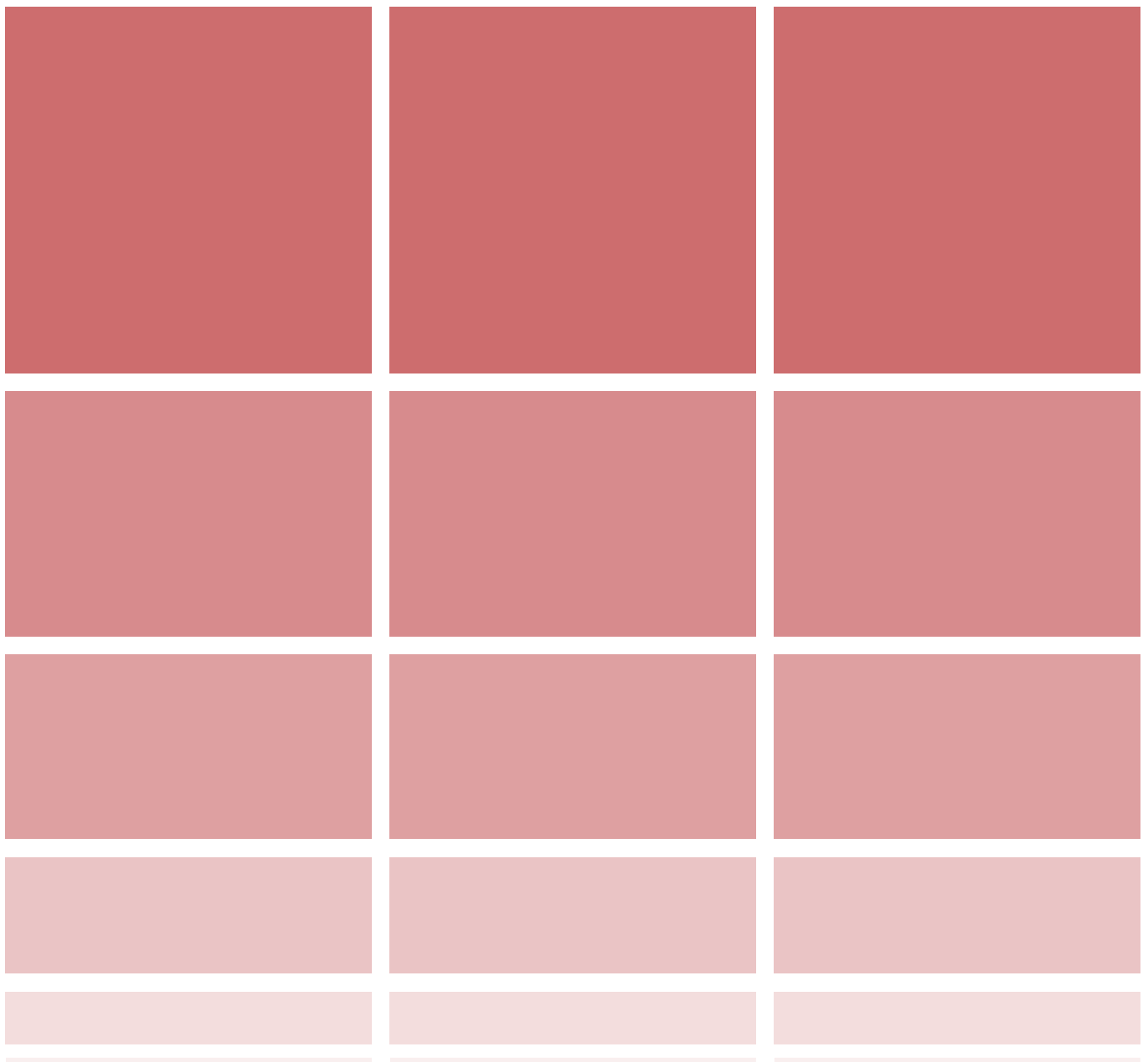


# **sistema de controle e distribuição solar para edificações habitacionais em climas tropicais**

uma proposta baseada em evidências



# **Sistema de controle e distribuição solar para edificações habitacionais em climas tropicais: uma proposta baseada em evidências**

## **Agradecimentos**

O desenvolvimento deste trabalho contou com o apoio de vários setores e profissionais ligados à FAUUSP.

