	0,062	0,062
Taxa Metabólica Pav. Superior	W/m²	70	70	70	70
Taxa Metabólica Pav. Térreo	W/m²	116	116	116	116
Rpar	(m².K)/W	0,4479	0,4479	0,4479	0,4479
Upar	W/(m².K)	2,2321	2,2321	2,2321	2,2321
CTpar	KJ/(m².K)	230,88	230,88	230,88	230,88

Onde: DPI: densidade de potência de iluminação; Rpar: resistência térmica das paredes; Upar: resistência térmica das paredes; CTpar: capacidade térmica das paredes.

Fonte: Autor, 2023.

As condições de ventilação natural, bem como acionamentos e fechamento também são condições invariáveis para os modelos. Estes parâmetros impactam diretamente na simulação de conforto térmico e estão condicionados a ocupação dos ambientes conforme definido nas rotinas. Os *setpoints* de acionamento da ventilação natural foram definidos conforme a Tabela 14.

Tabela 14 - *Setpoints* de acionamento da ventilação natural

Modelos	PAFT (%)	Temperatura Int. Mín. (°C)	Temperatura Int. Máx. (°C)	Temperatura Ext. Mín. (°C)	Temperatura Ext. Máx. (°C)
MR	11	20	25	19	26
MBI	11	20	25	19	26
MMI	11	20	25	19	26

MAI	15	20	25	19	26

Fonte: Autor, 2023.

Os parâmetros de climatização também foram considerados invariáveis e condicionados à ocupação e rotinas de uso da edificação. Os *setpoints* de acionamento do ar-condicionado nos ambientes climatizados foram definidos conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - *Setpoints* de acionamento do ar-condicionado

Modelos	COP (W/W)	Resfriamento	Aquecimento	Temp. Int. Acionamento (°C)	Temperatura Ideal (°C)
MR	385	Sim	Não	26	25
MBI	385	Sim	Não	26	25
MMI	385	Sim	Não	26	25
MAI	385	Sim	Não	26	25

Fonte: Autor, 2023.

Definidos os parâmetros invariáveis, o estudo se concentra na análise do efeito que os materiais e soluções propostas para o condicionamento da envoltória causam sobre o desempenho energético do MR e dos demais modelos propostos. Sendo assim, os parâmetros relativos às propriedades térmicas dos materiais da envoltória, como foram apresentados na descrição dos modelos de retrofit, são variáveis do modelo, são eles:

- Absortância da Cobertura com emprego de telhas metálica trapezoidal simples, termoacústica com isolamento em EPS ou PU;
- Fator solar e transmitância dos vidros considerando emprego de vidros comuns, vidros reflexivos e vidros comuns com película de controle solar;
- Presença ou não de sistema de sombreamento das aberturas e paredes de vedação externa, considerando a obstrução e transmissão visível da luz para o emprego de brises metálicos ou membranas têxteis solares;
- Dimensão das janelas apenas para simulação do MAI que propõem a mudança destas esquadrias.

4.6. Configuração dos parâmetros de simulação

Com a definição da volumetria e dos materiais construtivos que devem ser investigados por meio da simulação, foram definidas as propriedades físicas, térmicas e ópticas destes materiais que se tornaram parâmetros invariáveis e variáveis e foram atribuídas ao modelo computacional por meio dos dispositivos vinculados ao programa Rhino, o Grasshopper®, que gerencia a operação de outros *plug-in*s vinculados. Por meio desta

ferramenta os dados de transmitância térmica, absortância e refletância solar, e outras foram vinculados à modelagem.

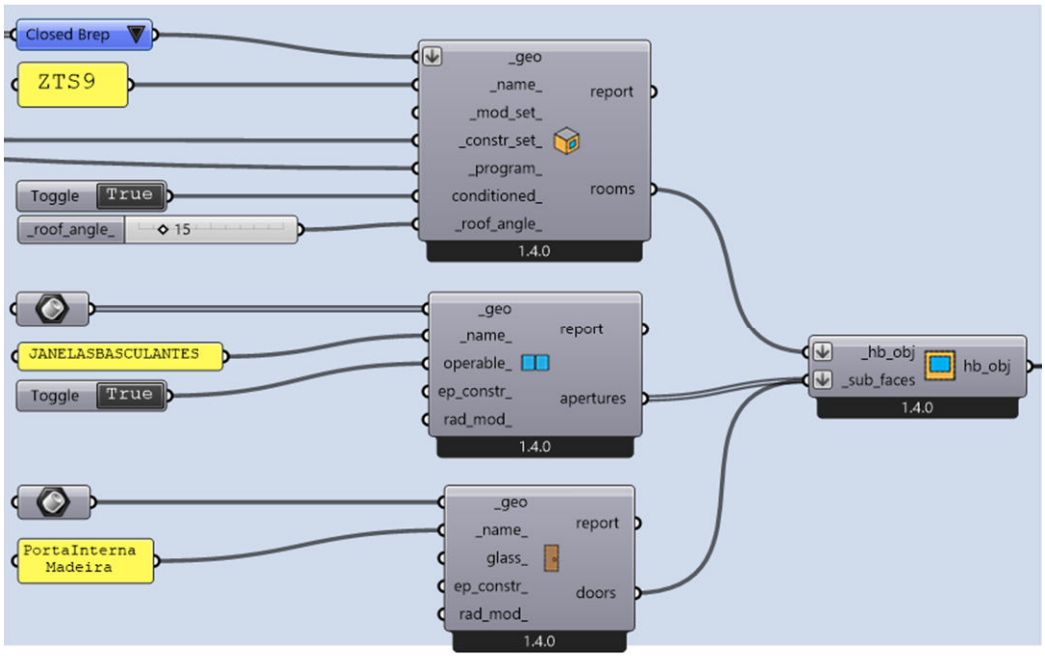
Além das propriedades relativas à construção, outros parâmetros como a ocupação, as rotinas dos usuários, a presença ou não de sistema de condicionamento de ar, as cargas térmicas contidas nestes ambientes também se tornaram dados de entrada que alimentam a simulação e são vinculadas à geometria por meio do Honeybee. Cada zona térmica demandou um *script* específico de configuração.

Foi feita a configuração das rotinas semanais no *plug-in* Honeybee, onde são lançados os dados de frequência de pessoas dentro da edificação ao longo da semana e das horas do dia.

Também foi configurada a atividade desenvolvida e a taxa metabólica pertinente a esta atividade. Como foram definidas basicamente duas rotinas, administrativa e operacional, foram configuradas duas agendas de rotina. As rotinas configuradas são associadas às cargas térmicas envolvidas na manutenção destas duas áreas com rotinas distintas.

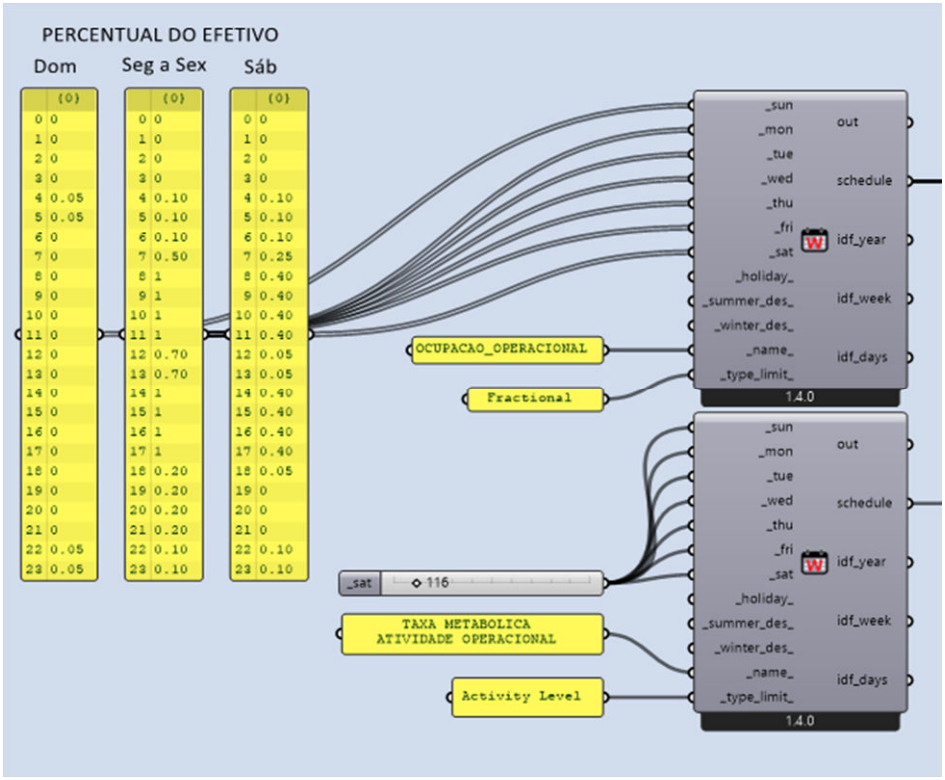
A Figura 24 mostra a configuração de *script* de uma das zonas térmicas, sendo que cada uma possui parâmetros pertinentes a si. A Figura 25, demonstra o *script* de configuração da agenda operacional e a Figura 26 demonstra o *script* de configuração das cargas térmicas.

Figura 24 - Script de vinculação dos parâmetros à geometria



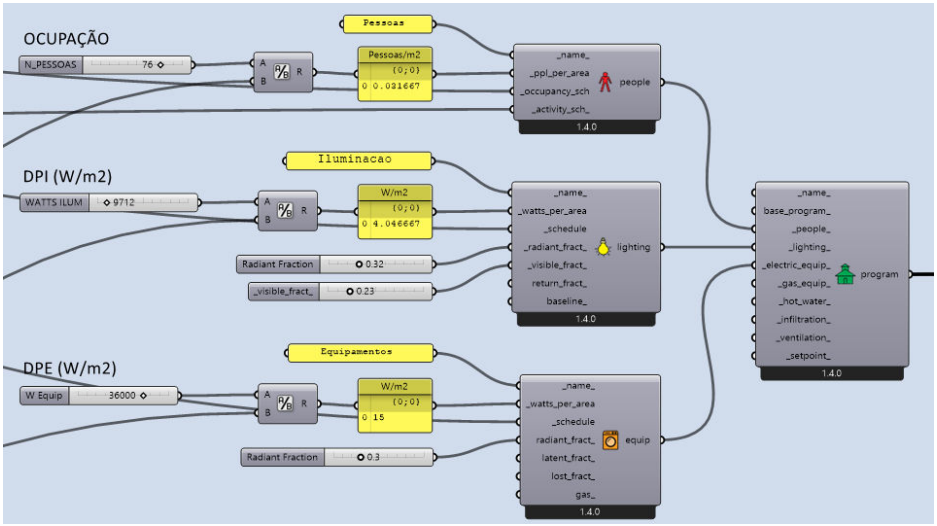
Fonte: Autor (2023)

Figura 25 - *Script* da agenda da área operacional



Fonte: Autor (2023)

Figura 26 - *Script* de configuração de carga térmica interna da área operacional

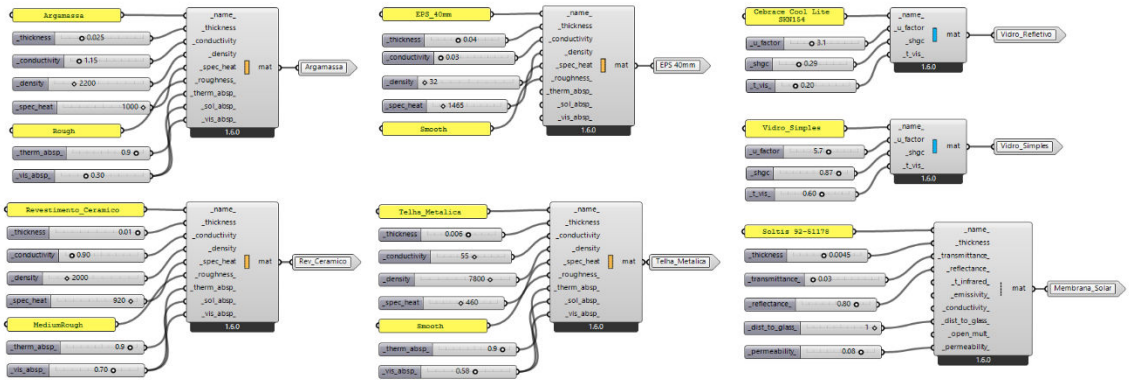


Fonte: Autor (2023)

Parte fundamental das configurações da simulação é a construção de um banco de materiais aplicados na edificação, tanto para a simulação do MR, quanto para a simulação dos demais modelos. O *script* de configuração dos diferentes elementos construtivos como paredes, pisos, portas, janelas e variadas coberturas e brises guardam as propriedades

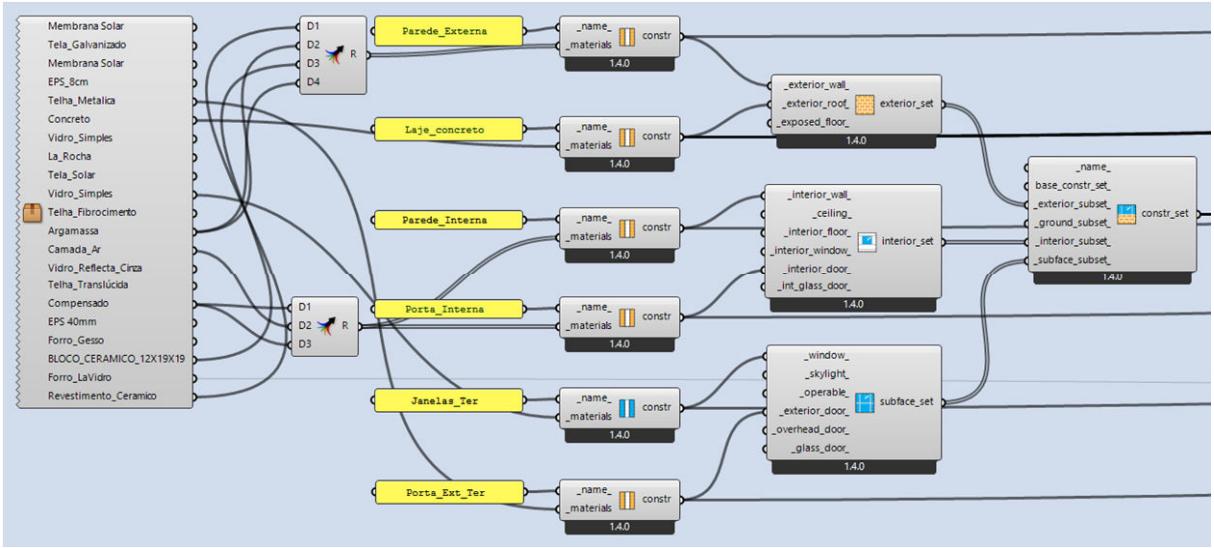
termofísicas de cada um deles. Todos estes materiais foram configurados e agrupados num Cluster, como mostra a Figura 27, que representa uma caixa que armazena todas estas configurações, e a partir dele se configura os elementos construtivos, como mostra a Figura 28. As propriedades de espessura, condutividade térmica, densidade de massa, calor específico, resistência térmica e capacidade térmica dos elementos construtivos foram adotadas conforme a NBR 15520-2 (ABNT, 2008) e catálogos técnicos de determinados materiais não contidos nas tabelas normativas.

Figura 27 - Configuração de alguns dos materiais aplicados



Fonte: Autor (2023)

Figura 28 - Aplicação de composição de materiais nos elementos construtivos



Fonte: Autor (2023)

Os dados climáticos da localização do modelo foram inseridos no *script* por meio do Ladybug®. O aplicativo possibilita a inserção dos arquivos climáticos de arquivo salvo local, ou de arquivo acessado pela internet. No estudo de caso foram utilizados os arquivos

climáticos INMET do município de Campo Grande, MS. E a orientação solar foi utilizada a referência da planta cadastral do município disponibilizada pela prefeitura local.

Para os ambientes não condicionados artificialmente, a ventilação natural foi configurada por meio do Honeybee, sendo definida a abertura das janelas para o uso de ventilação natural quando a temperatura interna estiver entre 20°C e 25°C e a temperatura externa estiver entre 19°C e 26°.

O sistema de climatização também teve seus parâmetros inseridos ao *script* por meio do Honeybee. Foram considerados os dados levantados, com rotina compreendendo os dias e horários de uso dos ambientes, o acionamento do sistema quando a temperatura interna atinge 26°C e o coeficiente de desempenho médio dos aparelhos correspondem a 3,85W/W. Não foi configurado *setpoint* para aquecimento, considerando que os equipamentos não possuem esta função.

Concluída a modelagem e as configurações da edificação, foi configurada a simulação propriamente dita, que é determinada a partir dos indicadores de desempenho que pretende investigar.

4.7. Indicadores de desempenho

A avaliação de desempenho das abordagens de *retrofit* devem se concentrar em três aspectos: Consumo de energia, desempenho térmico e desempenho lumínico dos ambientes internos nas diferentes condições impostas pela geometria e parâmetros variáveis e invariáveis já mencionados.

Para avaliar o desempenho dos modelos simulados foi adotado o indicador de Consumo Total Anual expresso em MWh/Ano. Este indicador apresenta a somatória de cargas totais simuladas para resfriamento, iluminação e equipamentos de todas as zonas térmicas ao longo de um ano completo. Foram simuladas também as séries isoladas de consumo referente a Iluminação, equipamentos e resfriamento e carga de pico demandada pelo sistema HVAC para resfriamento em dia típico de verão, esta última expressa em Watts. Estes cálculos foram processados por meio do programa EnergyPlus™ dentro do Grasshoper®.

Além do consumo de energia, foram simuladas as condições de conforto térmico, baseado no parâmetro do método adaptativo, modelo adotado pela ASHRAE Standard 55

(2010) para 80% de aceitabilidade. Foi considerado o percentual de tempo em que a edificação possui ocupação maior ou igual a 10% do efetivo total e que as condições térmicas dos ambientes ocupados são considerados confortáveis pela referida norma. Para o cálculo do conforto térmico foi considerado o modelo *AirFlow Network* do EnergyPlus™, que representa o fluxo de ar de uma maneira mais fiel ao comportamento dinâmico dos fluidos no interior da edificação, considerando os *setpoint*s de operação das janelas conforme informado nas rotinas de uso da edificação a partir da temperatura de ar interna e externa. Nos mesmos critérios de ocupação e conforto, foram ainda calculados os percentuais de tempo em condições de desconforto por calor e desconforto pelo frio em todas as zonas térmicas dos modelos.

Os cálculos relativos à iluminação natural foram executados pelo *plug-in* Honeybee. A simulação estimou a iluminância horária anual no interior da edificação projetada na malha 1,0x1,0 m em um plano a 75cm do piso, considerando esta ser a altura média de trabalho. Um dos indicadores é o *Daylight Autonomy* (DA) que representa a autonomia de luz natural expressa em porcentual de horas ocupadas por ano que cada sensor recebe dentro dos parâmetros definidos, neste caso definidos entre 300 Lux e 1000 Lux.

Outro indicador adotado para análise lumínica foi o *Usefull Daylight Iluminance* (UDI), que apresenta a frequência com que a uma faixa definida de iluminância ocorre em percentual de horas ao ano. Na simulação foi configurado o mesmo parâmetro de DA em que os sensores recebem entre 300 Lux e 1000Lux, seguindo parâmetros da NBR 8995-1 (ABNT, 2013). Também foi isolado o cálculo de percentual de iluminância útil acima de 1000Lux, para mapeamento de condições de potencial desconforto e ofuscamento e até mesmo sobrecarga térmica.

4.8. *Software*s, aplicativos e simulação

A simulação computacional compreendeu várias etapas e cada uma delas utilizou ferramentas tecnológicas específicas para seus cálculos e aplicações. O Quadro 3 demonstra as etapas deste processo e os *software*s e aplicativos utilizados no desenvolvimento das atividades pertinentes a cada fases do trabalho.

Quadro 3 - Etapas da simulação e suas ferramentas

Pré Simulação	Modelagem	Configuração	Simulação	Tratamento
AutoCad	Rhinoceros	Grasshoper	Honeybee	Honeybee
ScketchUp		Honeybee	Ladybug	Ladybug
Orçafascio		Ladybug	Radiance	Excel
			Energyplus	
			OpenStudio	

Fonte: Autor (2023)

O primeiro aplicativo demandado antes mesmo da simulação foi o AutoCAD com o qual se obteve acesso às informações de projetos fornecidos pelos Correios e que balizaram primeiros estudos para a modelagem.

Depois foi feita ajustes na modelagem no SketchUp® dos modelos de intervenção de *retrofit* para fins de levantar quantitativos e ilustrar os modelos a serem investigados na pesquisa, também com base em um modelo previamente fornecido pelos Correios e desenvolvido pelo autor. A partir destes modelos estimou-se um orçamento expedito a fim de estabelecer que intervenções seriam feitas em cada uma das propostas como se apresentaram: Modelo de Baixo Investimento, Modelo de Médio Investimento e Modelo de Alto investimento. Como a análise econômica destas propostas não faz parte do escopo do trabalho, este orçamento não é apresentado no corpo do trabalho, servido apenas como balizador da composição dos modelos. O orçamento foi elaborado na plataforma Orçafascio com base em bancos públicos de cotação de preços.

A modelagem das zonas térmicas, coberturas e elementos de sombreamento foi realizada no *Software* Rhinoceros®.

As configurações da simulação todas ocorrem dentro da plataforma do *Software* Grasshopper® que gerencia e organiza as informações e controla os parâmetros através de plug-ins que operam dentro de sua interface. Entre estes *plug-in*s o Honeybee é um dos mais solicitados, com ele são configuradas as rotinas, cargas térmicas, os materiais que compõem as estruturas modeladas, além de participar de vários cálculos demandados pelo estudo. Com ele também se configuram sistemas de ventilação e climatização, e a forma de apresentação dos dados de saída. O Ladybug® também desempenha um papel importante tratando dos

parâmetros bioclimáticos, assim como os relacionados à conforto térmico e cálculos relativos à luz.

Alguns aplicativos participam como coadjuvantes no processo da modelagem como é o caso do Open Studio e o EnergyPlus™, que processam os arquivos climáticos carregados pelo Ladybug®, processam estas informações dos dados configurados pelo Honeybee (cargas internas, rotinas, propriedades dos materiais e outras) e gerenciam os cálculos que envolvem a análise energética do modelo.

Por fim, os dados de saída das simulações são configurados no Honeybee, no Ladybug® e no Excel, onde se produziram tabelas e gráficos para melhor apresentar os resultados.

4.9. Cálculo de previsão de *payback*

Para o cálculo do *payback* foi utilizado o método simples de previsão de retorno financeiro com base na economia gerada no consumo de energia que as intervenções proporcionaram com seus resultados.