Agradeço à minha orientadora Profa. Dra. Ana Judite Limongi França por compartilhar comigo sua experiência e conhecimento ao longo deste último ano de forma dedicada e atenciosa;

Ao eng. Fernando Palermo por me passar o seu entusiasmo com modelagem e programação aplicadas ao design e à arquitetura, e por todas as aulas no LCC (Laboratório de Culturas Construtivas);

Ao LABAUT (Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética pelo apoio laboratorial;

À Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas da FAUUSP (STMEEC) pelo apoio durante os processos de fabricação digital e montagem do protótipo, em especial ao técnico Elenilton Alves;

À seção do Acervo Bibliográfico da FAUUSP, que reúne, conserva e garante acesso a uma série de documentos relevantes para o estudo da arquitetura brasileira.

## Resumo

Este estudo foi desenvolvido dentro dos âmbitos de tecnologia da construção e de conforto ambiental aplicados ao projeto arquitetônico e do desenvolvimento de produto. Essencialmente, o trabalho desenvolvido consistiu em dois eixos de desenvolvimento: a execução de modelos computacionais para análise de conforto ambiental de edificações bem como o exercício projetual de um produto que contribui positivamente para esse conforto, com ênfase no desempenho térmico e lumínico.

Para atingir esse objetivo, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura sobre o tema, uma fase de *benchmarking* para identificação e compreensão de boas práticas de projeto já existentes, estudos de caso e realização de protótipos físicos e digitais.

Dessa forma um sistema adaptável de controle e distribuição solar foi projetado segundo princípios de arquitetura bioclimática e estratégias passivas para conforto ambiental.

**Palavras-chave:** arquitetura bioclimática, conforto visual, luz diurna, controle e distribuição solar, conforto ambiental

## Lista de Figuras

Figura 1 - Fluxograma de trabalho.....	20
Figura 2 - Tipos usuais de placas solares (OLGYAY, 2015).....	23
Figura 3 - Associação de Placas Solares e respectivos traçados de mascaramento de Placas Solares e respectivos traçados de mascaramento.....	24
Figura 4 - Calculadoras de Radiação Direta, Indireta e Total, respectivamente.....	25
Figura 5 - Procedimentos para simulação computacional de luz diurna .....	26
Figura 6- Vista da fachada Oeste durante o verão (FOTO: SAIEH, 2009) .....	28
Figura 7- Corte esquemático do sistema de fachada dupla (FOTO: BROWNE E HUIDOBRO) .....	28
Figura 8 - Vista da Fachada Oeste do Edifício Albina.....	29
Figura 9 - Vista do interior da unidade do Edifício Albina (FOTO: FINOTTI, 2017).....	29
Figura 10 - Vista do elemento externo de reflexão durante a construção (ADEY, 2020) .....	30
Figura 11 - Elementos com alta refletância no interior do átrio central (ADEY, 2020) .....	30
Figura 12 - Vista da ampliação da escola e o conjunto de Gaudí ao fundo .....	31
Figura 13 - Esquema dos mecanismos de regulação do conforto térmico (FOTO: GARCÍA, [S.d.]) .....	31
Figura 14 - Esquema do funcionamento do sistema LightLouver.....	32
Figura 15 - Geometria da aleta do sistema LightLouver .....	32
Figura 16 - Exemplo de aplicação do sistema LightLouver, no Xilinx Development Center Longmont, Colorado.....	33
Figura 17 - Cortina Duette. Foto da autora.....	34
Figura 18 - Exemplo de aplicação de um brise horizontal como divisória interna. Foto da autora .....	34
Figura 19 - Cortina Silhouette. Foto da autora .....	35
Figura 20 - Mostuário das soluções de interiores da Hunter Douglas. Foto da autora .....	35
Figura 21 - Elevação do Projeto Executivo do Edifício Tabafer (FOTO: ACERVO BIBLIOGRÁFICO FAUUSP) .....	40
Figura 22 - Fachada as built do Edifício Tabafer, significativamente divergente do projeto executivo .....	40
Figura 23 - Detalhes das fachadas dos edifícios selecionados (FOTOS: MARCATO, G.; ANTONIO, M; KON, N) .....	41
Figura 24 - Elevação e Planta do pavimento tipo do Edifício Lausanne .....	41
Figura 25 - Edifício Lausanne em 2022. Foto da autora.....	42
Figura 26 - Elevação e Planta do Pavimento tipo do Edifício Louveira (Foto: ACERVO BIBLIOGRÁFICO FAUUSP).....	42
Figura 27 - Edifício Louveira. Foto: (FOTO: KON, N).....	43

Figura 28 - Elevação e Planta do Pavimento tipo do Edifício Juriti (Foto: GUERRA, GIMENEZ, SERAPIÃO, 2016) .....	43
Figura 29 - Edifício Juriti (FOTO: KON, N).....	44
Figura 30 - Localização dos edifícios no bairro de Higienópolis, São Paulo. Elaborado a partir do Google MyMaps .....	44
Figura 31 - Carta Solar de São Paulo gerada no ClimateStudio a partir de arquivo climático do INMET 2018 .....	45
Figura 32 - Heatmap para São Paulo - SP gerado no ClimateStudio a partir de arquivo climático do INMET (2018). Tom roxo indica desconforto extremo por frio, enquanto a cor vinho indica desconforto extremo devido ao calor .....	46
Figura 33 - Exemplo de modelo preparado para a simulação de radiação incidente no Rhino. Imagem da autora .....	47
Figura 34 - Atribuição das geometrias do Rhino às aletas do Grasshopper). Imagem da autora .....	48
Figura 35 - Configuração da geometria do edifício e das superfícies de análise). Imagem da autora.....	48
Figura 36 - Referência ao arquivo climático conectado ao módulo de cálculo de radiação do ClimateStudio, o RadMap (arquivo INMET obtido em LABEEE). Imagem da autora.....	48
Figura 37 - Módulos do Grasshopper para visualização dos resultados). Imagem da autora .....	48
Figura 38 - Exemplo de modelagem utilizada para as análises de luz diurna do Edifício Juriti.....	49
Figura 39 - Fluxo de trabalho e recursos utilizados na plataforma ClimateStudio. Imagem da autora.....	50
Figura 40 - Carta Solar sobreposta ao domo de mascaramento da janela criado no Grasshopper .....	51
Figura 41 - Módulo SkyMask do LadybugTools utilizado para gerar o domo de mascaramento, uma vez referenciadas as geometrias e pontos de análise. Imagem da autora .....	51
Figura 42 -Módulo de leitura do arquivo climático em epw e de criação da carta solar, ambos do Ladybug Tools. Imagem da autora .....	51
Figura 43 Implantação do Edifício Lausanne.....	54
Figura 44 - Planta do Pavimento Tipo do Edifício Lausanne. Redesenho da autora .....	55
Figura 45 - Ampliação do Pavimento tipo do Edifício Lausanne, mostrando duas unidades. Redesenho da autora .....	55
Figura 46 - Esquadrias e brises da fachada principal do Edifício Lausanne. Redesenho da autora.....	56
Figura 47 - Elevação da Fachada Norte do Edifício Lausanne. Redesenho da autora.....	56
Figura 48 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Verão, 9h.....	59
Figura 49 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Verão, 12h.....	59
Figura 50 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Verão, 15h.....	59
Figura 51 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Equinócio, 9h .....	59
Figura 52 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Equinócio, 12h .....	59
Figura 53 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Equinócio, 15h .....	59