O cálculo para a recuperação do investimento inicial foi feito conforme a Equação 2:

PB = Investimento inicial / Economia anual estimada *(2)*

O investimento inicial de cada proposta foi definido na planilha de orçamento elaborada cujos valores foram expostos na estimativa de custo das intervenções.

A Energisa, concessionária local de energia elétrica, divulga em seu sítio eletrônico o valor vigente de tarifa praticada em Mato Grosso do Sul. Para a modalidade tarifária convencional, Categoria B3, classe Serviços Públicos o consumo custa 0,88047 R$/KWh. O valor da tarifa praticado foi unidade de medida para obtenção da economia anual estimada para cada proposta de intervenção, a partir da economia no consumo total anual obtido pelas simulações dos modelos.

A razão entre o valor inicial de investimento e a economia anual estimada resulta no prazo em anos para a efetivação do *feedback* do investimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar de o MR não ter sido calibrado com informação coletadas em campanhas de medição e verificação *in loco*, os protocolos de simulação seguiram recomendações da INI-C e os resultados expressam estimativas matemáticas calculadas por aplicativos recomendados por esta mesma normativa.

A primeira simulação feita corresponde ao MR, o qual foi submetido a mesma rotina de configurações e cálculos que os demais modelos de *retrofit* se submeteram. Desta simulação foram extraídos os mesmos indicadores de desempenho que serão comparados aos resultados dos demais modelos para embasar as discussões a respeito dos dados obtidos.

5.1. Desempenho energético do MR

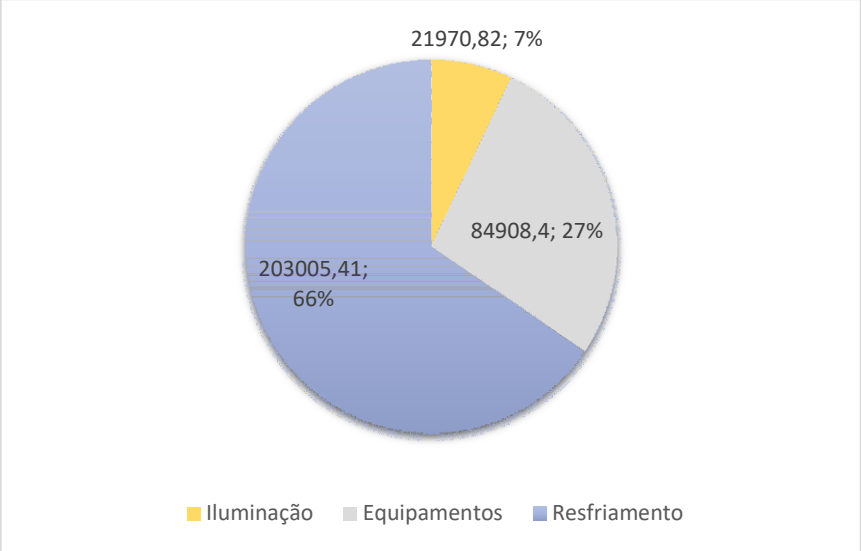
Considerando a quantidade e potência das luminárias existentes e a DPI média para o pavimento superior e para o pavimento térreo, com seu acionamento definido a partir da ocupação da edificação maior que zero, o consumo total anual referente a iluminação foi de 21.970,82 KWh/ano.

Para os equipamentos, seguindo a recomendação da INI-C para DPE, com acionamento igualmente relacionado a ocupação da edificação, resultou em um consumo referente a equipamentos de 84.908,40 KWh/ano.

O consumo relativo a resfriamento considerou apenas o consumo energético demandando pelo sistema HVAC, neste caso considerado a partir do levantamento de quantidades e potências dos condicionadores de ar autônomos instalados apenas nas zonas térmicas correspondentes a atividades administrativas e outras salas específicas. O consumo de energia com HVAV foi de 203.005,41 KWh/ano.

Considerando os parâmetros variáveis e invariáveis incidentes, a simulação do MR apresenta um consumo energético anual total estimado em 309.884,62 KWh/Ano. Este total considera o consumo correspondente a iluminação, equipamentos e resfriamento. Este consumo é apresentado no Gráfico 2, com a segmentação das cargas estimadas para cada finalidade definida.

Gráfico 2 - Consumo Total do Modelo Real (MWh/ano)



Fonte: Autor (2023)

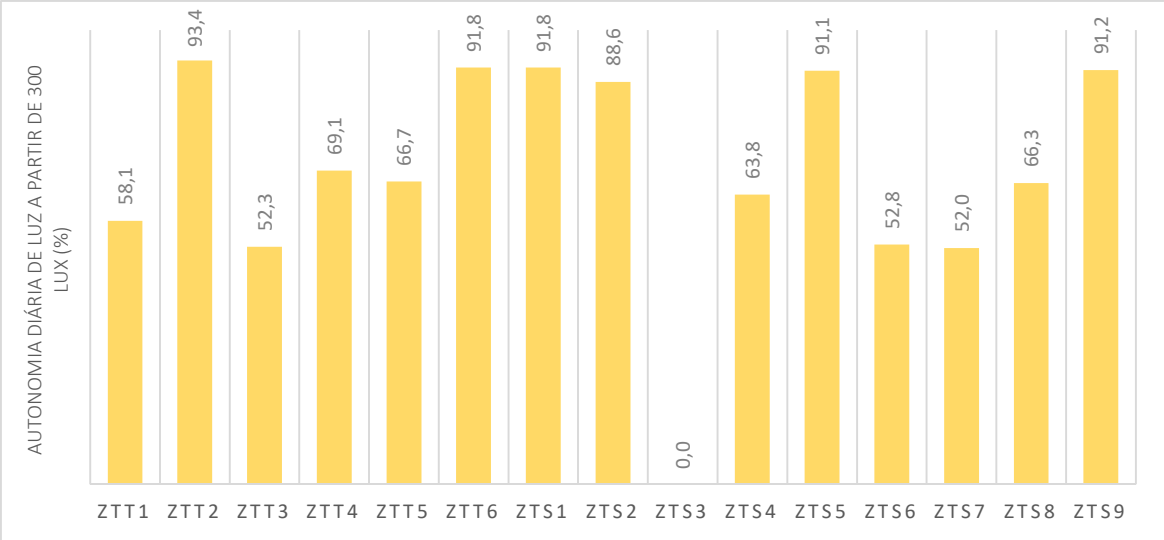
Neste gráfico podemos observar que o consumo energético demandado pelo resfriamento corresponde a maior parcela que somam 66%. Para operação do sistema de climatização, segunda maior demanda energética, corresponde a 27% do consumo total e para iluminação, 7% do total de energia consumida conforme simulação do MR.

5.2. Desempenho lumínico do MR

O cálculo estimado de média de autonomia de iluminação natural para a edificação como um todo é de 68,6% das horas ocupadas com iluminâncias a partir de 300 Lux. Este resultado é condicionado aos dados climáticos extraídos do arquivo climático fornecido pelo INMET para o município de Campo Grande, a orientação do Norte conforme a condição real e todas as configurações indicadas para o MR.

Observa-se no Gráfico 3 que a distribuição desta iluminação é muito heterogênea, com zonas térmicas com mais de 90% de autonomia, enquanto outras com nenhum aproveitamento, como é o caso da Zona Térmica Superior 3 (ZTS3) que corresponde ao pátio de circulação localizado no piso superior e não possui nenhuma abertura, sendo privada inclusive do sistema *shed* da cobertura pela presença do forro.

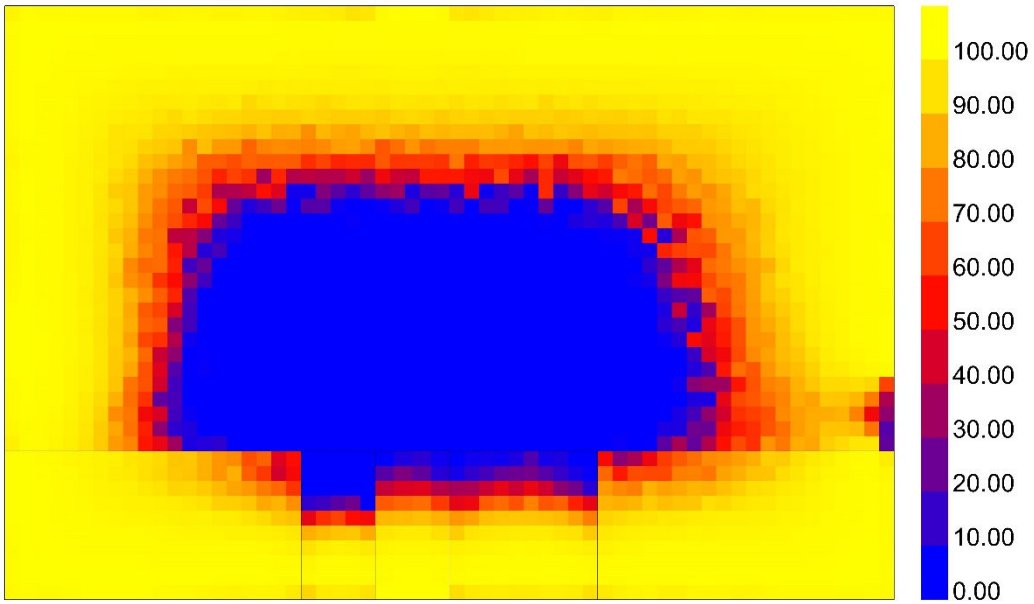
Gráfico 3 - Autonomia de Luz Natural do MR (%)



Fonte: Autor (2023)

A Figura 29 demonstra o mapeamento da distribuição da autonomia de iluminação natural acima de 300 Lux no pavimento térreo. Neste gráfico se percebe um bom percentual no aproveitamento de luz natural tanto pelas janelas quanto pelas docas. O centro da edificação, devido as dimensões da edificação e a presença da laje de piso impedindo o aproveitamento de iluminação zenital se percebe uma ilha de sombreamento com nenhum aproveitamento de luz natural acima de 300Lux.

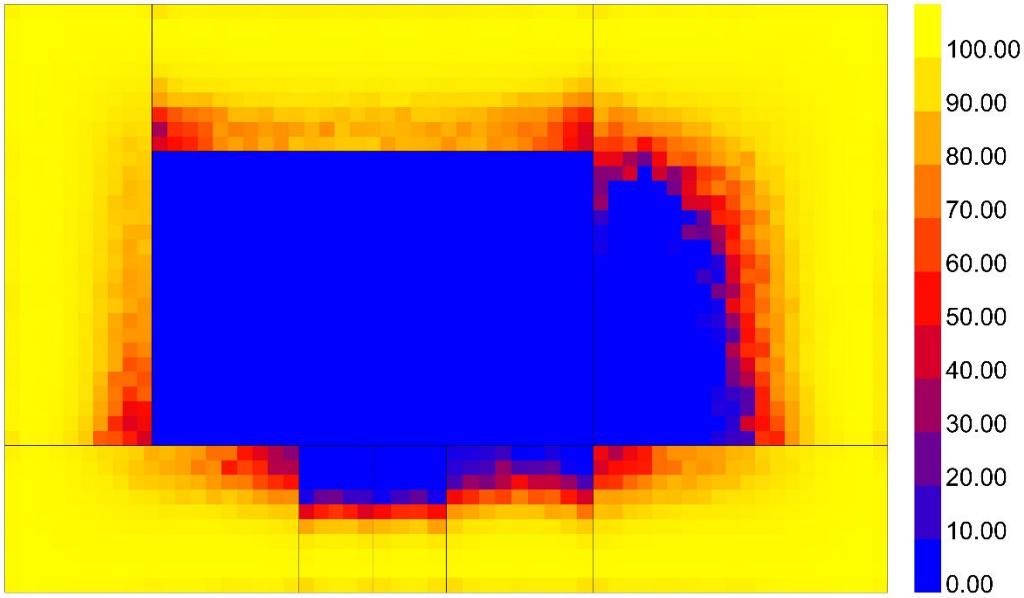
Figura 29 - Autonomia de iluminação natural acima de 300Lux MR pavimento térreo (%)



Fonte: Autor (2023)

A Figura 30 demonstra o mapeamento da distribuição da autonomia de iluminação natural acima de 300 Lux no pavimento do pavimento superior.

Figura 30 - Autonomia de iluminação natural acima de 300Lux MR pavimento superior (%)



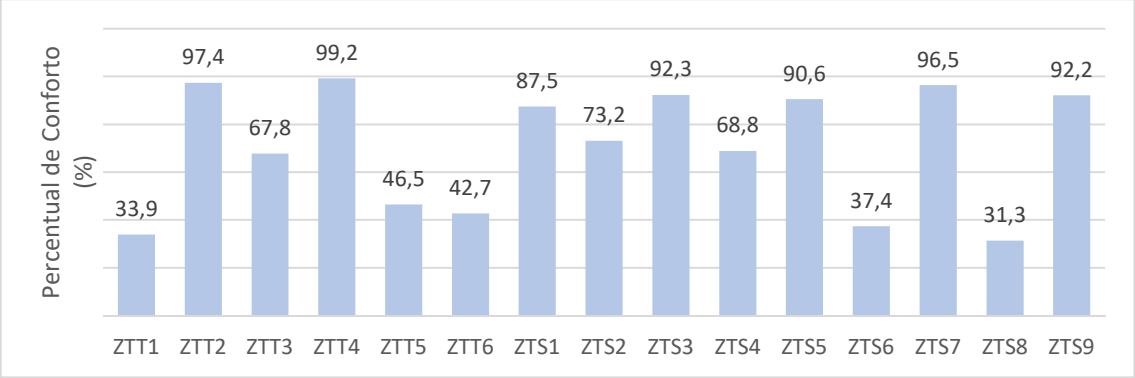
Fonte: Autor (2023)

Neste gráfico se percebe um bom percentual no aproveitamento de luz natural pelas janelas em todo o perímetro. Apenas o centro do pavimento superior, devido as dimensões da edificação, a compartimentação dos escritórios e o isolamento dos *Sheds* com forro que impedindo o aproveitamento de iluminação zenital ocasionam o sombreamento com nenhum aproveitamento de luz natural acima de 300Lux também no pavimento superior.

5.3. Desempenho térmico do MR

Com base no percentual de tempo que a edificação possui ocupação maior ou igual a 10% do efetivo de ocupação total e que as condições térmicas dos ambientes ocupados são considerados confortáveis de acordo com parâmetros do modelo adpatativo ASHRAE 55 com 80% de aceitabilidade o percentual de conforto médio é de 70,5%. De forma mais específica esta análise também demostra grandes diferenças de percepção da condição térmica. A Gráfico 4, mostra o percentual de conforto em cada uma das zonas térmicas.

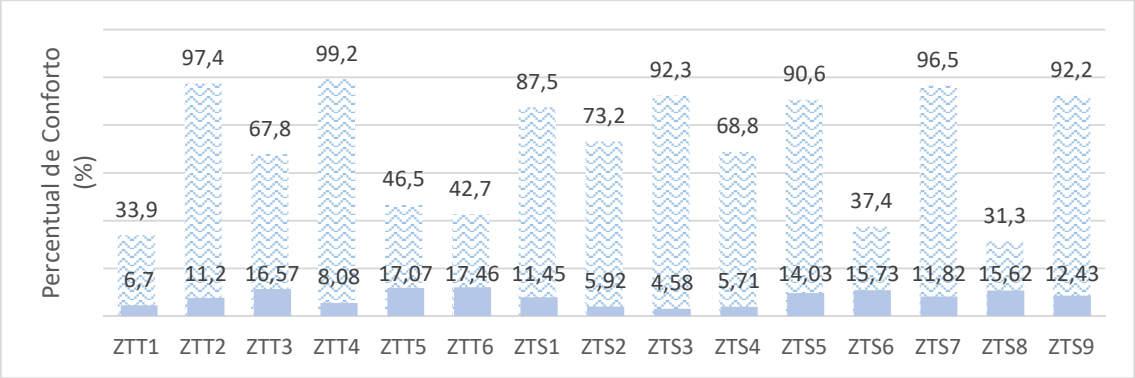
Gráfico 4 - Conforto térmico de MR climatizado e com ventilação natural (%)



Fonte: Autor (2023)

Todas as zonas térmicas com condicionador de ar apresentam percentual de conforto acima de 85%, com destaque para a Zona Térmica Superior 3 que apresenta conforto mesmo não sendo climatizada. Porém, estabelecendo o critério de avaliar o conforto apenas pelo condicionamento passivo da edificação, o cenário fica um pouco diferente, como mostra o Gráfico 5, em que as barras sólidas representam o percentual de conforto nesta condição e a barra estampada representa a diferença de conforto sob condicionamento.

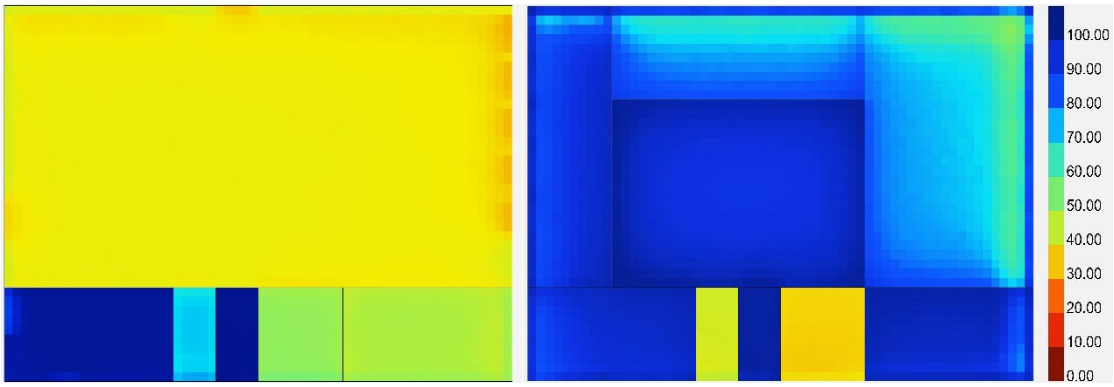
Gráfico 5 - Comparativo de conforto térmico de MR: ventilação natural × ventilação natural e climatização (%)



Fonte: Autor (2023)

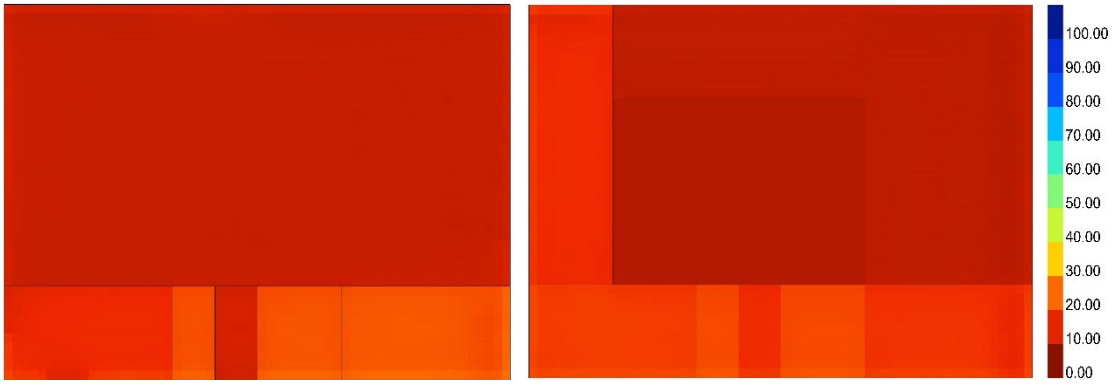
O Gráfico 5, as Figuras 31 e 32, demonstram o impacto que os condicionadores de ar proporcionam não apenas aos ambientes em que estes estão instalados, mas também geram melhor percepção de conforto nos ambientes adjacentes mesmo que estes não sejam climatizados. Numa média geral a presença dos condicionadores de ar nesta edificação elevam a percepção de conforto de 11,6% do tempo ocupado para 70,5% do tempo ocupado pelos usuários.

Figura 31 - Mapeamento de conforto do MR dos pavimentos térreo e superior respectivamente em condição de ventilação natural e climatização (%)



Fonte: Autor (2023)

Figura 32 - Mapeamento de conforto do MR dos pavimentos térreo e superior respectivamente em condição de ventilação natural (%)



Fonte: Autor (2023)

O desconforto por calor do MR no modelo de ventilação natural apresenta uma média de desconforto de 87,4% do tempo ocupado pelos usuários ao longo de um ano. O desconforto por frio ocorre em 0,9% do tempo ocupado pelos usuários ao longo de um ano.

Para avaliar as condições reais de conforto proporcionada pelas estratégias passivas de condicionamento que a arquitetura da edificação proporciona nas três propostas de *retrofit* propostas, a análise de conforto térmico dos modelos de *retrofit* se limitaram apenas a configurações que consideram exclusivamente ventilação natural dos ambientes internos.

5.4. Análise de desempenho dos modelos de *retrofit*

O consumo energético para iluminação e para equipamentos não alterou em relação ao consumo calculado para o MR em nenhuma das três propostas de intervenção. Isso se deve ao fato de as condições de iluminação, ocupação, equipamentos e densidade de potência para climatização foram considerados parâmetros invariáveis no exercício exploratório dos modelos de *retrofit*. O consumo energético para resfriamento é o que apresentou variação

entre os experimentos, não por alterações no sistema, mas sim por mudanças das condições térmicas da envoltória. Esta variação nos resultados, consequentemente alterou o consumo total anual de cada proposta.

As análises de desempenho térmico e lumínico apresentam diferenças devido as propriedades dos materiais aplicados no MBI, MMI e MAI. Sendo que em MAI as alterações das aberturas foram ainda mais expressivas com a substituição das janelas por modelos maiores, além do vidro de alto desempenho.