Figura 54 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Inverno, 9h.....	59
Figura 55 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Inverno, 12h.....	59
Figura 56- Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Inverno, 15h .....	59
Figura 57 - Foto dos elementos de proteção solar do Edifício Lausanne. (Foto: André Deak).....	60
Figura 58 - Modelo simplificado do elemento de proteção solar do Edifício Lausanne .....	60
Figura 59 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração com mascaramento previsto em projeto original .....	60
Figura 60 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração sem qualquer mascaramento .....	61
Figura 61 - Mascaramento para janela do dormitório do edifício Lausanne, 5o andar, a 1m da janela e a 90cm do piso acabado, sem elemento de proteção solar. ....	61
Figura 62 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 9h.....	62
Figura 63 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 12h.....	62
Figura 64 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 15h.....	62
Figura 65 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de verão, 9h.....	63
Figura 66 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 12h .....	63
Figura 67 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 15h .....	63
Figura 68 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 9h .....	64
Figura 69 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 12h.....	64
Figura 70 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de inverno, 15h.....	64
Figura 71 – FLD anual com e sem mascaramento para os cômodos da Fachada Norte do Edifício Lausanne, respectivamente, com FLD média e mediana.....	65
Figura 72 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Juriti, com mascaramento do projeto original, considerando aletas abertas .....	65
Figura 73 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Lausanne, sem qualquer proteção solar .....	66
Figura 74 - Planta do Pavimento tipo do Edifício Louveira. Redesenho da autora .....	68
Figura 75 - Elevação do Bloco A do Conjunto Louveira. Redesenho da autora.....	68

Figura 76 - Esquadrias dos dormitórios com e sem proteção solar e esquadria da sala, respectivamente. Redesenho da autora .....	69
Figura 77 - Radiação Anual Incidente na Janela do 5º Andar, fachada norte, bloco A.....	70
Figura 78 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Verão, 9h .....	71
Figura 79 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Verão, 12h .....	71
Figura 80 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Verão, 15h .....	71
Figura 81 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Equinócio, 9h .....	71
Figura 82 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Equinócio, 12h .....	71
Figura 83 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Equinócio, 15h .....	71
Figura 84 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Inverno, 9h.....	71
Figura 85 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Inverno, 12h .....	71
Figura 86- Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. De Inverno, 15h .....	71
Figura 87 - Foto das esquadrias e elementos de sombreamento do Edifício Louveira(Foto: Nelson Kon)	72
Figura 88 - Modelo simplificado do elemento de sombreamento do edifício Louveira.....	72
Figura 89 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração com mascaramento previsto em projeto original .....	72
Figura 90 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração sem qualquer mascaramento .....	73
Figura 91 - Mascaramento para janela da sala do edifício Louveira, 5o andar .....	73
Figura 92 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 9h.....	74
Figura 93 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 12h.....	74
Figura 94 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 15h.....	74
Figura 95 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de verão, 9h.....	75
Figura 96 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 12h .....	75
Figura 97 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 15h .....	75
Figura 98 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 9h .....	76
Figura 99 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 12h.....	76
Figura 100 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de inverno, 15h.....	76

Figura 101 – FLD anual com e sem mascaramento para os cômodos da Fachada Norte do Edifício Louveira, respectivamente, com FLD média e mediana.....	77
Figura 102 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos da fachada Norte do Edifício Louveira, com mascaramento do projeto original .....	77
Figura 103 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos da fachada Norte do Edifício Louveira, sem qualquer proteção solar.....	78
Figura 104 - Implantação do Edifício Juriti .....	79
Figura 105 - Planta do Pavimento Tipo do Edifício Juriti. Redesenho da autora .....	80
Figura 106 - Ampliação da Planta do Pavimento Tipo do Edifício Juriti, mostrando duas unidades. Redesenho da autora .....	80
Figura 107 - Esquadria dos dormitórios do Edifício Juriti. Redesenho da autora .....	81
Figura 108 - Elevação da Fachada Leste do Edifício Juriti . Redesenho da autora .....	81
Figura 109 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Verão, 9h.....	84
Figura 110 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Verão, 12h.....	84
Figura 111 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Verão, 15h.....	84
Figura 112 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Equinócio, 9h .....	84
Figura 113 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Equinócio, 12h .....	84
Figura 114 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Equinócio, 15h .....	84
Figura 115 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Inverno, 9h .....	84
Figura 116 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Inverno, 12h .....	84
Figura 117- Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Inverno, 15h .....	84
Figura 118 - Foto dos elementos de sombreamento do Edifício Juriti (Foto: Nelson Kon) .....	85
Figura 119 - Modelo simplificado do elemento de sombreamento do edifício Juriti .....	85
Figura 120 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Juriti, na configuração com mascaramento previsto em projeto original .....	85
Figura 121 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Juriti, na configuração sem qualquer mascaramento .....	86
Figura 122 - Mascaramento para janela do dormitório do edifício Juriti, 8o andar, a 1m da janela e a 90cm do piso acabado .....	86
Figura 123 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 9h.....	87
Figura 124 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 12h.....	87
Figura 125 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 15h.....	87

Figura 126 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de verão, 9h.....	88
Figura 127 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 12h .....	88
Figura 128 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 15h .....	88
Figura 129 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 9h .....	89
Figura 130 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 12h .....	89
Figura 131 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de inverno, 15h.....	89
Figura 132 - FLD anual com e sem mascaramento para os cômodos da Fachada Leste do Edifício Juriti, respectivamente, com FLD média e mediana .....	90
Figura 133 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Juriti, com mascaramento do projeto original .....	91
Figura 134 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Juriti, sem qualquer proteção solar.....	91
Figura 135 - Croquis iniciais e desenvolvimento do sistema .....	95
Figura 136 - Croquis iniciais e desenvolvimento do sistema. ....	95
Figura 137 - Croqui inicial reunindo as principais ideias para a solução a se projetada .....	96
Figura 138 - Parte da rotina feita para desenho da porta camarão parametrizada.....	97
Figura 139 - Posição inicial da porta camarão .....	97
Figura 140 - Disposição após deslocamento do arco 2 .....	97
Figura 141 - Rotina grasshopper para criação da extrusão do painel .....	97
Figura 142 - Resultado da extrusão .....	98
Figura 143 - Rotina grasshopper para criação do sólido de subtração .....	98
Figura 144 - Sólidos de subtração (em verde) para criação da moldura .....	98
Figura 145 - Modelo com inclusão dos perfis inferiores e superiores, bem como as primeiras fileiras de aletas.....	99
Figura 146 - Trecho da rotina grasshopper para criação das aletas e do array subsequente .....	99
Figura 147 - Exemplos de disposições possíveis obtidas a partir da rotina grasshopper desenvolvida ..	100
Figura 148 - Elevação do protótipo, versão preliminar .....	102
Figura 149 - Corte das peças em mdf 3mm na cortadora a laser disponível na FAUUSP.....	103
Figura 150 - Montagem da aleta .....	103
Figura 151 - kit porta camarão .....	103

Figura 152 - Confeção das molduras utilizando serra de bancada .....	104
Figura 153 - Furação da peça para passagem da barra rosca.....	104
Figura 154 - Moldura com eixos (sem aletas).....	104
Figura 155 - Protótipo 1 finalizado, com revestimentos de mdf alternados de forma a sinalizar a aplicação de diferentes materiais nas aletas. ....	105
Figura 156 - Protótipo 1 finalizado com aletas rotacionadas. Foto da autora.....	105
Figura 157 - Protótipo 1 finalizado, demonstrando a abertura da porta camarão. Foto da autora.....	106
Figura 158 - Montagem do protótipo 2.....	106
Figura 159 - Croqui identificando necessidade de vedação entre as aletas. Desenho da autora .....	107
Figura 160 - Impressão do elemento em PLA que simula o formato da borracha. Foto da autora .....	107
Figura 161 - Protótipo 2 finalizado. Foto da autora.....	108
Figura 162 - Protótipo 2 finalizado. Foto da autora.....	108
Figura 163 - Interior da caixa utilizada para o teste do Heliodon .....	109
Figura 164 - Exterior da caixa utilizada para o teste do Heliodon.....	109
Figura 165 - Heliodon disponível no LABAUT da FAUUSP .....	110
Figura 166 - Caixa posicionada simulando fachada orientada para oeste, com brises rotacionando ao redor de um eixo horizontal.....	110
Figura 167 - Caixa posicionada simulando fachada orientada para leste, com brises rotacionando ao redor de um eixo vertical.....	111
Figura 168 - Relógio de sol para latitude 23°27' utilizado como referência, confeccionado com base em modelo disponível em RIVERO, 1985 .....	111
Figura 169 - Princípio do teste do Heliodon .....	112
Figura 170 - Perfil extrudado em alumínio final proposto para as aletas. Desenho da autora .....	118
Figura 171 - Isometria do modelo 3D da aleta. Desenho da autora .....	118
Figura 172 - Modelo da família Revit das aletas individuais e respectivos parâmetros.....	119
Figura 173 - Modelo da família Revit das aletas rotacionadas e respectivos parâmetros.....	119
Figura 174- Array de aletas para passagem de um eixo horizontal.....	120
Figura 175 - array de aletas rotacionadas para passagem de um eixo vertical .....	120
Figura 176 - Elevação do grid das aletas, com duas opções para os sentidos dos eixos.....	121
Figura 177 - Isometria do grid das aletas gerado neste nível de modelagem.....	121
Figura 178 - Exemplo de painel com eixos horizontais, com aletas rotacionadas a 45 graus .....	122
Figura 179 - Exemplo de painel com eixos verticais, com aletas rotacionadas a 90 graus.....	122
Figura 180 - Propriedades de tipo da família 6 desenvolvida no Revit.....	123