Quadro 4 - Resumo de intervenções de *retrofit*

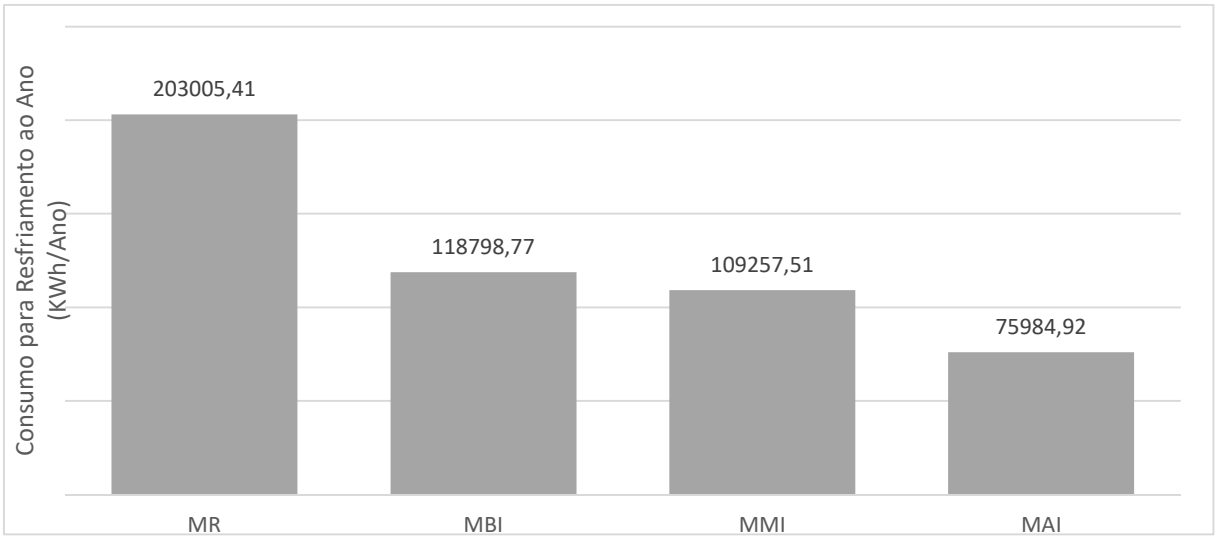
Fonte: Autor (2023)

Para facilitar a compreensão das intervenções propostas e relacioná-las aos resultados de análise de desempenho, o Quadro 4 descreve as alterações propostas em cada um dos modelos.

5.4.1. Desempenho de consumo energético de MBI, MMI e MAI

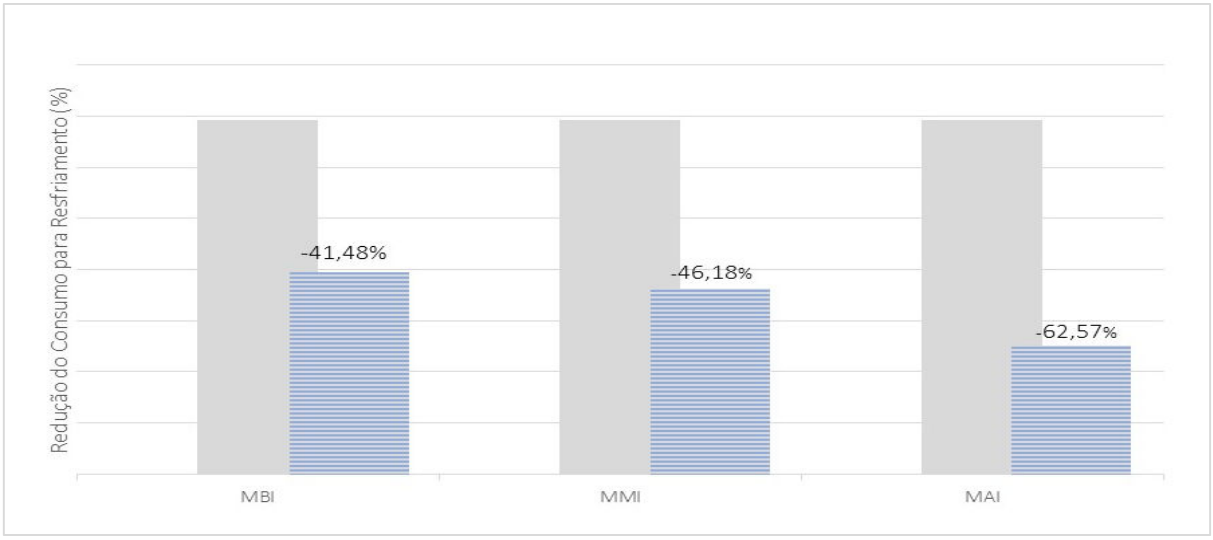
Em relação ao consumo de energia para resfriamento as três propostas de *retrofit* apresentaram redução no consumo. O MBI apresentou a redução 41,48% em relação ao consumo para resfriamento do MR. Para este modelo foi estimado consumo anual de 118.798,76 KWh/Ano. O MMI apresentou consumo anual para resfriamento de 109.257,51 KWh/Ano, que correspondeu a um consumo 46,18% menor que em MR. A simulação do MAI calculou consumo de 75.984,92 KWh/Ano, 62,57% menor que em MR. Estes dados podem ser visualizados no Gráfico 6 e Gráfico 7.

Gráfico 6 - Comparativo de consumo anual para resfriamento entre MR, MBI, MMI e MAI



Fonte: Autor (2023)

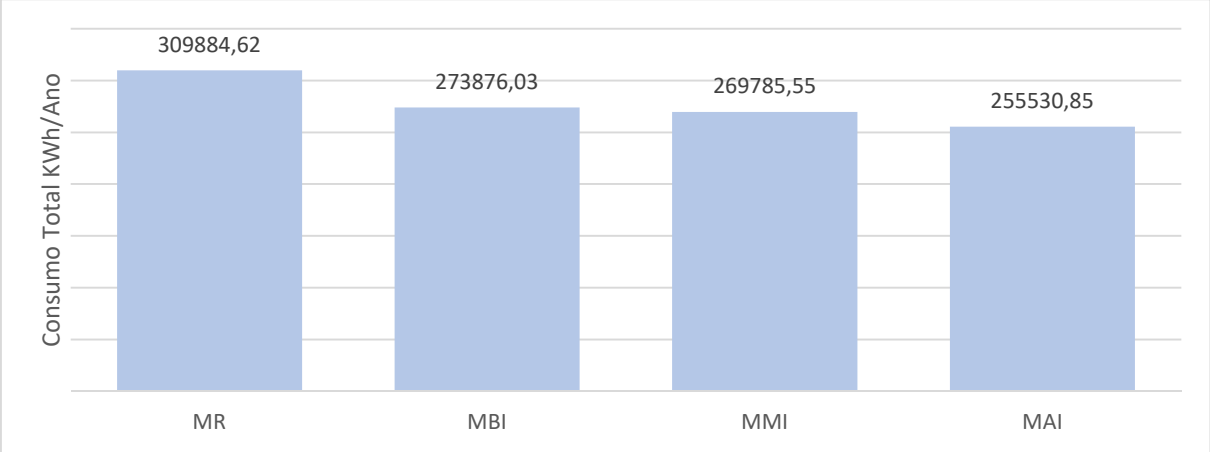
Gráfico 7 - Comparativo da redução de consumo para resfriamento (%)



Fonte: Autor (2023)

As somatória de cargas totais para resfriamento, iluminação e equipamentos de todas as zonas térmicas ao longo de um ano completo também apresentaram redução de consumo. Em consumo energético total expresso em KWh/Ano, os modelos simulados apresentaram os resultados indicados no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Consumo energético total anual dos modelos simulados (KWh/Ano)



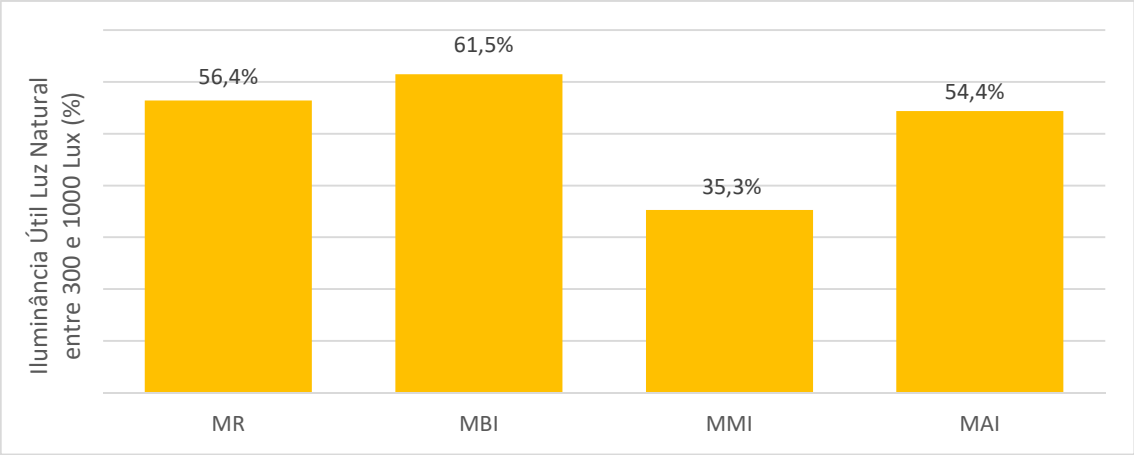
Fonte: Autor (2023)

No balanço geral do consumo, MBI reduziu o consumo em 11,62%, MMI reduziu em 12,94% e MAI reduziu em 17,54%, sendo esta última a que apresentou melhor desempenho energético.

5.4.2. Desempenho de lumínico de MBI, MMI e MAI

Foi simulada para o MBI, MMI e MAI o aproveitamento de iluminância útil da luz do dia no interior da edificação. De todas as horas ocupadas ao longo de um um ano completo, de acordo com as rotinas configuradas, a porcentagem de horas em que a iluminância da luz natural se projeta num plano a 75cm do piso entre os limites mínimo de 300 Lux e máximo de 1000 Lux apresentou melhor desempenho foi no MBI, com de aproveitamento de 61,5% do recorte temporal, conforme Gráfico 9. Este melhor desempenho em relação a MR se deve especialmente devido a abertura dos *sheds* para aproveitar iluminação natural no pavimento superior.

Gráfico 9 - Comparativo de aproveitamento de iluminância útil de luz natural entre 300 lux e 1000 lux



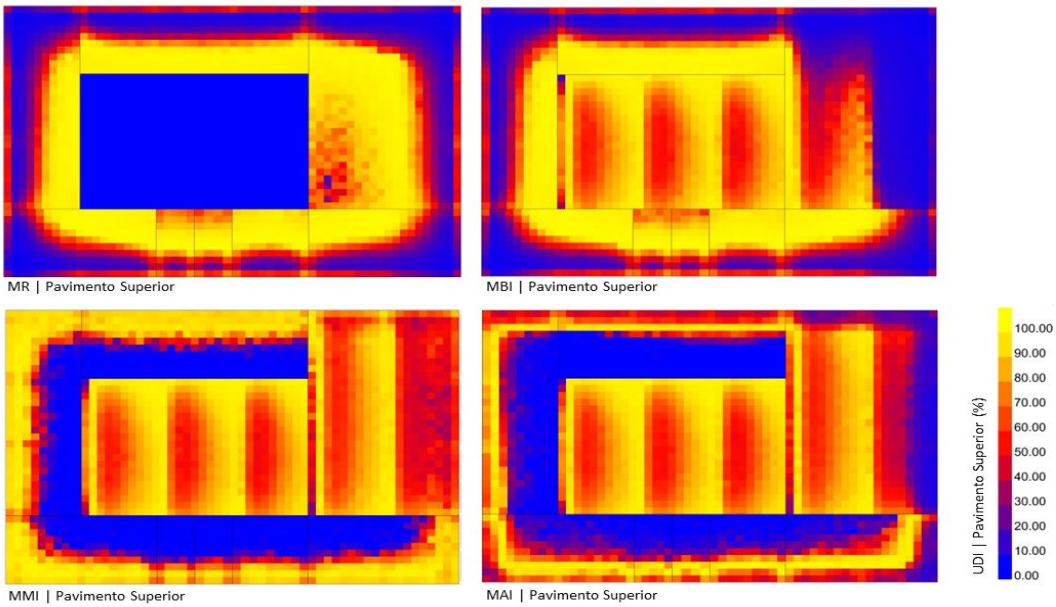
Fonte: Autor (2023)

A proposta que apresentou pior desempenho neste indicador foi o MMI, com 35,3% de aproveitamento de iluminância útil entre 300 e 1000Lux. Apesar de assim como em MBI possuir a abertura dos *Sheds*, mas com material diferente, e utilizar o mesmo vidro simples com película refletiva, esta proposta adota um sistema de sombreamento em dispositivo metálico com chapas oduladas e perfuradas com 20% de permeabilidade instaladas externamente, a 25cm das janelas. Este dispositivo de fato acaba filtrando a incidencia direta da luz e compromete este aproveitamento em iluminância.

O MAI, apresentou um desempenho um pouco menor que o desempenho do MR, com 54,4% de aproveitamento de iluminância útil. Isso considerando o aumento das aberturas em 10,9% em relação á área de piso da edificação e a abertura dos *sheds*. O vidro refletivo e o sistema de sombreamento com membrana solar externa também acabam filtrando esta incidência direta.

A abertura dos *sheds* proporciona de modo geral uma distribuição da iluminância útil em todas as propostas de intervenção se comparados ao MR. Esta análise é mais contundente no pavimento superior, visto que no pavimento térreo não se tem vantagem alguma em relação a abertura dos *sheds*. No mapeamento do aproveitamento da iluminância útil no pavimento superior percebe-se que a diferença na distribuição e aproveitamento da luz é bem pouco expressiva se limitarmos os comparativos às propostas de MBI, MMI e MAI, conforme pode ser observado na Figura 33.

Figura 33 - Mapeamento de distribuição de iluminância útil no pavimento superior no MR, MBI, MMI e MAI

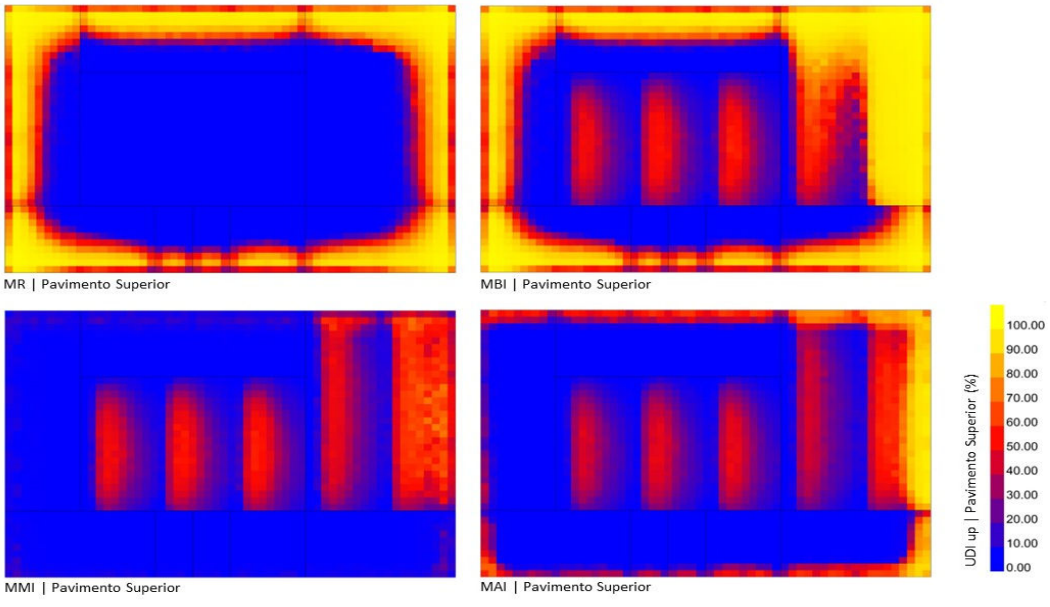


Fonte: Autos, 2023.

Em todas as imagens é visível algumas manchas azuis no mapeamento que sinalizam menos de 10% de aproveitamento da iluminância nas bordas da edificação. Isso se deve ao limite extrapolado para menos de 300Lux ou para mais de 1000Lux.

A análise de incidência de baixas iluminâncias não tem muita importância para o foco deste trabalho. Esta seria importante num estudo de integração de luz natural com luz artifical com proposta de adoção de um sistema de iluminação dimerizável. Já a análise de destas áreas que sinalizam extrapolação da iluminância para acima do limite indicam potencial desconforto ou ofuscamento e pode ser melhor observada na Figura 34.

Figura 34 - Mapeamento de distribuição de iluminância útil no pavimento superior no MR, MBI, MMI e MAI que extrapola 1000 Lux

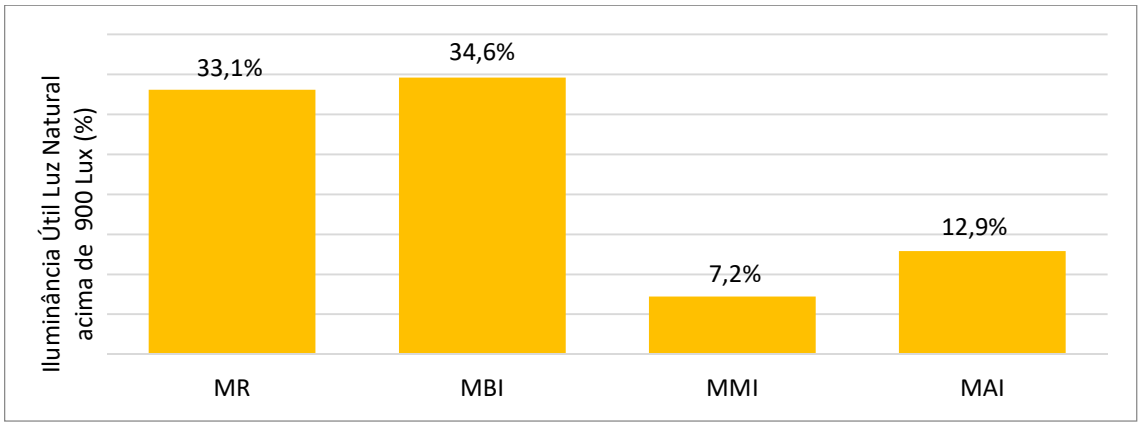


Fonte: Autor (2023)

Nos mapeamentos fica claro o desempenho dos brises em reduzir o ofuscamento da luz natural como é visto a incidência menor de manchas amarelas nos quadros que representam o MMI e MAI. O desempenho do MMI é um pouco melhor do que o do MAI. Não pode-se afirmar com certeza que seja por contato material, mas a distância com certeza implica no pior desempenho do MAI. Nesta proposta o brise possui uma forma mais dinâmica com distância variando entre 50cm e 1,0m das janelas. Tanto que o ofuscamento neste modelo não ficou uniforme como ocorre no MMI, onde os brises são planos, verticais e instalados a 25cm das janelas.

A película refletiva exerce pouca influência sobre o aspecto de ofuscamento. Enquanto em MR que possui vidros simples a iluminância média acima de 1000 Lux ficou em 33,1% em MBI, com vidros simples com aplicação de película reflexiva ficou em 34,6%. Deve se considerar o aumento deste percentual ao fato deste modelo ter acrescido abertura dos *sheds* que são inutilizados no MR. Estas informações podem ser numericamente verificadas nos Gráfico 10, que demontra o comparativo do percentual de iluminância útil que extrapola o limite de 1000 Lux entre o MR e os demais modelos de *retrofit*.

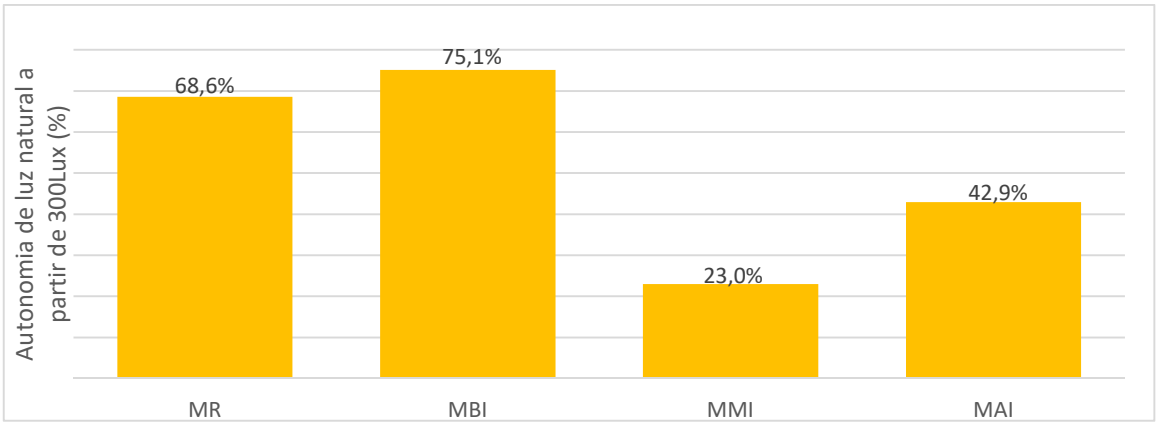
Gráfico 10 - Comparativo de iluminância útil acima de 1000Lux



Fonte: Autor (2023)

O percentual das horas ocupadas por ano nas quais o nível mínimo de iluminância são garantido com uso apenas de iluminação natural foi calculado para o MR e também os três modelos de intervenção.

Gráfico 11 - Comparativo de autonomia de luz natural entre MR, MBI, MMI e MAI



Fonte: Autor (2023)

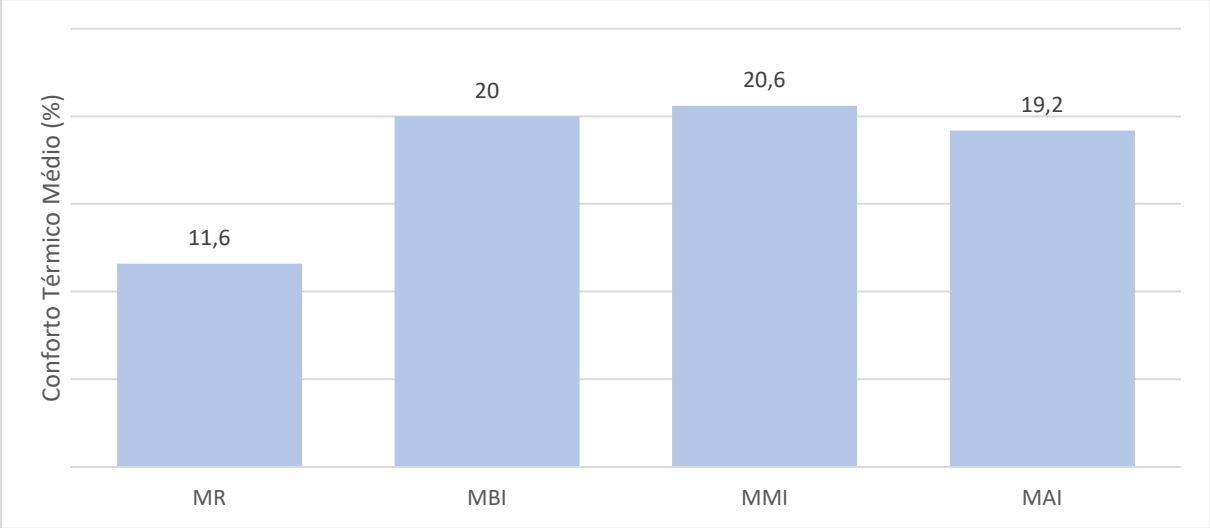
A autonomia de luz natural a partir de 300Lux teve maior percentual no MBI, com 75,1% das horas de ocupação. O MMI tem autonomia de 23,0% enquanto o MAI uma autônima de 42,9% das horas ocupadas durante o dia ao longo do ano, conforme apresentado no Gráfico 11.