Figura 181 - Referência de mecanismo para portas deslizantes (Patente Hawa, Frontslide 140). Extraído de (HAWA SLIDING SOLUTIONS, [S.d.], p. 41).....	124
Figura 182 - Perfis aplicados para comportar os painéis deslizantes (Hunter Douglas Architectural). Extraído de (HUNTER DOUGLAS ARCHITECTURAL: BRASIL, [S.d.], p. 31) .....	124
Figura 183 - Vista 3D do modelo final, com exemplo de uma configuração do produto com daylight window. ....	125
Figura 184 - Corte do resultado final, com diferentes exemplos de configurações e posições de aletas	126
Figura 185 - Ampliação do corte do modelo final.....	127
Figura 186 - Vistas em 3D com outros exemplos de configurações obtidas com o sistema.....	128
Figura 187 - Vista em corte dos painéis na configuração aberta. ....	129
Figura 188 - Planta e elevação de uma das configurações possíveis, com aletas rotacionadas.....	130
Figura 189- Planta e elevação de uma das configurações possíveis, com aletas na posição inicial.....	131
Figura 190 - Planta do pavimento tipo desenhada segundo desenhos e indicações do caderno de tipologias do CDHU. Redesenho da autora .....	132
Figura 191 - Foto do Conjunto Habitacional São Miguel Paulista, que possui a mesma tipologia escolhida para estudo de aplicação do sistema. Foto: Google Street View.....	133
Figura 192 - Implantação do conjunto residencial estudado, com blocos analisados em destaque .....	133
Figura 193 - Fachada original e corte. Desenho da autora.....	134
Figura 194 - Configurações aplicadas no conjunto CDHU em São Paulo – SP conforme reflexões dos testes realizados.....	135
Figura 195 - Fachada Norte com sistema aplicado. Desenho da autora.....	136
Figura 196 - Fachada Sul com sistema aplicado. Desenho da autora.....	137
Figura 197 - Fachada Leste com sistema aplicado. Desenho da autora .....	138
Figura 198 - Fachada Oeste com sistema aplicado. Desenho da autora.....	139
Figura 199 - Modelos simplificados para simulação .....	140
Figura 200 - Volumetria utilizada para simulação .....	141
Figura 201 - Radiação incidente durante o equinócio, 15h, nas fachadas norte e oeste .....	141
Figura 202 - Radiação incidente durante o equinócio, 15h, nas fachadas sul e leste .....	142
Figura 203 – Iluminância no equinócio, 15h, sem elemento de proteção solar.....	142
Figura 204 - Iluminância no equinócio, 15h, com sistema de proteção solar proposto .....	143
Figura 205 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada Norte. Indicação em lux. Produção da autora .....	143
Figura 206 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada ~Sul. Indicação em lux. Produção da autora .....	144

Figura 207 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada Leste. Indicação em lux. Produção da autora .....	144
Figura 208 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada Oeste. Indicação em lux. Produção da autora .....	145
Figura 209 - Gráfico de ofuscamento gerado para o dia do equinócio para todas as áreas analisadas, sem adoção de proteção solar .....	145
Figura 210 - Gráfico de ofuscamento gerado para o dia do equinócio para todas as áreas analisadas, com adoção do sistema proposto.....	146

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características indicadas pela empresa LightLouver para as superfícies das aletas do sistema. ....	33
Tabela 2 - Edifícios considerados para os estudos de caso. Produção da autora .....	39
Tabela 3 - Horas de Insolação, Razão do Sol e Céu para São Paulo – SP. Extraído de (MICHEL, LARANJA, 2020).....	50
Tabela 4 - Níveis de iluminamento natural para desempenhos Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) estabelecidos pela norma NBR 15575-1 .....	52
Tabela 5 - Níveis de Fator de Luz Diurna para desempenhos Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) estabelecidos pela norma NBR 15575-1 .....	52
Tabela 6 - Exemplos de Iluminâncias recomendadas. Extraído de (TREGENZA, LOE, 2015, p. 109).....	53
Tabela 7 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do Edifício Lausanne .....	57
Tabela 8 - Materiais aplicados no modelo do edifício Lausanne.....	57
Tabela 9 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do Edifício Louveira .....	69
Tabela 10 - Materiais aplicados no modelo do edifício Louveira .....	70
Tabela 11 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do Edifício Juriti .....	82
Tabela 12 - Materiais aplicados no modelo do edifício Juriti .....	82
Tabela 13 - parâmetros de input para o modelo inicial.....	96
Tabela 14 - Albedo e emissividade para superfícies selecionadas.....	101
Tabela 15 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do conjunto .....	140
Tabela 16 - Materiais aplicados no modelo do conjunto.....	140

## Lista de Equações

Equação 1 - Método para cálculo da radiação incidente.....	24
Equação 2 – Cálculo do Coeficiente de Luz Diurna .....	25
Equação 3 - Grau de desconforto por ofuscamento (UGR).....	25

## Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Radiação Anual Incidente na Fachada Norte (Lausanne) [kW/m <sup>2</sup> ].....	58
Gráfico 2 - Radiação Anual Incidente na Janela do 5º Andar do Edifício Lausanne, fachada Norte .....	58
Gráfico 3 – Radiação Anual Incidente na Fachada Norte (Louveira Bloco A), em [kW/m <sup>2</sup> ] .....	70
Gráfico 4 - Radiação Anual Incidente na Fachada Leste [kW/m <sup>2</sup> ].....	83
Gráfico 5 - Radiação Anual Incidente na janela central do 8º andar do Edifício Juriti, fachada Leste .....	83

## Sumário

Resumo .....	4
Justificativa .....	18
Objetivos .....	19
Objetivo geral:.....	19
Objetivos específicos: .....	19
Método .....	20
Revisão Sistemática da Literatura .....	22
Benchmarking .....	28
Edifício Consórcio Santiago.....	28
Edifício Albina.....	29
Hongkong and Shanghai Bank Headquarters .....	30
Ampliação da Escola Teresianas-Ganduxer .....	31
Sistema LightLouver.....	32
Brises e cortinas: Hunter Douglas.....	34
Estudos de Caso.....	36
Pertinência da realização de estudos de caso .....	36
Contextualização, levantamento e seleção dos estudos de caso.....	36
Edifício Lausanne.....	41
Edifício Louveira .....	42
Edifício Juriti .....	43
Simulações: Premissas, modelos e valores de referência .....	45
Escopo da análise.....	45
Carta Solar e Heatmap de São Paulo.....	45
Radiação .....	47
Iluminância, fator de luz diurna e ofuscamento .....	48
Mascaramento.....	51
Valores de referência adotados .....	52
Simulações: Lausanne.....	54
Base arquitetônica e urbanística utilizada.....	54
Configurações das Simulações.....	57
Radiação .....	58