5.4.3. Desempenho térmico do MBI, MMI e MAI

Comparando os modelos proposto de intervenção de *retrofit* com o MR, todos tiveram o desempenho melhorado em proporcionar sensação de conforto aos usuários. Sob uso restrito de ventilação natural, o percentual de tempo que a edificação possui ocupação maior ou igual a 10% e que as condições térmicas dos ambientes ocupados são considerados confortáveis.

Como apresentado no Gráfico 12, o MMI atingiu melhora de 9,0%, seguido pelo MBI com melhora de 8,4% e então do MAI com melhora de 7,6%. Entretanto o percentual em todos os casos ainda é pouco se comparado ao período total de ocupação ao longo do ano.

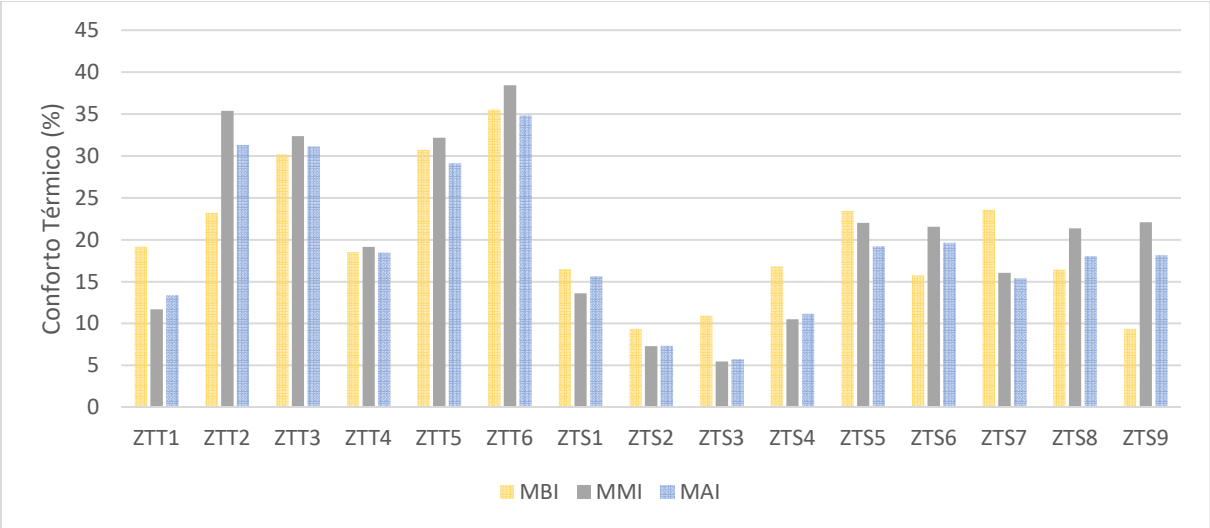
Gráfico 12 - Comparativo de conforto térmico médio (%)



Fonte: Autor (2023)

Isolando os modelos de *retrofit* e analisando graficamente o desempenho em cada zona térmica nos permite algumas análises mais específicas. O gráfico 13 demonstra o desempenho das propostas com mais detalhes e apresenta alguns pontos a serem melhor explorado em estudos futuros.

Gráfico 13 - Comparativo de desempenho em conforto do MBI, MMI e MAI



Fonte: Autor (2023)

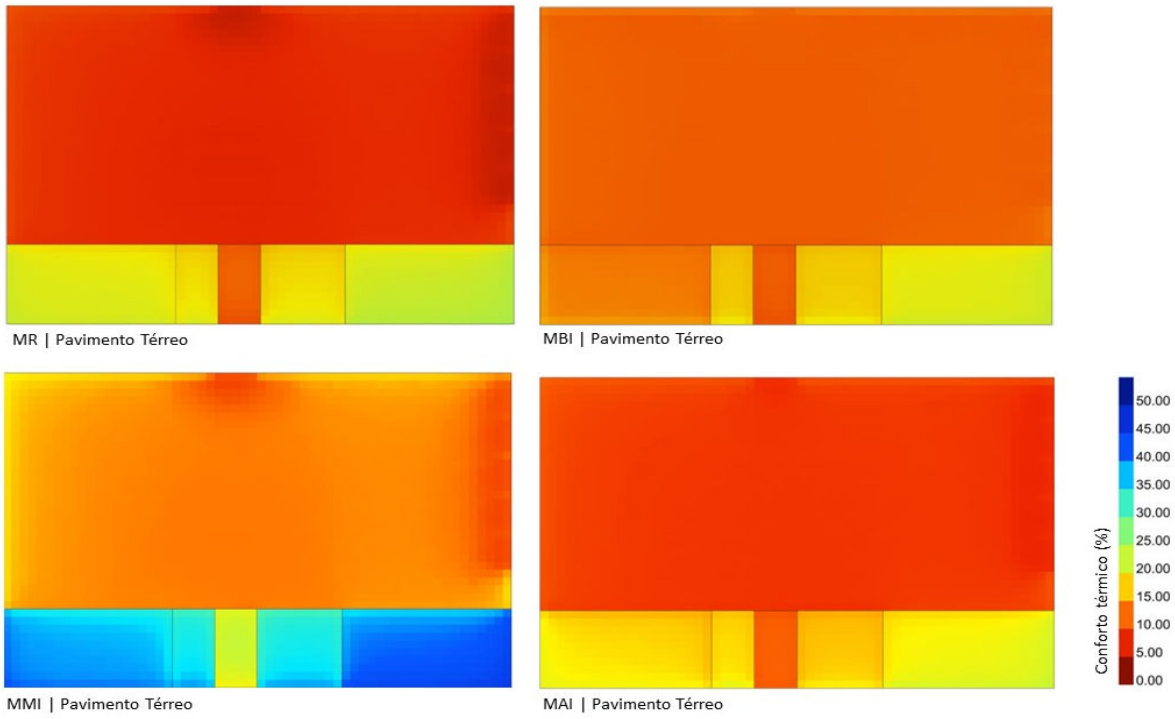
Por exemplo, o conforto é maior no pavimento térreo nos três modelos. Apesar da presença do efeito chaminé causado pela abertura dos *sheds* e do isolamento melhor da cobertura, o pavimento térreo tem uma melhor captação de ventilação natural por meio das docas que estão orientadas justamente para onde vem os ventos predominantes de Campo Grande. A dinâmica da ventilação é um aspecto que pode render novas pesquisas.

Uma das análises é em relação a substituição das janelas e vidros como ocorre no MAI. O desempenho térmico não foi muito diferente do modelo com vidros simples e película de MMI, sendo inclusive inferior a este em desempenho. O motivo também indica pesquisas mais isoladas para analisar como o sistema das janelas e o sistema de sombreamento estão afetando o desempenho.

Entrentanto, entre as configurações dos modelos propostos MBI, MMI e MAI o desempenho do MMI foi que desempenhou melhor performance em garantir conforto térmico. Mesmo com melhorias, apenas 20,6% do tempo ocupado da edificação ao longo de todo o ano é ocasionado sensação de conforto em condição de uso exclusivo de ventilação natural.

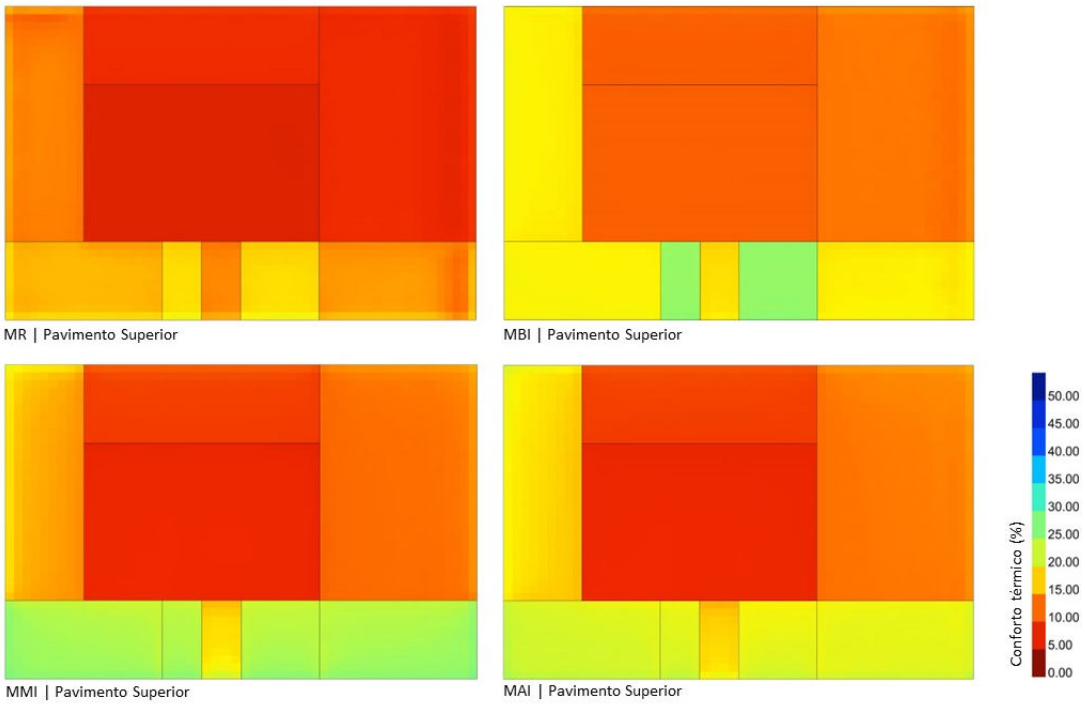
O mapeamento de áreas com maior e menor percentual de sensação de conforto está indicado na Figura 35 e 36.

Figura 35 - Mapeamento de conforto do pavimento térreo de MR, MBI, MMI e MAI



Fonte: Autor (2023)

Figura 36 - Mapeamento de conforto do pavimento superior de MR, MBI, MMI e MAI



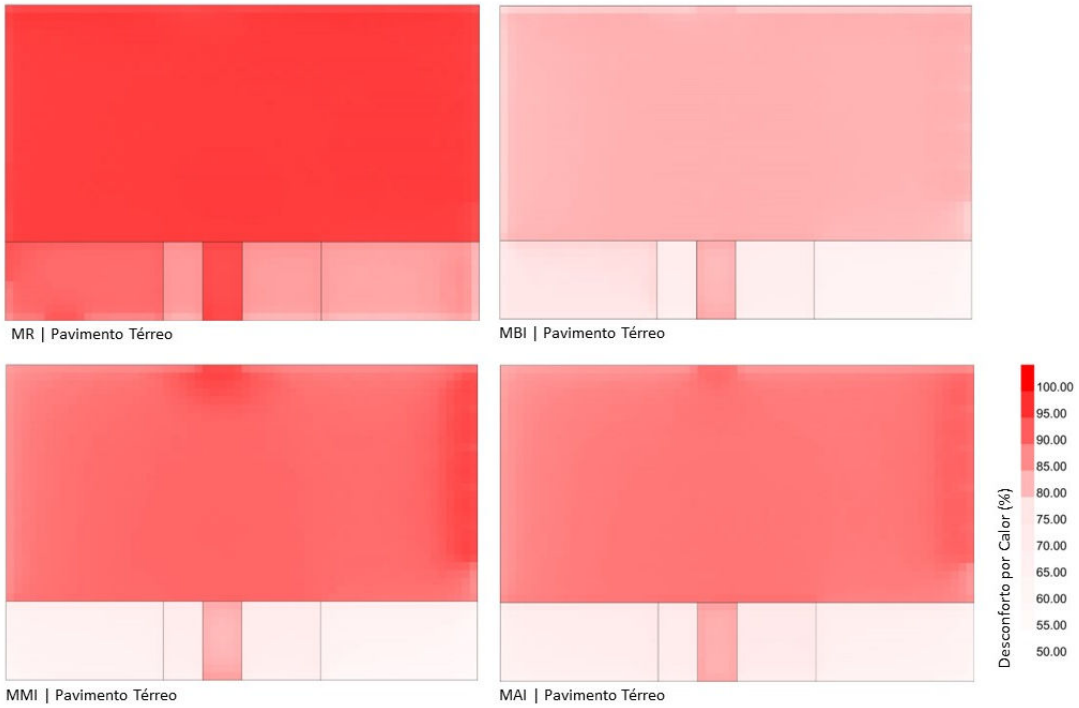
Fonte: Autor (2023)

Outro aspecto relacionado ao desempenho térmico da edificação é a sensação de desconforto por calor, mesmo com as intervenções na envoltória, o percentual continua com média acima de 75% do tempo de ocupação. O MAI foi o que apresentou menor desempenho em reduzir a sensação de desconforto, apresentando uma redução de apenas 7,4% do desconforto calculado para o MR.

A maior redução da sensação de desconforto aconteceu com a simulação do MBI com redução de 11,9% em relação ao MR e que apresenta desconforto em 75,6% do tempo de ocupação. O MMI reduziu a sensação em 8,5% e ocasiona sensação de desconforto em 78,9% do tempo de ocupação ao longo do ano.

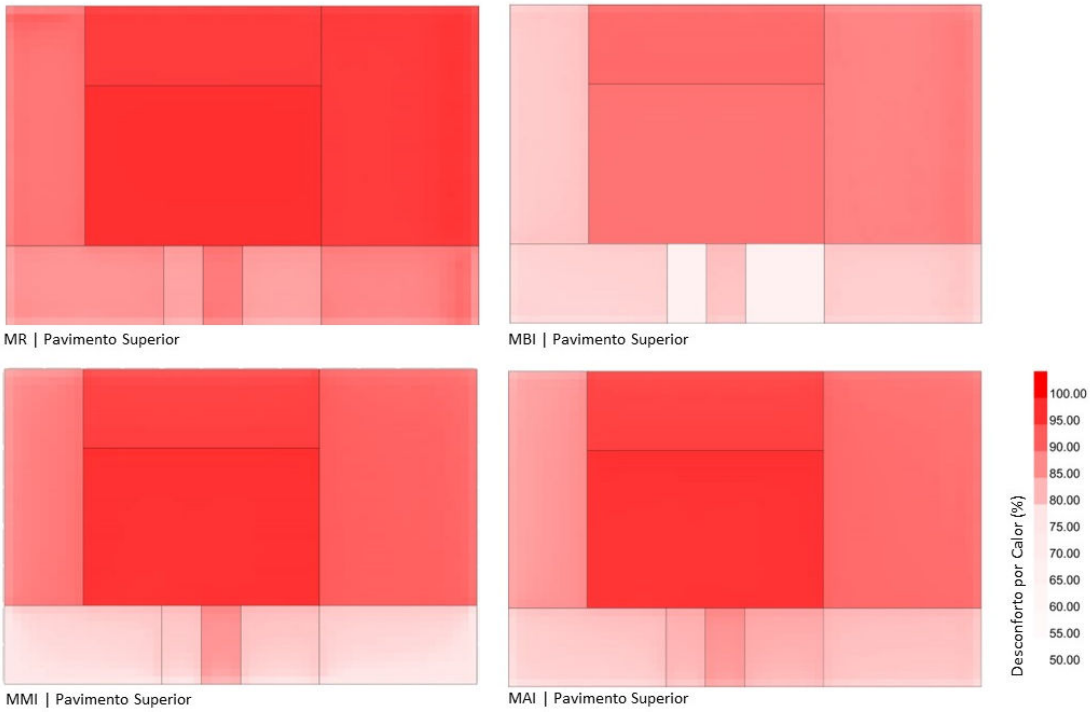
Oberserva-se que a orientação das aberturas e a proximidade da cobertura ainda são fatores que impactam significativamente no desempenho térmico e ocasionam sensação de calor. Os brises, embora contribuam com a redução da insolação direta, não desempenharam muito bem em relação ao desconforto por calor. Uma hipotese a ser investigada é a obstrução do vento, que embora tenha sido configurada no material com fator de permeabilidade, não é necessariamente reconhecida nos cálculos da simulação pois o mesmo dependeria de um cálculo específico de coeficiente de pressão do vento. Este desconforto foi mapeado e o comprativo entre as propostas são conferidos na Figura 37 e Figura 38.

Figura 37 - Mapeamento de desconforto de calor no pavimento térreo em MR, MBI, MMI e MAI (%)



Fonte: Autor (2023)

Figura 38 - Mapeamento de desconforto de calor no pavimento superior em MR, MBI, MMI e MAI (%)



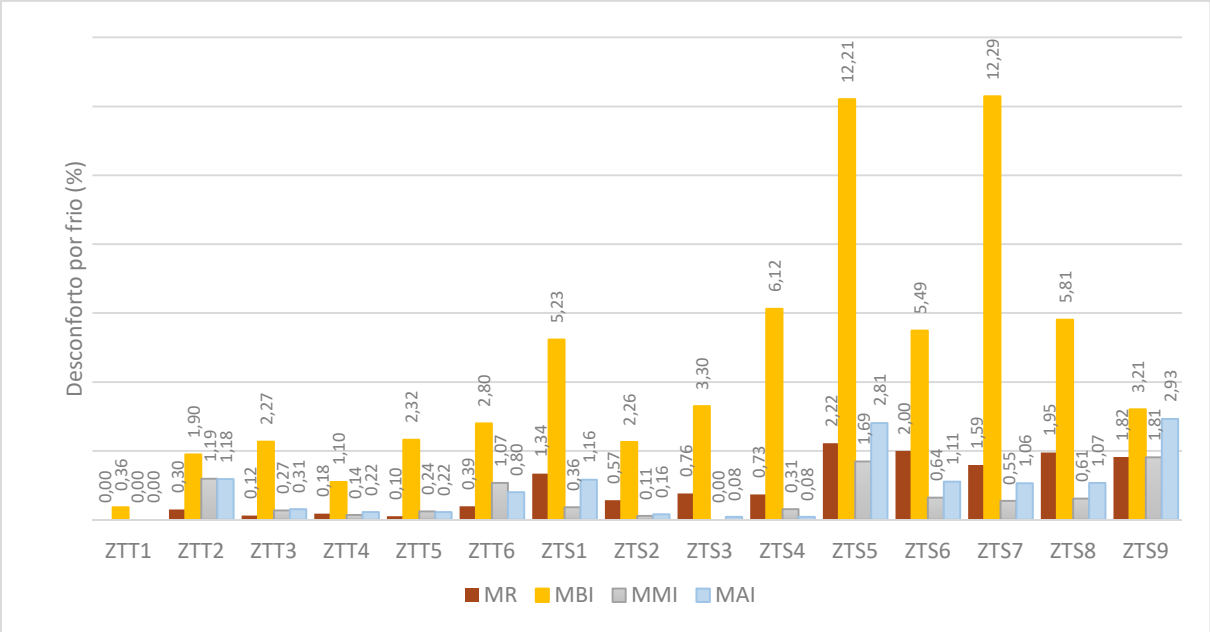
Fonte: Autor (2023)

O desconforto por sensação de frio representa um percentual muito baixo em todas as configurações da edificação, considerando os dias e horários ocupados da edificação.

Analisando uma média geral, o MAI manteve o mesmo desempenho de MR para este desconforto, apresentando um percentual de 0,9% do tempo de ocupação em que a sensação de frio gera desconforto nos usuários.

O MBI foi o único modelo simulado em que as alterações na envoltória reduziram o desempenho da edificação em minimizar o desconforto por frio, elevando o percentual do tempo de ocupação nesta condição em 3,5% e permanecendo 4,4% do tempo de ocupação impondo aos usuários desconforto por sensação de frio. Certamente a substituição das telhas de fibrocimento e a retirada do forro de lâ de vidro contribuem para este pior desempenho de MBI em relação ao desconforto por frio.Este comparativo pode ser analisado no Gráfico 14, em que se observa o MBI se destacando em relação à percepção de desconforto por frio em relação às demais propostas de intevenção em todas as Zonas Térmicas dos modelos.

Gráfico 14 - Comparativo detalhado de percepção de desconforto por frio (%)



Fonte: Autor (2023)

A análise detalhada de cada zona térmica indica que o melhor desempenho em reduzir a sensação de frio ocorreu no MMI, especialmente no pavimento térreo, mas teve maior vantagem em relação às demais propostas no pavimento superior.

5.5. Análise de viabilidade econômica

Para avaliar custo benefício se faz necessário confrontar a estimativa de consumo total prevista na simulação do MR e confrontar este resultado aos que foram estimados para as propostas de *retrofit*. Estes valores estão expressos na Tabela 16.

Tabela 16 – Consumo total e economia estimada

Modelo Simulado	Consumo Total (kWh/Ano)	Economia Estimada (kWh/Ano)
Modelo Real	272.844,11	-
Modelo de Baixo Investimento	241.139,63	31.704,48
Modelo de Médio Investimento	237.538,08	35.306,03
Modelo de Alto Investimento	224.987,25	47.856,86

Fonte: Autor (2023)

Conforme o método do *payback* simples, o investimento na intervenção para recuperação *r*ealizados conforme equação apresentada no método de cálculo do feedback os resultados calculados se apresentam na Tabela 17.

Tabela 17 - Balanço financeiro de *payback*

Modelo Simulado	Investimento Inicial (CUB)	Economia Anual Estimada (CUB)	*Payback* (Anos)
Modelo de Baixo Investimento	491,52	16,53	29,73
Modelo de Médio Investimento	1.114,15	18,41	60,52
Modelo de Alto Investimento	1.933,95	24,95	77,51

Fonte: Autor (2023)

Sem considerar os desempenhos de conforto térmico e luminoso o MBI, se apresenta como a abordagem com menor tempo previsto para *payback*, 29,73 anos. O MAI tem o pior desempenho na análise econômica, com efetivação de *payback* em 77,51 anos e o MMI em 60,52 anos.

Estes resultados, analisados estritamente pela ótica do investimento e retorno financeiro direto apresentado pelo *payback*, não se apresentam como vantajosos. O custo do investimento é alto e a economia anual estimada em redução no consumo de energia não possibilita um retorno breve, visto que o sistema de iluminação e principalmente os condicionadores de ar já foram substituídos por modelos eficientes em processos recentes de retrofit.

Entretanto, embora não sejam parâmetros adotados como indicadores nesta pesquisa, outros fatores podem configurar vantajosidade da aplicação do *retrofit* à edificação

com possíveis impactos aferidos por fatores econômicos indiretos como o valor agregado ao imóvel com a atualização e eficientização da envoltória da edificação, tornando o imóvel mais atrativo e contemporâneo.

Também outros retornos indiretos como o aumento do valor agregado à marca Correios ao se apresentar como uma empresa com certificação ambiental. A valorização social devido a intervenção em uma região degradada da cidade por meio desta ação que promove o desenvolvimento local e incita ação de outros investidores na região, o que indiretamente elevariam ainda mais o valor dos imóveis na região. O impacto psicológico e os benefícios que isso podem implicar na qualidade de vida e desempenho dos empregados que utilizam esta edificação que certamente repercute em melhor desempenho e maior lucratividade para a empresa. Todos estes são fatores que indiretamente agregam a edificação e seu entorno e que podem ser confirmados em pesquisas e trabalhos futuros.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário global em que gestores públicos, pesquisadores e sociedade civil buscam por soluções e abordagens que gerem menor impacto ambiental, mais eficiência de seus produtos e edificações, com demanda menor em consumo de energia e recursos não renováveis, este trabalho se propôs a empreender análise de possibilidades de melhoria de uma edificação corporativa através de propostas de *retrofit* de envoltória.

Com objetivo de apresentar um plano de intervenção de *retrofit* da envoltória de uma edificação corporativa dos Correios, que possibilitasse uma análise de custo-benefício, diante de um amplo universo de possibilidades de intervenção foram propostos três modelos de *retrofit*, sendo um de baixo investimento (MBI), um de médio investimento (MMI) e um de alto investimento (MAI). Cada modelo com configurações diferentes, aproveitando parcialmente as instalações e arquitetura do prédio como é na realidade. Como elemento de referência, seguindo critérios da INI-C também foi desenvolvido um modelo real (MR) com as configurações correspondentes à edificação como ela é, sem as intervenções.

Por meio de simulação computacional de eficiência, com modelagem feita no Rhinoceros® e configuração paramétrica por meio da plataforma Grasshoper® foram simulados cenários distintos com foco em investigar melhoria do desempenho térmico e lumínico, e redução do consumo estimado de energia.

Os resultados e análises dos dados simulados indicam que consumo energético, considerando a somatória de cargas totais para resfriamento, iluminação e equipamentos de todas as zonas térmicas ao longo de um ano se manifestou de forma pouco expressiva, mas esperada conforme os dados da literatura científica. Sendo que o MBI reduziu o consumo em 11,6%, o modelo MMI reduziu em 12,9% e MAI resultou uma redução de consumo total anual de 17,54%, em relação ao MR.

Com relação ao desempenho lumínico, o MBI teve a melhor autonomia de luz natural com 75,1% do tempo de ocupação da edificação. Entretanto foi a proposta com pior desempenho em tratar iluminamento excessivo que pode gerar desconforto, aumento da carga térmica e ofuscamento. Numa análise mais abrangente, o MAI teve melhor performance lumínica, considerando a autonomia de luz natural de 42,9% do tempo de ocupação e 54,4% do tempo com aproveitamento de iluminancia útil entre 300 Lux e 1000 Lux. A distribuição da

luz natural, é um pouco pior que MMI por conta de incidência excessiva nas proximidades das janelas, com possível correção aproximando os elementos de sombreamento das janelas, como ocorreu em MMI.

Com relação ao conforto térmico, foi observado alto impacto do ar-condicionado no desempenho térmico não apenas nos ambientes climatizados, mas também nos ambientes adjacentes. Esta situação foi verificada na simulação de conforto do MR com ambientes climatizados operando e o mesmo modelo em situação de uso exclusivo de ventilação natural. Esta última, foi a aborgadem utilizada para verificar o desempenho térmico das propostas de *retrofit*, mesmo observando que houve redução muito expressiva na percepção de conforto ao longo do dia, mas entendendo que esta seria a condição real que a envoltória proporcionaria aos ambientes internos.

Quem obteve melhor desepenho térmico entre as propostas foi o MMI com 20,6% o tempo de ocupação com sensação térmica de conforto de acordo com referencial do modelo adaptativo com 80% de aceitabilidade da ASHRAE 55 (2010). Também menor percentual de tempo de sensação de desconforto por calor (8,8%) e por frio (2,5%).

Mediante o exposto, e confrontando os dados econômicos que envolvem o investimento inicial em *retrofit* e o resultado do desempenho energético das propostas simuladas, nenhuma das propostas de intervenção de retrofit se mostraram vantajosas financeiramente, com expectativa de *payback* a partir de 29 anos como no caso do MBI e podendo chegar a mais de 77 anos, como no caso do MMI.

Apesar dos modelos não indicarem uma relação satisfatória sob a ótica do *payback*, admite-se que o MAI é a melhor proposta de retrofit de envoltória, pois é o modelo que nas simulações apresentou melhor desempenho na performance de aproveitamento e distribuição da luz natural e maior redução no consumo energético para resfriamento, sendo ainda o modelo que apresenta melhor economia anual de energia, com redução em 17,54% em relação a condição atual da edificação.

Este trabalho atinge seu objetivo ao possibilitar aos Correios uma decisão técnica num possível evento de reforma do CTCECG com base nas melhorias em conforto térmico, lumínico e financeiro sendo que estes resultados estão limitados às condições implicitas aos modelos propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCIONE, F.; BIANCO, N.; MAURO, G. M.; NAPOLITANO, D. F. Building envelope design: Multi-objective optimization to minimize energy consumption, global cost and thermal discomfort. Application to different Italian climatic zones. **Energy**, v. 174, p. 359–374, mai 2019.

AMORIM, C. N. D.; SANCHES, J. M. M.; CRONEMBERGER, J. COSTA, J. F. W. *Retrofit* e preservação de edifícios não residenciais modernos em Brasília: uma abordagem para eficiência energética e iluminação natural. *In:* SOUSA, B. A. A *et al.* (org.). **A construção civil em uma perspectiva econômica, ambiental e social**. Guarujá, SP: Editora Científica Digital, 2021. p. 339-357.

ASADI, E.; SILVA, M. G.; ANTUNES, C. H.; DIAS, L.; GLICKSMAN, L. Multi-objective optimization for building *retrofit*: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 444–456, 2014.

AMORIM, M. E.; ABREU, A. L. P.; VERSAGE, R. S.; QUEVEDO, T. C. Avaliação do desempenho térmico e energético de uma edificação nível "A" com o uso de fachada fotovoltaica. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2022. p. 1-10.

ASSIS, R. G. **Um estudo sobre arquitetura têxtil no Brasil: o segmento de mercado das estruturas tensionadas feitas com membranas poliéster/PVC.** 2013. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. doi:10.11606/D.100.2012.tde-09012013-104014. Acesso em: 08 dez. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8995-1**. Iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações, Parte 2: Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2005.

_____. **NBR 15220-3**. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575-4**. Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2021.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, **ASHRAE Standard 55**. Atlanta, 2010.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO). **Anexo da Portaria INMETRO n° 309/2022.** Brasil, 2022. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/INI-C_Portaria 309 de 2022.pdf. Acesso em: 12 nov.2022.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) - Etiquetagem de edificações**, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/procel-programa-nacional-de-conservacao-de-energia-eletrica-1 Acesso em: 21 fev. 2022.

BRASIL, Ministério do Trabalho. **Norma de Higiene ocupacional – NHO1. Avaliação dos níveis de iluminamento em ambientes internos de trabalho**. Fundacentro, São Paulo, 2018.

BLANCO, J. M.; BURUAGAA, A.; CUADRADOB, J.; ZAPICO, A. Assessment of the influence of façade location and orientation in indoor environment of double-skin building envelopes with perforated metal sheets. **Building and Environment**, v. 163, n. maio, p. 106325, 2019.

CASQUERO-MODREGO, N.; GOÑI-MODREGO, M. Energy *retrofit* of an existing affordable building envelope in Spain, case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 44, p. 395–405, 2019.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - CB3E. **Catálogo de Propriedades Térmicas e Óticas de Vidros Comercializados no Brasil.** UFSC, Florianópolis, 2015. Disponível em: http://cb3e.ufsc.br/publicacoes. Acesso em: 02 out. 2022

CHANG, S.; CASTRO-LACOUTURE, D.; YAMAGATA, Y. Decision support for *retrofit*ting building envelopes using multi-objective optimization under uncertainties. **Journal of Building Engineering**, v. 32, p. 101413, 2020.

CIAMPI, G.; SPANODIMITRIOU, Y.; ESCORPIÃO, M.; ROSATO, A.; SIBILIO, S. Energy performance of PVC-Coated polyester fabric as novel material for the building envelope: Model validation and a refurbishment case study. **Journal of Building Engineering**, v. 41, set. 2021.

COSTA, L. M. DA; ALVAREZ, C. E. DE; MARTINO, J. A. DE. Proposta de método de projeto baseado no desempenho para edifícios energeticamente eficientes. **Ambiente Construído**, v. 21, n. 2, p. 409–433, 2021.

CUNHA, S.; AGUIAR, J. L. B.; FERREIRA, V. M.; TADEU, A. Eco-efficient mortars with simultaneous incorporation of phase change material and fly ash. **Revista Materia**, v. 24, n. 2, 2019.

DEB, C.; SCHLUETER, A. Review of data-driven energy modelling techniques for building *retrofit*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, p. 110990, 2021.

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION EVO®. **International Performance Measurement and Verification Protocol** (IPMVP), Washington, DC, EUA , 2022. Disponível em: https://evo-world.org/en/products-services-mainmenu-en/protocols/ipmvp. Acesso em: 25 mar. 2022.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Empresa de Pesquisa Energética - Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro, 2020.

ELTAWEEL, A.; SU, Y.; MANDOUR, M.A.; ELRAWY, O. O. A novel automated louver with parametrically-angled reflective slats; design evaluation for better practicality and daylighting uniformity. **Journal of Building Engineering**, v. 42, n. set. 2020, p. 102438, 2021.

GARLET, E.; DOS SANTOS, L. A.; PERUFO, L. D. GODOY, L. P.; MARZALL, L. F. A iluminação natural como fator de desempenho em ambientes industriais. **Revista de Administração da UFSM**, v. 8, p. 24–34, 2015.

GONÇALVES, I. P. **Relação custo-benefício de medidas de conservação de energia em *retrofit* de edifício de escritórios na zona bioclimática 02**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

IEA (2022), **World Energy Outlook 2022**, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022, Licença: CC BY 4.0 (relatório); CC BY NC SA 4.0 (Anexo A).

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Synthesis Report of the Sixth Assessment Report,** 2022 Disponível em: www.ipcc.ch/ . Acesso em: 25 out. 2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 7730. **Ergonomics of the Thermal Environment** - Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort. Genebra, Suíça, 2005.

JOHN, V. M. Materiais de construção e o meio ambiente. **ISAIA, G. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON**, p. 97-121, 2010.

KOLOKOTRONI, M. ; SHITTUA, E.; SANTOS, T.; RAMOWSKI, L. ; MOLLARDA , A.; ROWEC, K. , WILSONC, E; FILHO, J. P. B.; NOVIETO, D. Cool roofs: High tech low cost solution for energy efficiency and thermal comfort in low rise low income houses in high solar radiation countries. **Energy and Buildings**, v. 176, p. 58–70, 2018.

LIANG, Y; PAN, Y.; YUAN, X.; YANG, Y.; FU, L.; LI, J.; SUN, T.; HUANG, Z.; KOSONEN, R. Assessment of operational carbon emission reduction of energy conservation measures for commercial buildings: Model development. **Energy and Buildings**, v. 268, p. 112189, 2022.

LOONEN, R. C. G. M. ; FAVOINO, F.; HENSEN, J. L. M.; OVEREND, M. Review of current status, requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades, **Journal of Building Performance Simulation**, vol. 10, n.2, 205-223, 2017. DOI: 10.1080/19401493.2016.1152303

MARQUES, G. M. ; SILVA, A. S. . **Eficiência energética da envoltória de um edifício público de acordo com o método de simulação da INI-C - Estudo de caso no MS.** *In:* XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2020), 2020, Porto Alegre, RS. Anais do XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, RS: ENTAC, 2020. v. XVIII. p.1-9.

MARTINEZ, A.; CHOI, J. H. Analysis of energy impacts of facade-inclusive *retrofit* strategies, compared to system-only *retrofit*s using regression models. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 261–267, 2018.

MONTEIRO, A. L; MENDES, L. C. F; SOUZA, R. V. G de. **Potencial de integração da luz natural na INI-C em edificação de ensino**. *In:* ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE

MUÑOZ, L. S.; BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. C; FARIA, J. R. G. Tipologia Fachada Verde Thermal Performance of Vertical Gardens of Green. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, p. 1–20, 2019.

OLIVEIRA, É. C. U.; HARRIS, A. L. N. C. Elemento arquitetônico de fachada com integração entre identidade estética e adaptabilidade à filtragem da luz natural: desenvolvimento do Muart, um muxarabi articulável*. In:* **A Construção Civil: em uma perspectivas econômica, ambiental e social**. Editora Científica Digital, 2021. p. 406–427.

PICCININI, A.; HAJDUKIEWICZ, M.; KEANE, M. M. A novel reduced order model technology framework to support the estimation of the energy savings in building *retrofit*s. **Energy and Buildings**, v. 244, p. 110896, 2021.

PIMENTEL, B. P.; SILVA, A. S.; BARBOSA, A. T. R.; REIS, M. M. **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. 179-200, out./dez. 2021. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

PRADO, A. K. J. A.; ROMERO, M. A.; SILVA, C. F. Avaliação do custo-benefício do retrofit da envoltória em um edifício público, com suporte de simulação computacional. **Paranoá**, [S. l.], n. 22, p. 88–101, 2018. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n22.2018.06. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/paranoa/article/view/25640

SARIHI, S.; MEHDIZADEH SARADJ, F.; FAIZI, M. A Critical Review of Façade *Retrofit* Measures for Minimizing Heating and Cooling Demand in Existing Buildings. **Sustainable Cities and Society**, v. 64, p. 102525, jan. 2021.

SAVILLE-SMITH, K.; BIJOUX, D.; NEIGHBORHOOD, K. L. **Construindo casas sustentáveis em bairros sustentáveis**. Nova Zelândia: CRESA, 2011.

UNEP. **Emissions Gap Report 2020.** United Nations Environment Programme. Nairobi, 2020. Disponível em: https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020. Acesso em: 27 jun. 2021.

UNEP. **2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector**. United Nations Environment Programme, Nairobi, 2020. Disponível em: http://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2020%20Buildings%20GSR_FULL%20REPORT.pdf, Acesso em: 27 jun. 2021.

UNITED NATIONS UNDER-SECRETARY-GENERAL AND EXECUTIVE. **The strategic plane 2020-2023.** Disponível em: strategic_plan_2020-2023.pdf (unhabitat.org). Acesso em: 27 jun. 2021.

ZHOU, J.; CHEN, Y. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 4, maio 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Orçamento Sintético do MBI, MMI e MAI do Plano de Retrofit de Envoltória do CTCECG
BDI aplicado: 32,78%

Bancos de referência
SINAPI - 05/2023 - Mato Grosso do Sul
ORSE - 04/2023 - Sergipe
CPOS/CDHU - 05/2023 - São Paulo

Encargos Sociais
Desonerado: embutido nos preços unitários dos insumos de mão de obra, de acordo com as bases.

Planilha Orçamentária Sintética Com Valor do Material e da Mão de Obra

Item	Código	Banco	Descrição	UND	QTD.	Valor Unit com BDI			Valor Total com BDI		
						M. O.	MAT.	Total	M. O.	MAT.	Total
1			MODELO DE BAIXO INVESTIMENTO								
1.1	97649	SINAPI	REMOÇÃO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO, METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MECANIZADA, COM USO DE GUINDASTE, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	2430	2,72	1,91	4,63	6.609,60	4.641,30	11.250,90
1.2	97640	SINAPI	REMOÇÃO DE FORROS DE DRYWALL, PVC E FIBROMINERAL, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	2400	1,34	0,51	1,85	3.216,00	1.224,00	4.440,00
1.3	97645	SINAPI	REMOÇÃO DE JANELAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	125	18,49	16,16	34,65	2.311,25	2.020,00	4.331,25
1.4	84040	SINAPI	COBERTURA COM TELHA DE ACO ZINCADO, TRAPEZOIDAL, ESPESSURA DE 0,5 MM, INCLUINDO ACESSORIOS	m²	2430	2,20	96,16	98,36	5.346,00	233.668,80	239.014,80
1.5	96114	SINAPI	FORRO EM DRYWALL, PARA AMBIENTES COMERCIAIS, INCLUSIVE ESTRUTURA DE FIXAÇÃO. AF_05/2017_PS	m²	2430	13,66	82,93	96,59	33.193,80	201.519,90	234.713,70
1.6	94559	SINAPI	JANELA DE AÇO TIPO BASCULANTE PARA VIDROS, COM BATENTE, FERRAGENS E PINTURA ANTICORROSIVA. EXCLUSIVE VIDROS, ACABAMENTO, ALIZAR E CONTRAMARCO. FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2019	m²	125	132,32	723,65	855,97	16.540,00	90.456,25	106.996,25
1.7	100757	SINAPI	PINTURA COM TINTA ALQUÍDICA DE ACABAMENTO (ESMALTE SINTÉTICO ACETINADO) PULVERIZADA SOBRE SUPERFÍCIES METÁLICAS (EXCETO PERFIL) EXECUTADO EM OBRA (02 DEMÃOS). AF_01/2020	m²	2020	21,53	32,43	53,96	43.490,60	65.508,60	108.999,20
1.8	102162	SINAPI	INSTALAÇÃO DE VIDRO LISO INCOLOR, E = 4 MM, EM ESQUADRIA DE ALUMÍNIO OU PVC, FIXADO COM BAGUETE. AF_01/2021_PS	m²	360	25,50	347,14	372,64	9.180,00	124.970,40	134.150,40
1.9	32.06.231	CPOS/CDHU	PELICULA DE CONTROLE SOLAR REFLETIVA NA COR PRATA PARA APLICACAO EM VIDROS	m²	360	0,00	119,42	119,42	0,00	42.991,20	42.991,20
1.10	95622	SINAPI	APLICAÇÃO MANUAL DE TINTA LÁTEX ACRÍLICA EM PANOS COM PRESENÇA DE VÃOS DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, DUAS DEMÃOS. AF_11/2016	m²	1530	7,49	11,08	18,57	11.459,70	16.952,40	28.412,10

1.11	94449	SINAPI	TELHAMENTO COM TELHA ONDULADA DE FIBRA DE VIDRO E = 0,6 MM, PARA TELHADO COM INCLINAÇÃO MAIOR QUE 10°, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	m²	240	4,86	108,99	113,85	1.166,40	26.157,60	27.324,00
			Valor total do MBI								**R$ 942.623,80**
2			**MODELO DE MÉDIO INVESTIMENTO**								
2.1	97649	SINAPI	REMOÇÃO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO, METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MECANIZADA, COM USO DE GUINDASTE, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	2430	2,72	1,91	4,63	6.609,60	4.641,30	11.250,90
2.2	97640	SINAPI	REMOÇÃO DE FORROS DE DRYWALL, PVC E FIBROMINERAL, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	2400	1,34	0,51	1,85	3.216,00	1.224,00	4.440,00
2.3	97645	SINAPI	REMOÇÃO DE JANELAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	125	18,49	16,16	34,65	2.311,25	2.020,00	4.331,25
2.4	94216	SINAPI	TELHAMENTO COM TELHA METÁLICA TERMOACÚSTICA E = 30 MM, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	m²	2430	2,10	301,12	303,22	5.103,00	731.721,60	736.824,60
2.5	94559	SINAPI	JANELA DE AÇO TIPO BASCULANTE PARA VIDROS, COM BATENTE, FERRAGENS E PINTURA ANTICORROSIVA. EXCLUSIVE VIDROS, ACABAMENTO, ALIZAR E CONTRAMARCO. FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2019	m²	125	132,32	723,65	855,97	16.540,00	90.456,25	106.996,25
2.6	100757	SINAPI	PINTURA COM TINTA ALQUÍDICA DE ACABAMENTO (ESMALTE SINTÉTICO ACETINADO) PULVERIZADA SOBRE SUPERFÍCIES METÁLICAS (EXCETO PERFIL) EXECUTADO EM OBRA (02 DEMÃOS). AF_01/2020_PE	m²	2020	21,53	32,43	53,96	43.490,60	65.508,60	108.999,20
2.7	102162	SINAPI	INSTALAÇÃO DE VIDRO LISO INCOLOR, E = 4 MM, EM ESQUADRIA DE ALUMÍNIO OU PVC, FIXADO COM BAGUETE. AF_01/2021_PS	m²	1000	25,50	347,14	372,64	25.500,00	347.140,00	372.640,00
2.8	32.06.231	CPOS/CDHU	PELICULA DE CONTROLE SOLAR REFLETIVA NA COR PRATA PARA APLICACAO EM VIDROS	m²	1000	0,00	119,42	119,42	0,00	119.420,00	119.420,00
2.9	95622	SINAPI	APLICAÇÃO MANUAL DE TINTA LÁTEX ACRÍLICA EM PANOS COM PRESENÇA DE VÃOS DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, DUAS DEMÃOS. AF_11/2016	m²	1530	7,49	11,08	18,57	11.459,70	16.952,40	28.412,10
2.10	13358	ORSE	Fornecimento e instalação de chapas de policarbonato alveolar, branca, 6mm com emendas e acabamento em policarbonato, aplicado em toldo/cobertura/fechamento/etc	m²	240	45,74	139,32	185,06	10.977,60	33.436,80	44.414,40
2.11	12183	ORSE	Brise metálico Hunter Douglas ref. Miniware # 103 cor prata ou similar, com estrutura e montagem, exclusive Andaimes ou plataforma	m²	920	0,00	637,34	637,34	0,00	586.352,80	586.352,80
2.12	95622	SINAPI	APLICAÇÃO MANUAL DE TINTA LÁTEX ACRÍLICA EM PANOS COM PRESENÇA DE VÃOS DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, DUAS DEMÃOS. AF_11/2016	m²	680	7,49	11,08	18,57	5.093,20	7.534,40	12.627,60
			Valor Total do MMI								**R$ 2.136.709,10**
3			**INTERVENÇÃO DE ALTO INVESTIMENTO**								