Mascaramento.....	60
Iluminância.....	62
Fator de Luz Diurna (FLD).....	65
Ofuscamento .....	65
<b>Simulações: Louveira.....</b>	<b>67</b>
Base arquitetônica e urbanística utilizada.....	67
Configurações das Simulações.....	69
Radiação .....	70
Mascaramento.....	72
Iluminância.....	74
Fator de Luz Diurna.....	77
Ofuscamento .....	77
<b>Simulações: Juriti.....</b>	<b>79</b>
Configurações das Simulações.....	82
Radiação .....	83
Modelo e mascaramento .....	85
Radiação .....	87
Fator de Luz Diurna.....	90
Ofuscamento .....	91
<b>Análise das simulações e requisitos de design.....</b>	<b>92</b>
<b>Concepção do produto .....</b>	<b>94</b>
Protótipo parametrizado: grasshopper .....	96
Escolha de materiais .....	100
Protótipo físico 1: elementos articulados .....	102
Protótipo físico 2: avaliação do desempenho aletas móveis .....	106
Validação: Heliodon .....	108
Aletas verticais.....	112
<b>Design final e modelo BIM.....</b>	<b>118</b>
Família 1: aleta básica.....	118
Família 2: aleta rotacionada.....	119
Família 3: <i>array</i> de aletas.....	120
Família 4: eixos e grid de aletas.....	121

Família 5: painel.....	121
Família 6: componente final - portas deslizantes .....	122
Simulações do produto final: .....	132
Base arquitetônica e urbanística utilizada.....	132
Proposta de aplicação do sistema .....	135
Configurações das Simulações.....	139
Radiação .....	141
Iluminância .....	142
Ofuscamento .....	145
Discussão .....	147
Conclusões e perspectivas .....	148

## Justificativa

O conforto em edificações corresponde a uma das grandes áreas de atuação do arquiteto e urbanista e é determinante para um desempenho satisfatório do conjunto edificado ao longo de sua vida útil (CAU/BR N21, NBR15575:2021). Além disso, as questões relacionadas ao clima e ao impacto ambiental decorrentes das atividades ligadas à construção civil e a cidade são primordiais dada a crise ambiental e climática, reiterada pelo Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publicado em 2018. De acordo com o relatório, estima-se que houve um aumento de cerca de 1,0°C na temperatura global devido à atividade antrópica em relação aos níveis pré-industriais. Projeta-se, ainda, que esse aumento atinja cerca de 1,5 °C entre 2030 e 2052 (PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, 2018, p. 7). Para minimizar esses efeitos, o relatório estabelece uma relação de Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) com diretrizes para elaboração de políticas para redução de emissão de gases do efeito estufa. Dentre os objetivos indicados pelo relatório, o ODS 11 diz respeito a cidades e comunidades sustentáveis, relacionando diretamente a mitigação dos efeitos do aquecimento global com o ambiente construído.

Sob essa perspectiva, a arquitetura bioclimática visa construções energeticamente mais eficientes ao considerar o ambiente em que ela está inserida e a adoção de estratégias passivas de aproveitamento de luz solar, tanto para o resfriamento quanto para o aquecimento, de forma a atingir o conforto (MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015, p. 737, tradução própria). Tendo em vista que “cerca de 70% do uso final de energia nas edificações seja destinado ao consumo com sistemas de condicionamento de ar e iluminação artificial” (RUPP *et. al*, 2015 apud LODETE BILÉSIMO, ARNS RAMPINELLI, MARCELLINO, 2018, p. 1), o melhor aproveitamento da iluminação natural e o uso de estratégias de controle de temperatura que dispensam ou minimizam o uso de sistemas de ar-condicionado são significativos para o aumento de sua eficiência.

## Objetivos

### Objetivo geral:

Conceber e projetar um sistema de controle e distribuição otimizado para climas tropicais utilizando como referência São Paulo-SP.

### Objetivos específicos:

1. Aprofundamento dos conhecimentos obtidos nas disciplinas obrigatórias da graduação ligadas ao conforto ambiental em edificações;
2. Estudo do envoltório das edificações do ponto de vista térmico e lumínico, com ênfase no impacto da escolha de materiais e configurações geométricas no desempenho dos