3.1	97649	SINAPI	REMOÇÃO DE TELHAS DE FIBROCIMENTO, METÁLICA E CERÂMICA, DE FORMA MECANIZADA, COM USO DE GUINDASTE, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	2430	2,72	1,91	4,63	6.609,60	4.641,30	11.250,90
3.2	97645	SINAPI	REMOÇÃO DE JANELAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	495	18,49	16,16	34,65	9.152,55	7.999,20	17.151,75
3.3	97644	SINAPI	REMOÇÃO DE PORTAS, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	48,3	6,66	2,86	9,52	321,67	138,14	459,81
3.4	97640	SINAPI	REMOÇÃO DE FORROS DE DRYWALL, PVC E FIBROMINERAL, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m²	2400	1,34	0,51	1,85	3.216,00	1.224,00	4.440,00
3.5	97622	SINAPI	DEMOLIÇÃO DE ALVENARIA DE BLOCO FURADO, DE FORMA MANUAL, SEM REAPROVEITAMENTO. AF_12/2017	m³	211,14	40,36	18,54	58,90	8.521,61	3.914,53	12.436,14
3.6	94216	SINAPI	TELHAMENTO COM TELHA METÁLICA TERMOACÚSTICA E = 30 MM, COM ATÉ 2 ÁGUAS, INCLUSO IÇAMENTO. AF_07/2019	m²	2430	2,10	301,12	303,22	5.103,00	731.721,60	736.824,60
3.7	94569	SINAPI	JANELA DE ALUMÍNIO TIPO MAXIM-AR, COM VIDROS, BATENTE E FERRAGENS. EXCLUSIVE ALIZAR, ACABAMENTO E CONTRAMARCO. FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2019	m²	625	48,26	980,32	1.028,58	30.162,50	612.700,00	642.862,50
3.8	91338	SINAPI	PORTA DE ALUMÍNIO DE ABRIR COM LAMBRI, COM GUARNIÇÃO, FIXAÇÃO COM PARAFUSOS - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2019	m²	16,1	10,06	1.138,63	1.148,69	161,96	18.331,94	18.493,90
3.9	101965	SINAPI	PEITORIL LINEAR EM GRANITO OU MÁRMORE, L = 15CM, COMPRIMENTO DE ATÉ 2M, ASSENTADO COM ARGAMASSA 1:6 COM ADITIVO. AF_11/2020	M	322	22,64	205,95	228,59	7.290,08	66.315,90	73.605,98
3.10	100757	SINAPI	PINTURA COM TINTA ALQUÍDICA DE ACABAMENTO (ESMALTE SINTÉTICO ACETINADO) PULVERIZADA SOBRE SUPERFÍCIES METÁLICAS (EXCETO PERFIL) EXECUTADO EM OBRA (02 DEMÃOS). AF_01/2020_PE	m²	17	21,53	32,43	53,96	366,01	551,31	917,32
3.11	95622	SINAPI	APLICAÇÃO MANUAL DE TINTA LÁTEX ACRÍLICA EM PANOS COM PRESENÇA DE VÃOS DE EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS, DUAS DEMÃOS. AF_11/2016	m²	1035	7,49	11,08	18,57	7.752,15	11.467,80	19.219,95
3.12	13358	ORSE	Fornecimento e instalação de chapas de policarbonato alveolar, branca, 6mm com emendas e acabamento em policarbonato, aplicado em toldo/cobertura/fechamento/etc	m²	240	45,74	139,32	185,06	10.977,60	33.436,80	44.414,40
3.13	24.03.200	CPOS/CDHU	MEMBRANA DE PROTECAO SOLAR EM POLIESTER, COM REQUADRO EM PERFIS DE ALUMINIO.	m²	1400	17,12	1.502,04	1.519,16	23.968,00	2.102.856,00	2.126.824,00
			Valor Total do MMI								**R$ 3.708.901,25**

Observações:

1 - Este orçamento é estimado apenas para uso acadêmico. Os serviços aqui orçados compreendem apenas aos relacionados a melhorias na envoltória nos modelos de simulação computacional;

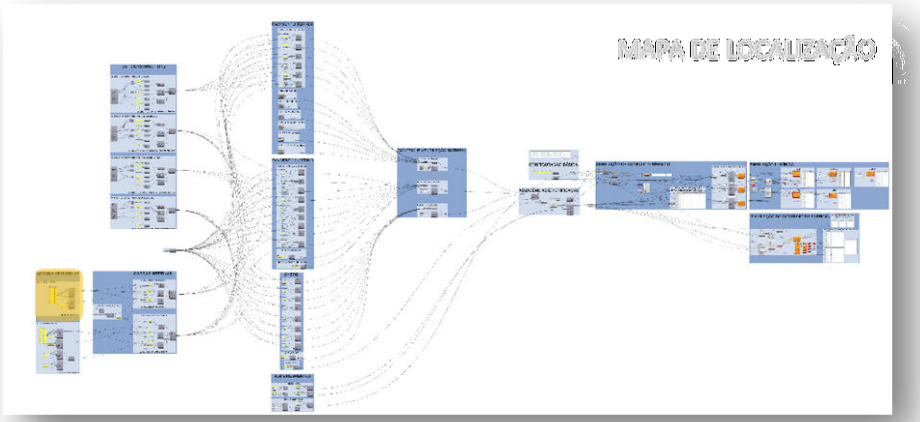
2 - Os itens foram coletados nos bancos públicos e podem não ser exatamente o mesmo proposto no estudo, mas serve como referência e balizador de valor para o cálculo de custo-benefício.

3- Foi aplicado o BDI praticado nos orçamentos de obras públicas em Campo Grande, seguindo recomendações do Tribunal de Constas da União.

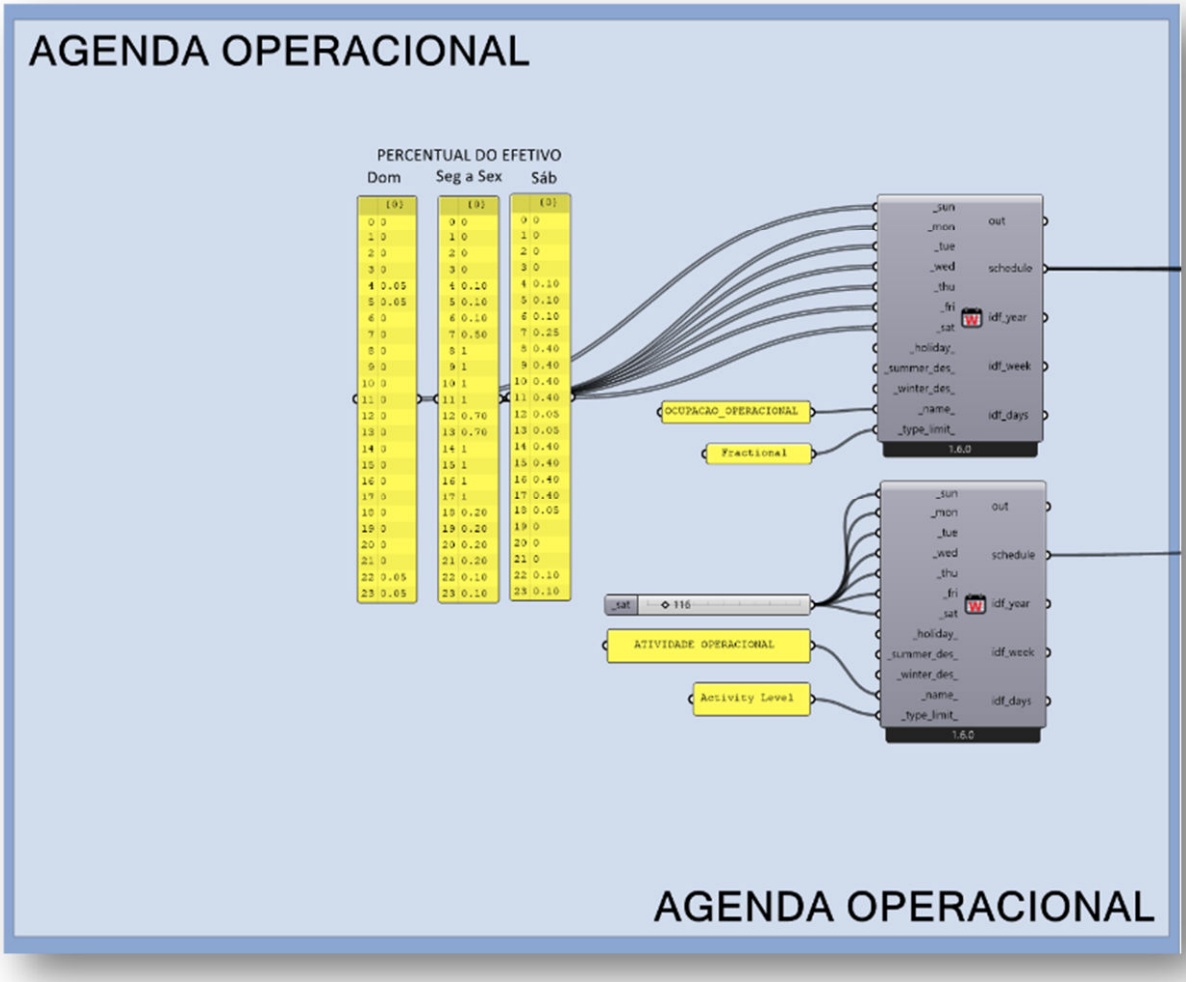
4 - Orçamento elaborado na plataforma Orçafascio, com data-base referência em maio/2023.

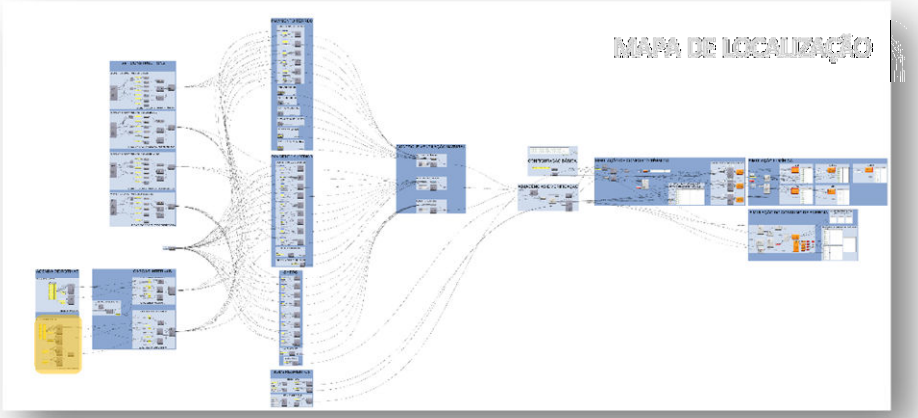
APÊNDICE B

Apresentação do script de simulação desenvolvido no Grasshopper®

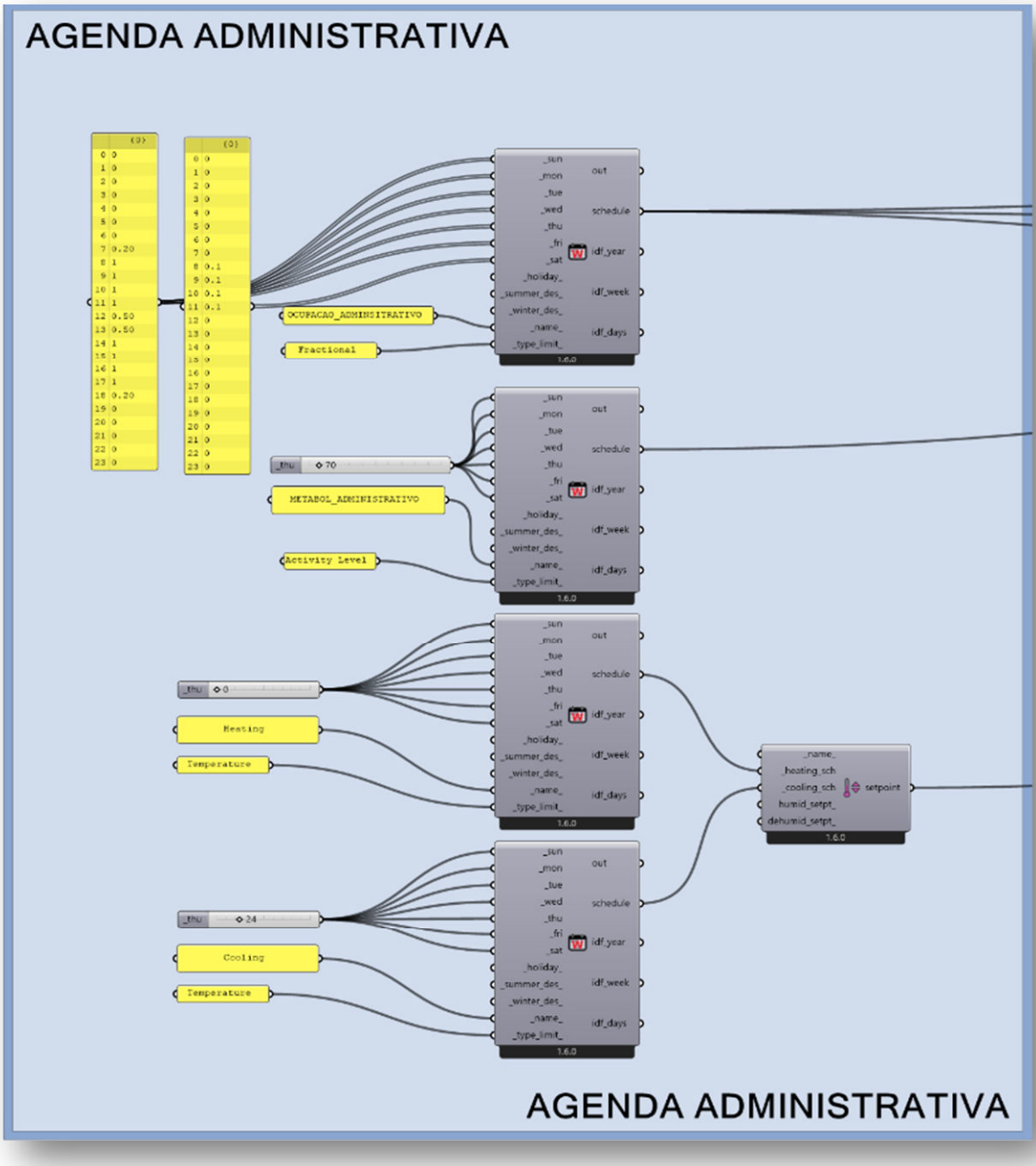


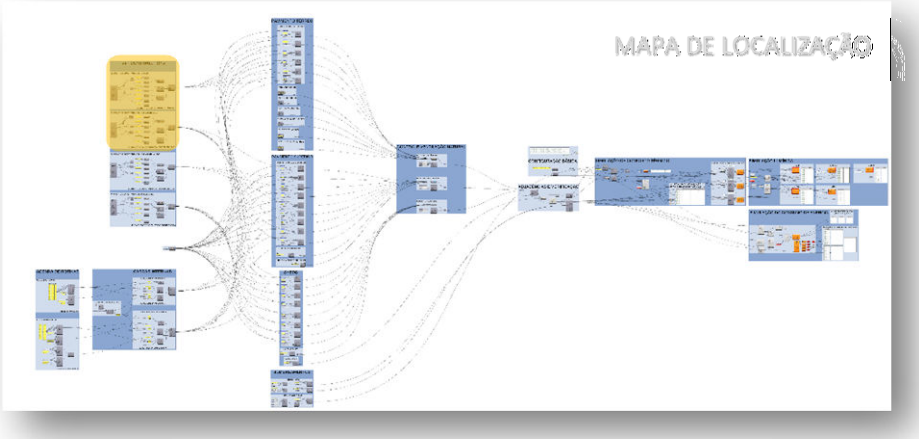
Configuação de Rotinas de Ocupação e Atividades



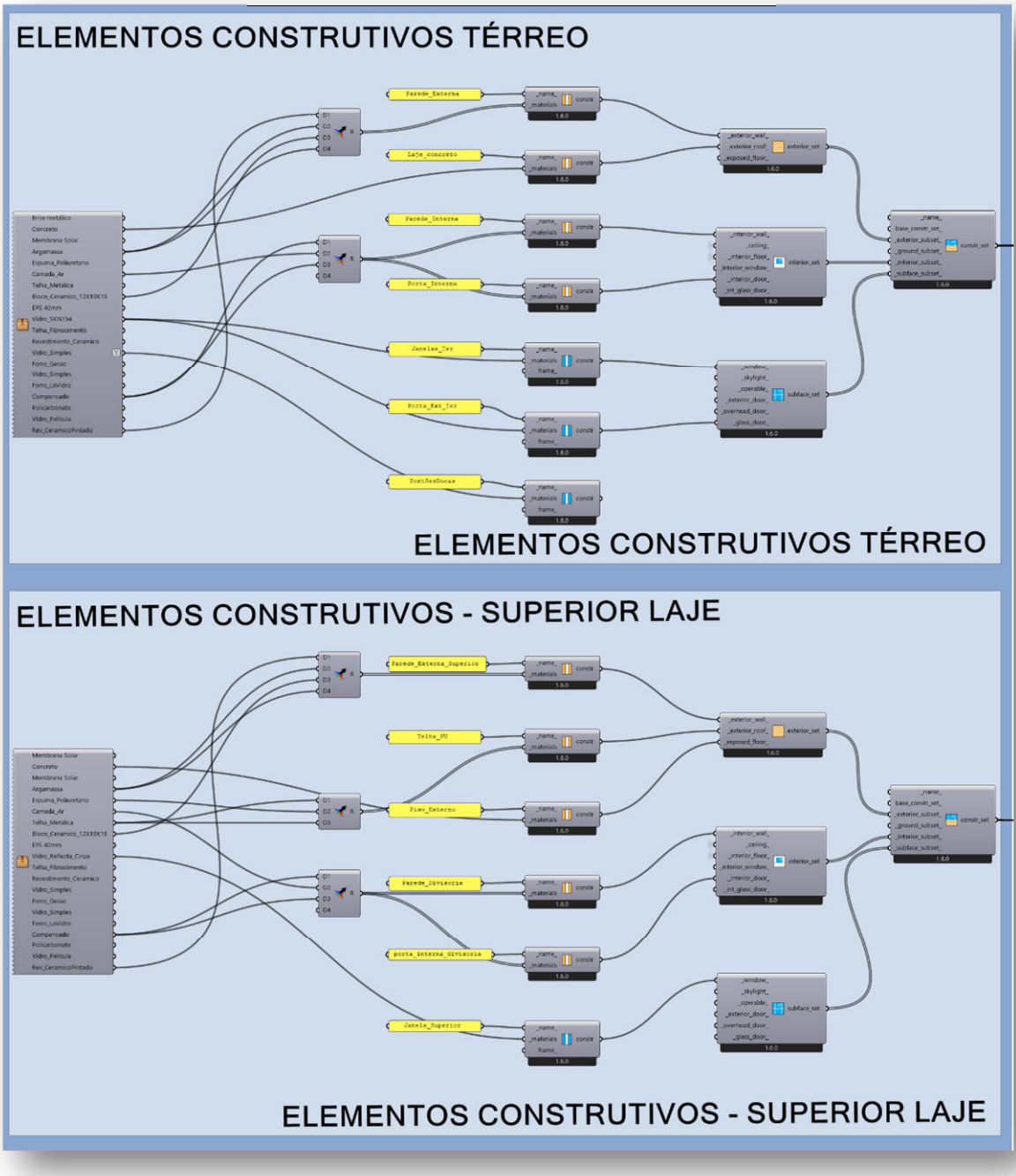


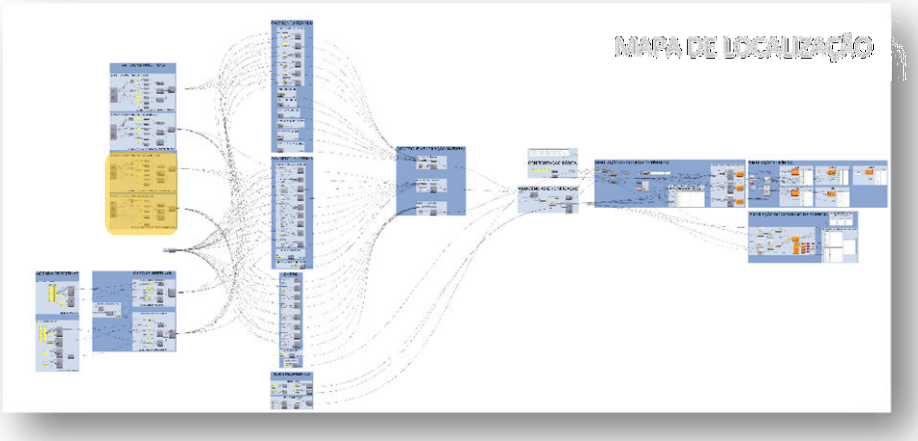
Configuação de Rotinas de Ocupação e Atividades



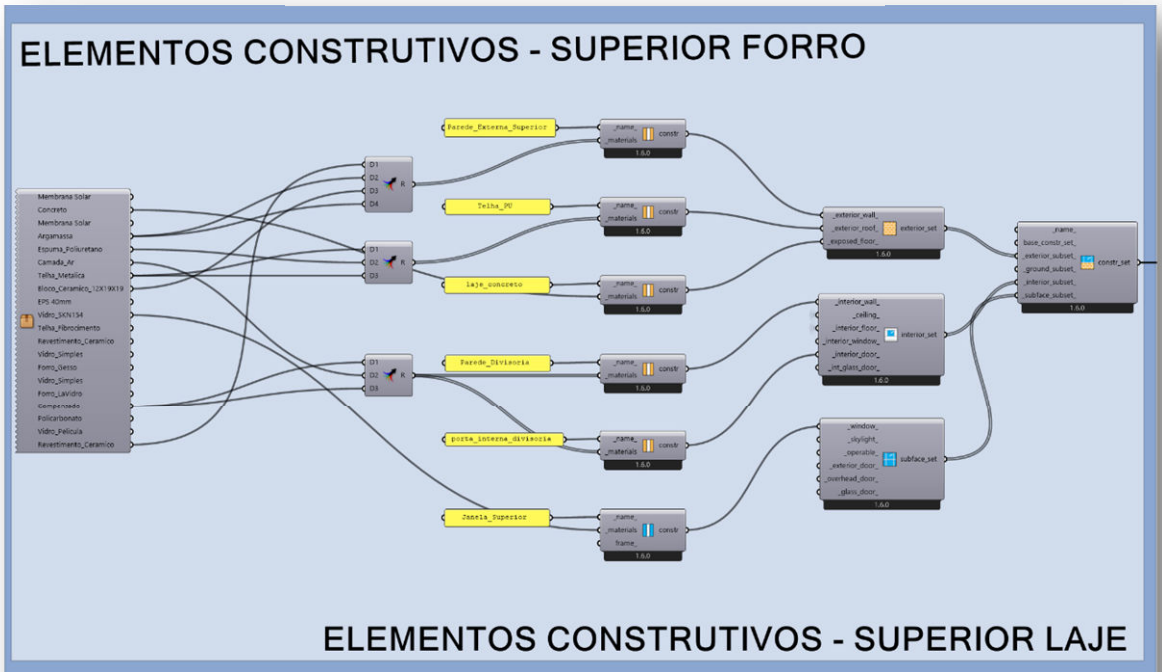


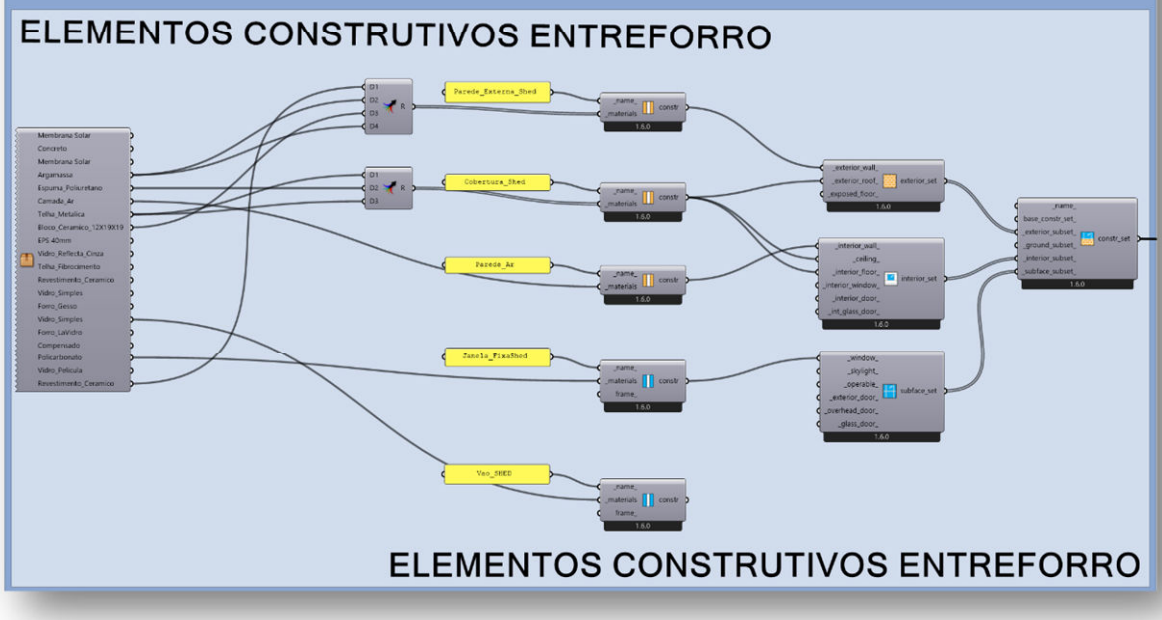
Configuação de Constructions Sets

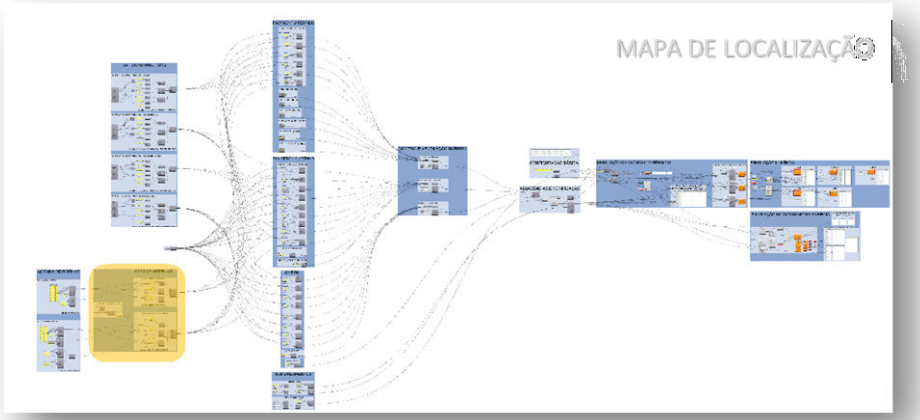




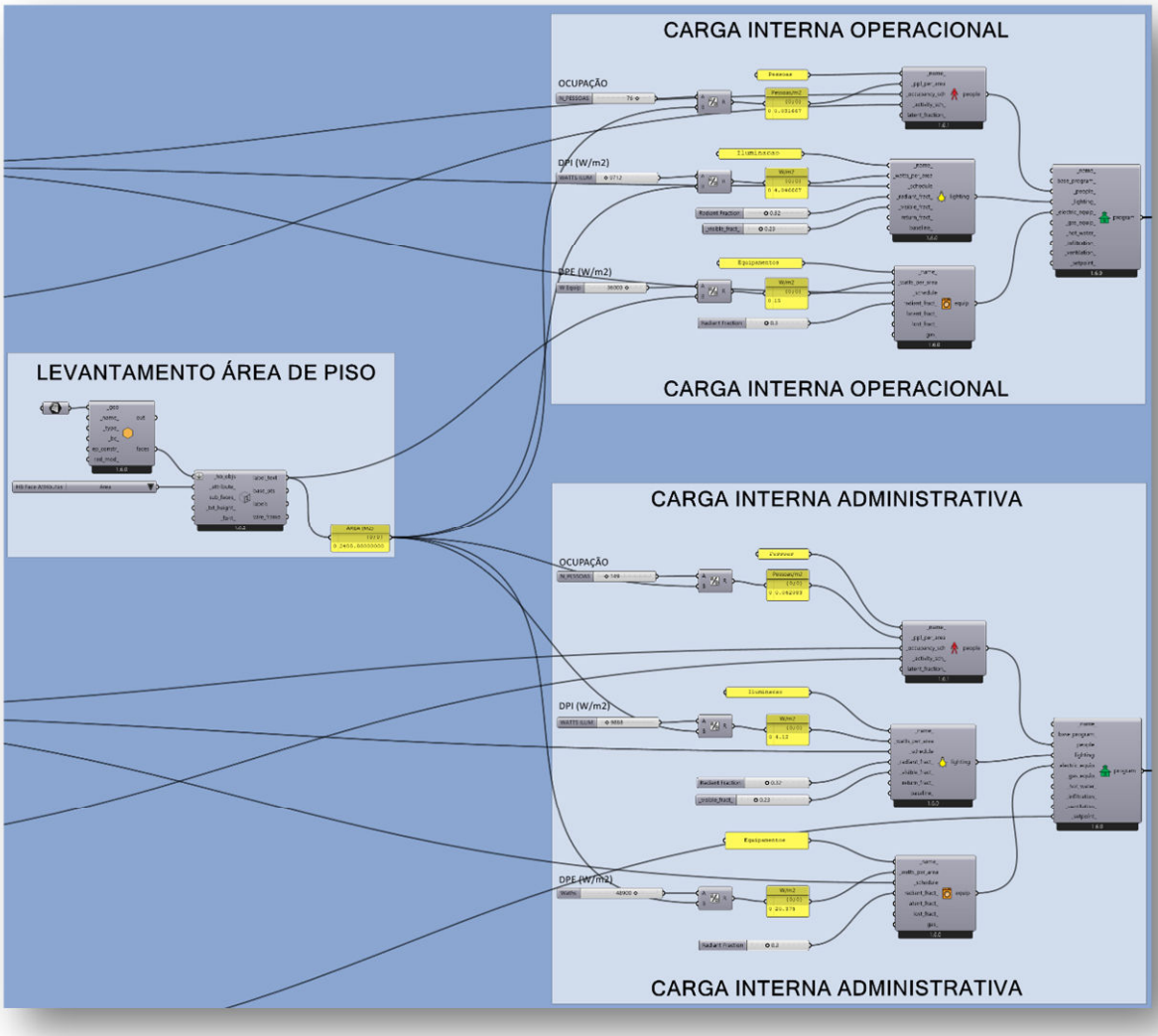
Configuação de Constructions Sets

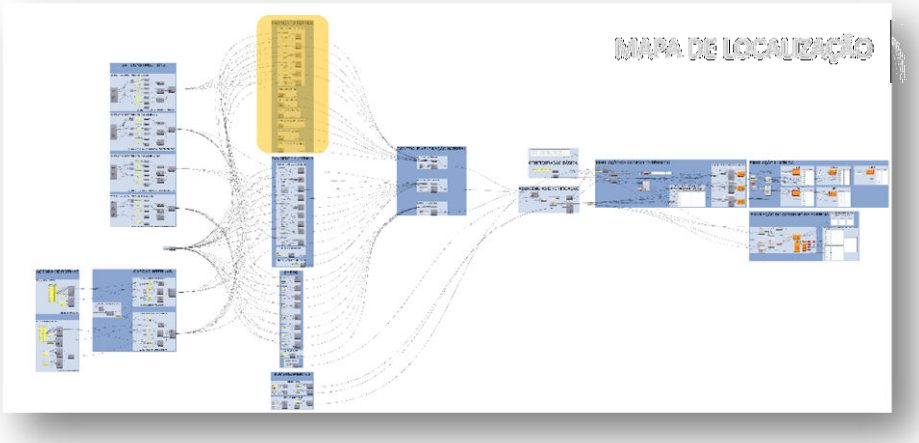




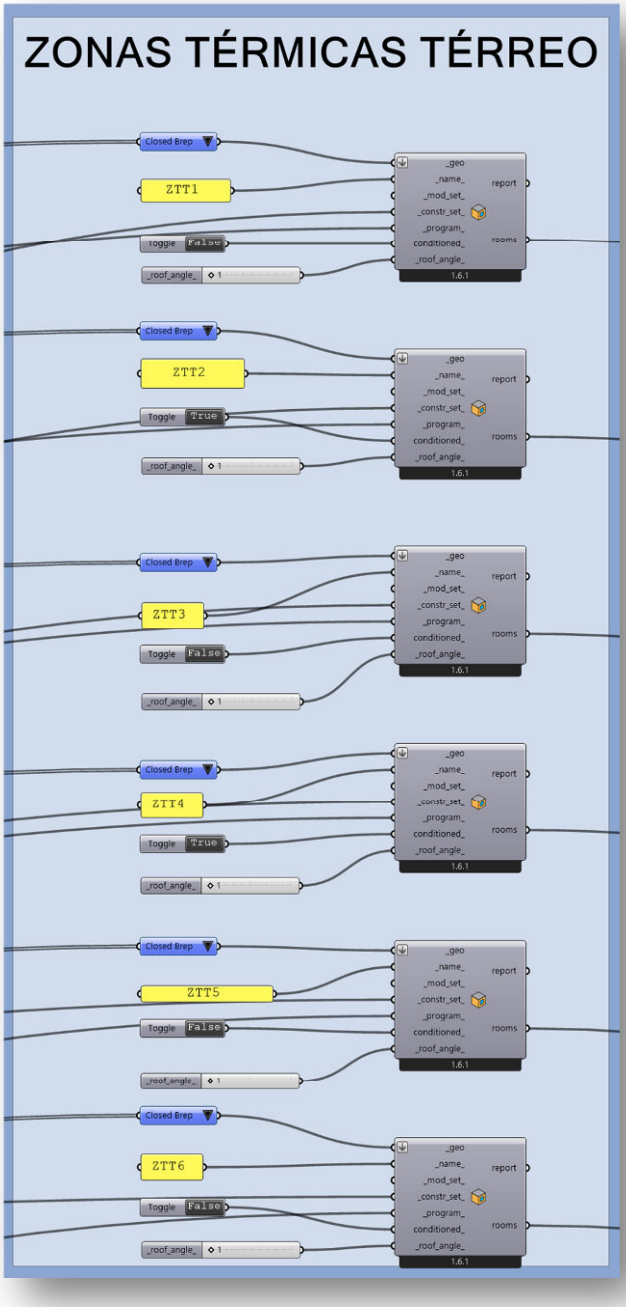


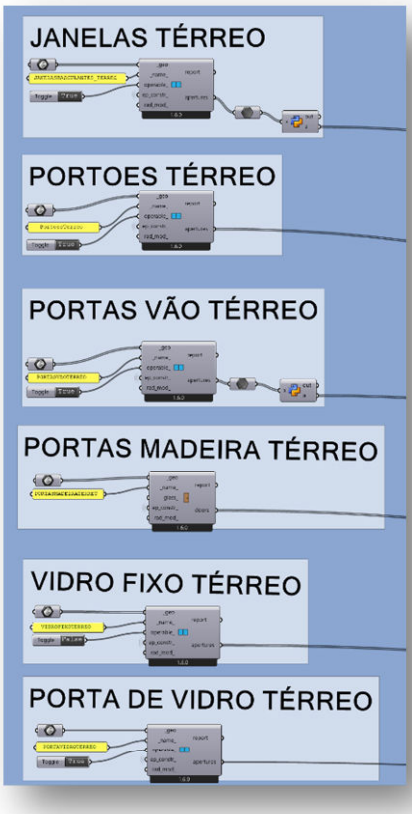
Configuação de Cargas Internas

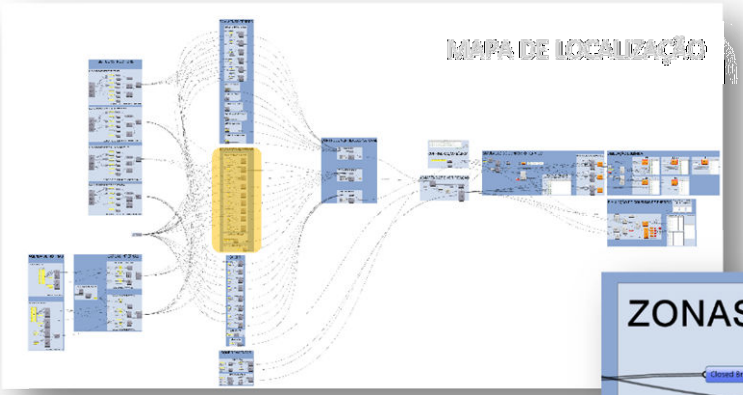




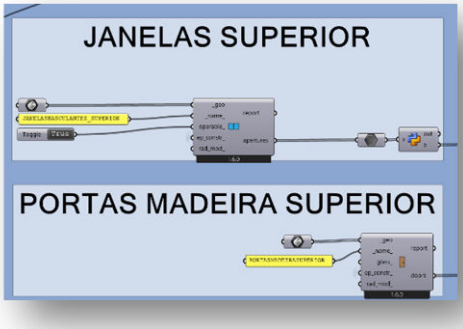
Importe de Modelagem no Rhino para o Grasshopper®

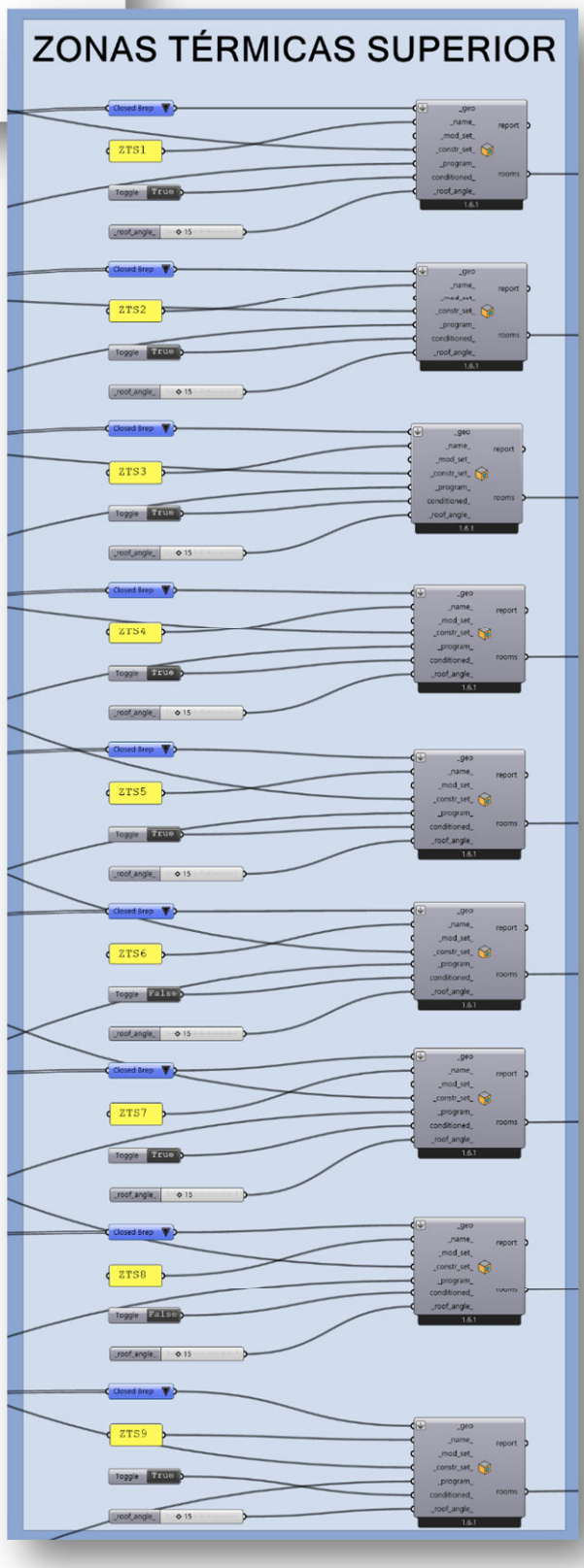


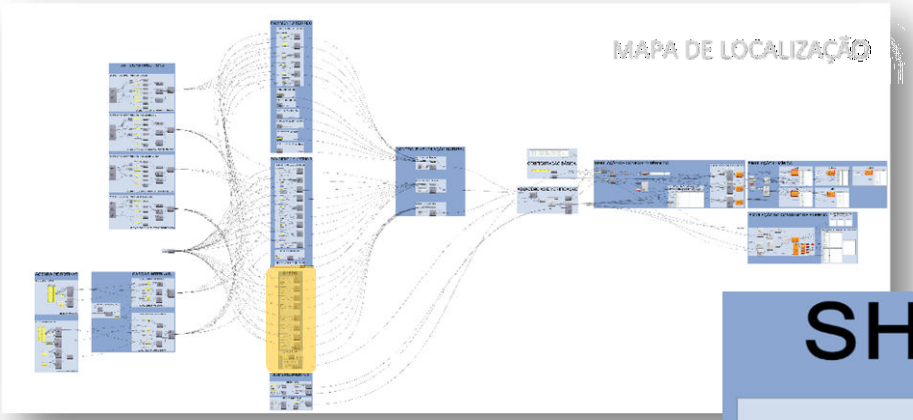




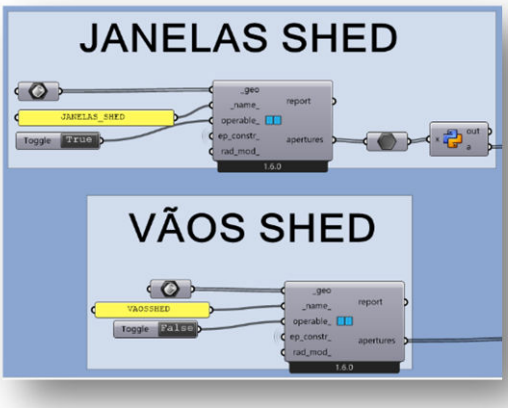
Importe de Modelagem no Rhino para o Grasshopper®

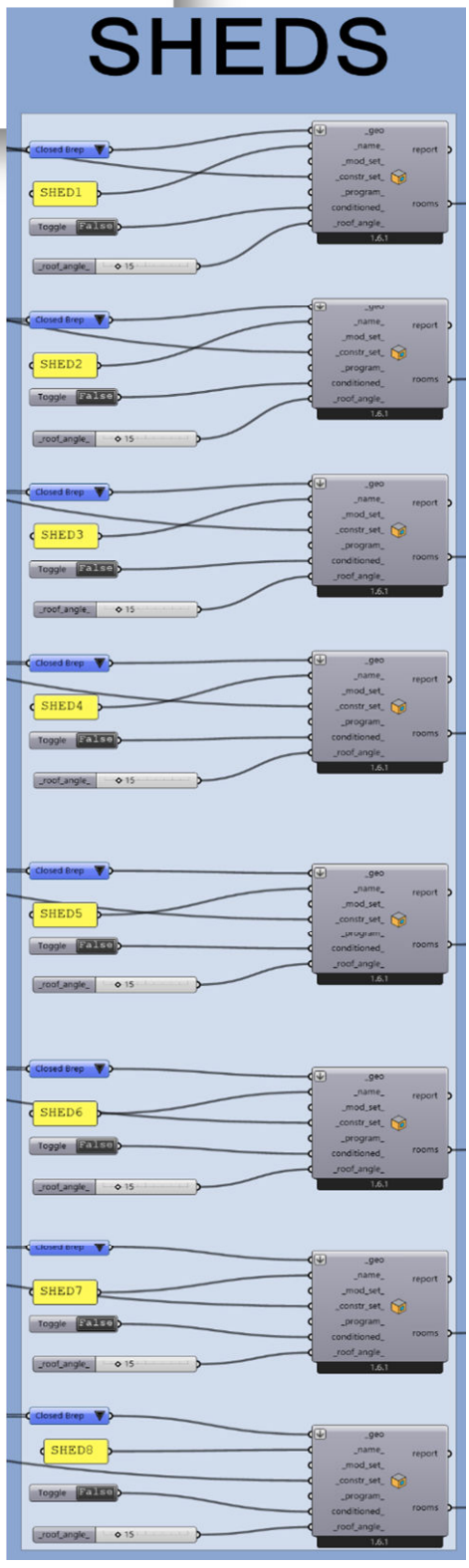


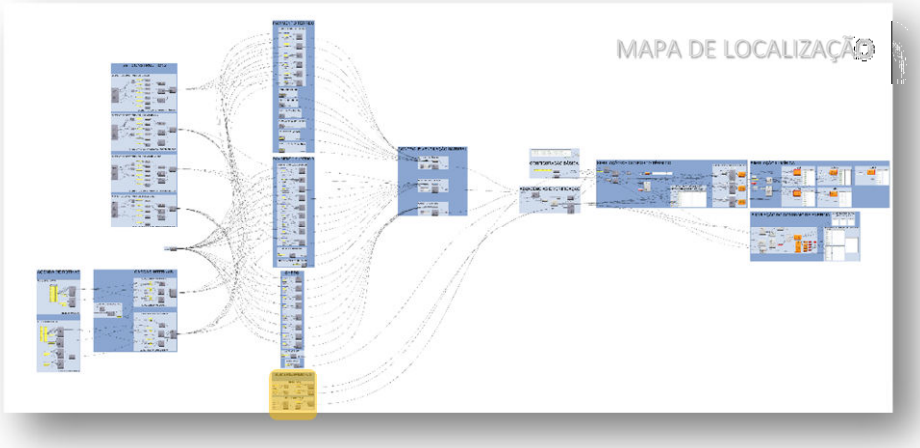




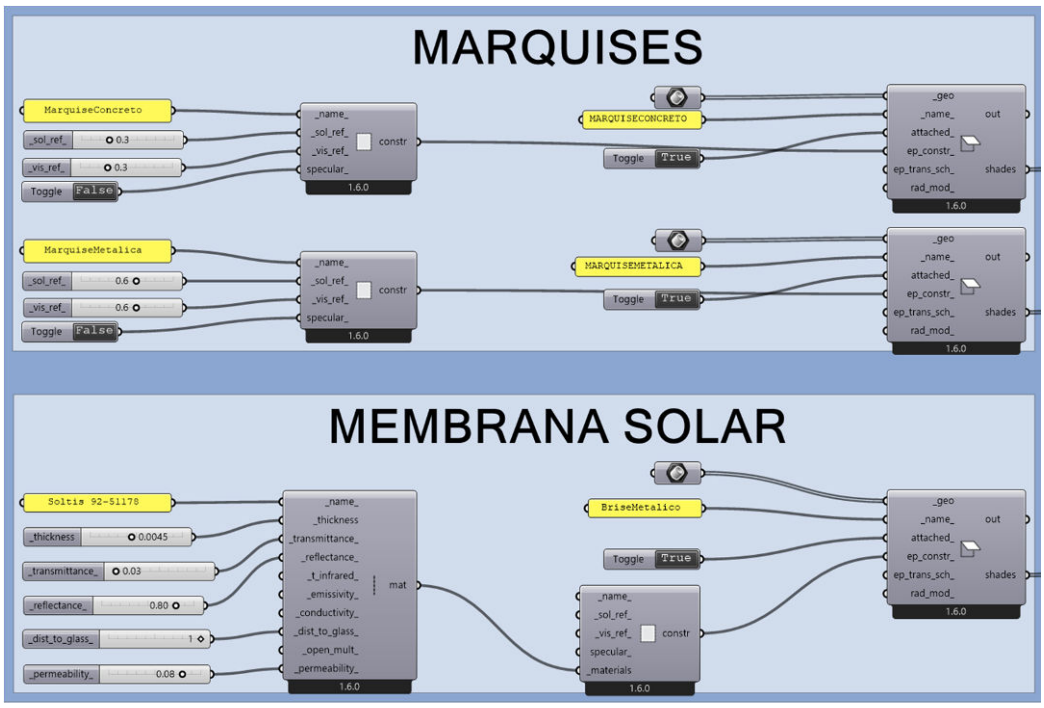
Importe de Modelagem no Rhino para o Grasshopper®

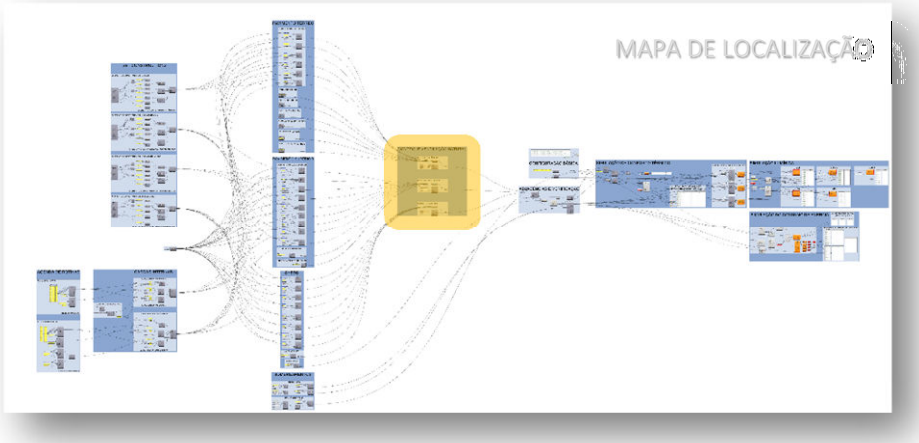




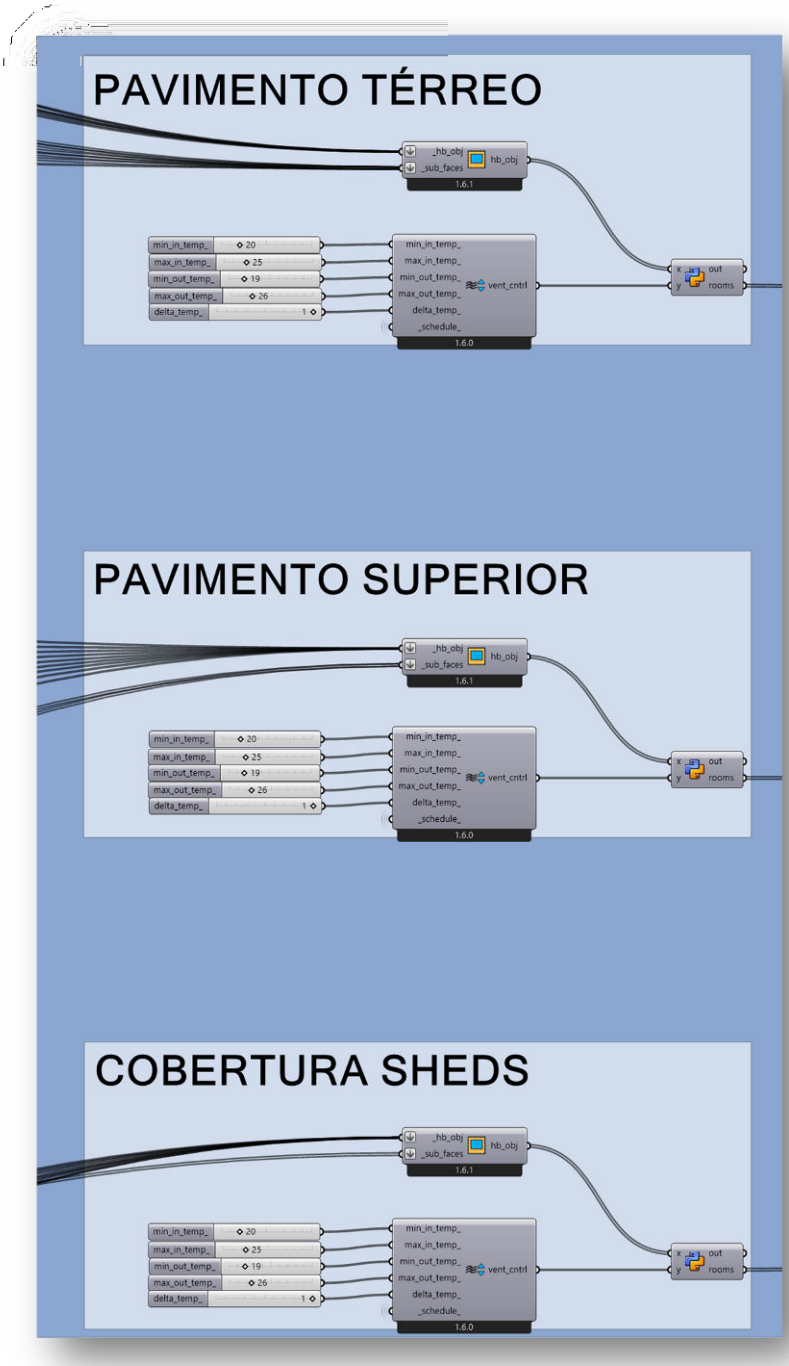


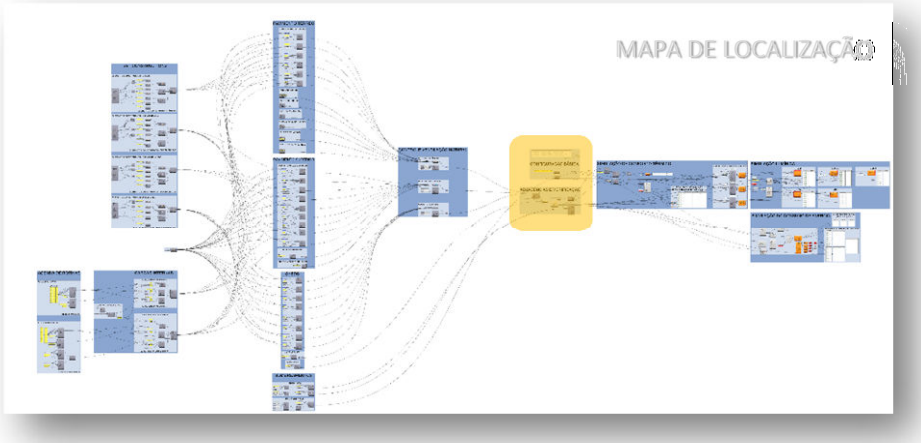
Importe de Modelagem no Rhino para o Grasshopper®



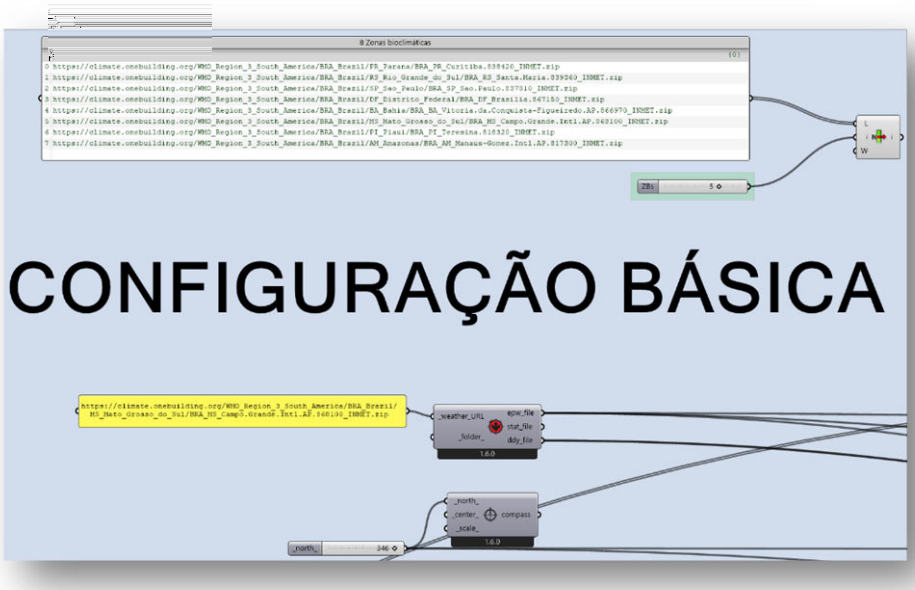


Configuração do Controle da Ventilação Natural das Aberturas

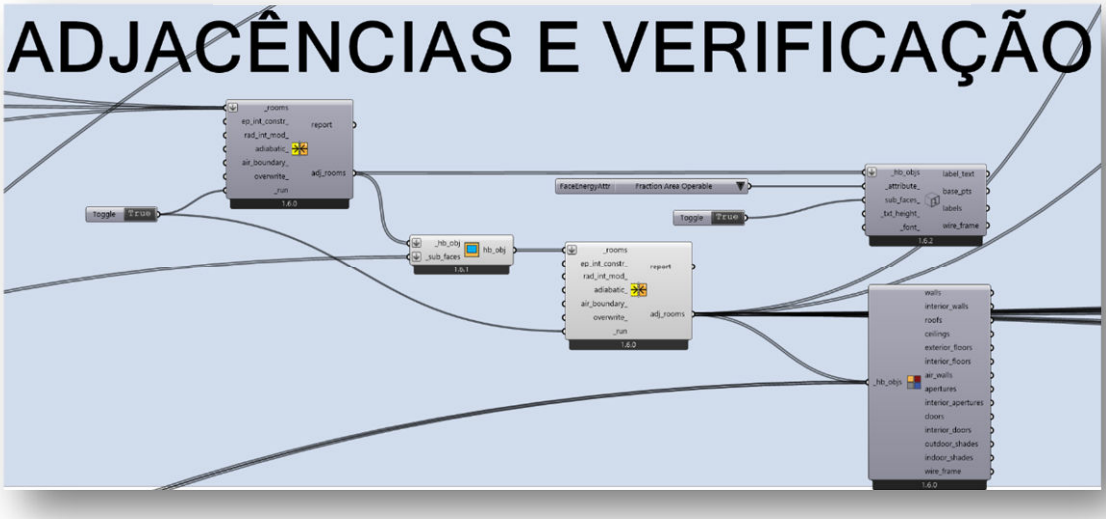


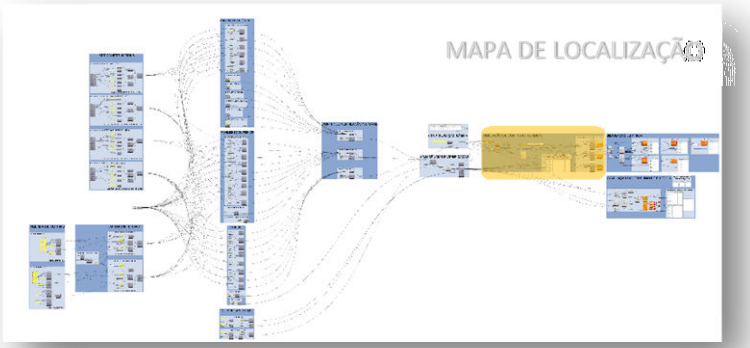


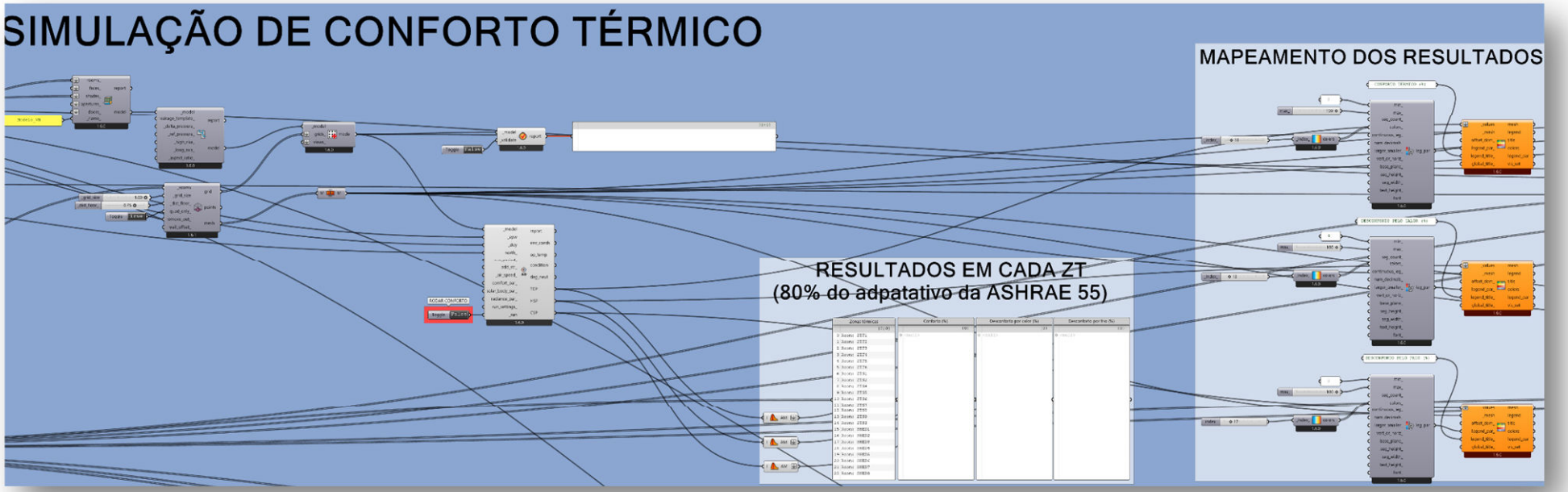
Inserção de Arquivo Climático e Orientação do

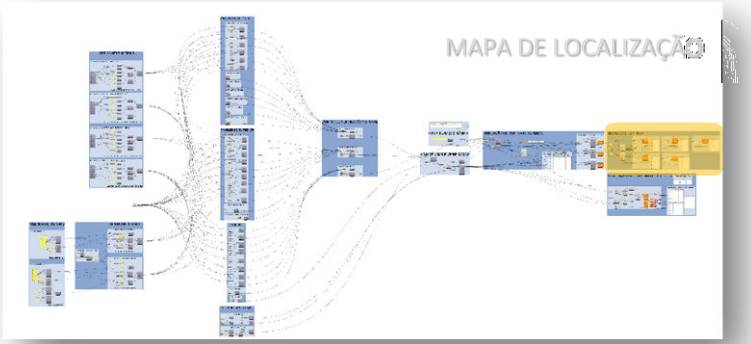


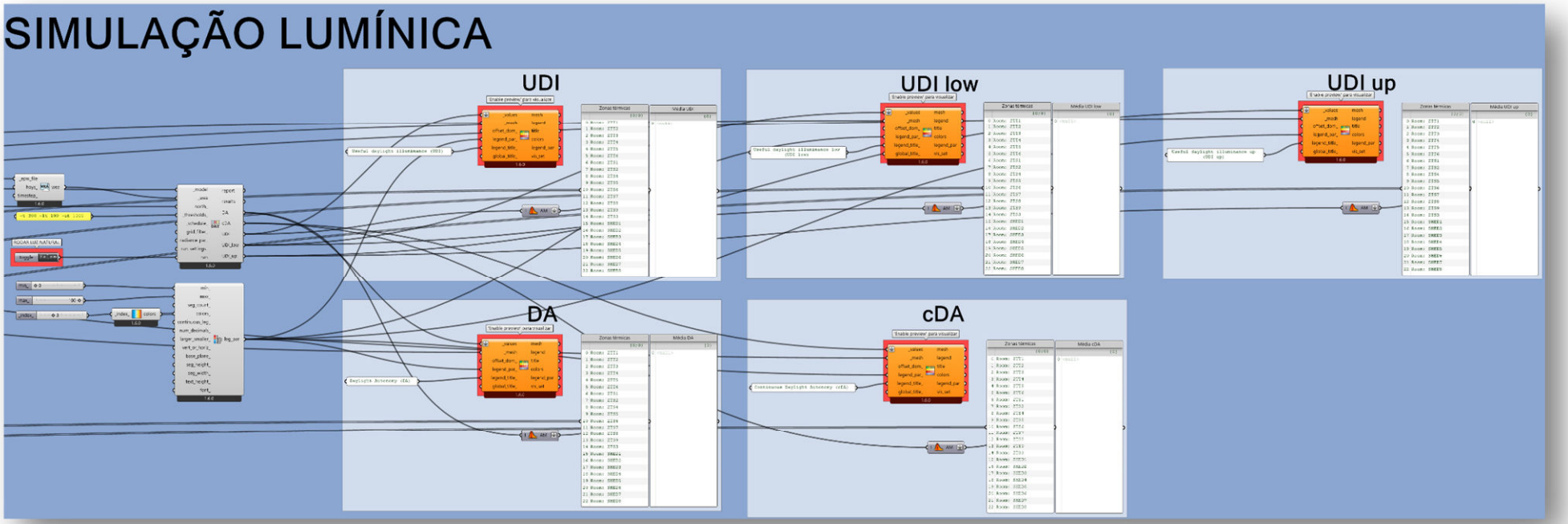
Conexões de Adjacências entre ZTs e Verificações
de Reconhecimento na modelagem no Rhino

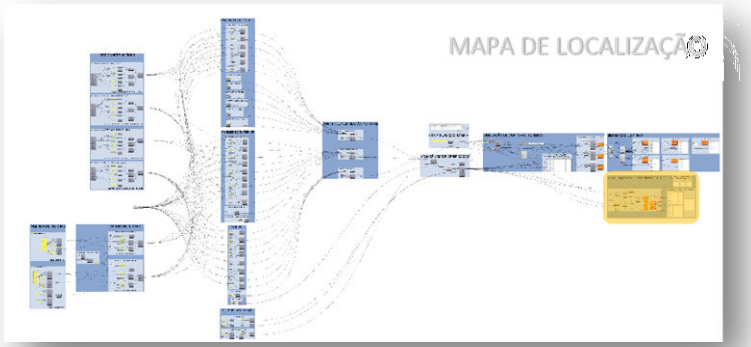
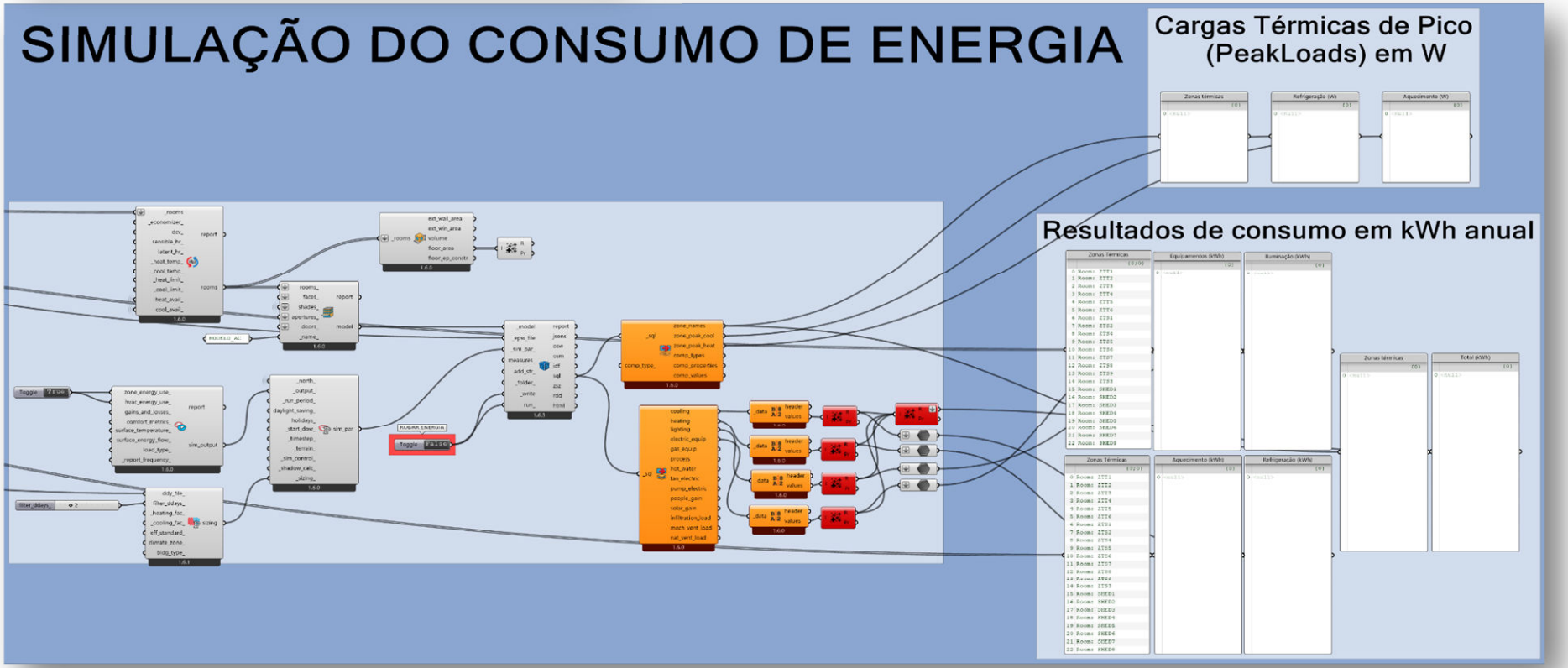



MAPA DE LOCALIZAÇÃO


SIMULAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO
MAPEAMENTO DOS RESULTADOS
RESULTADOS EM CADA ZT
(80% do adpatativo da ASHRAE 55)


MAPA DE LOCALIZAÇÃO


SIMULAÇÃO LUMÍNICA
UDI
UDI low
UDI up
DA
cDA



SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA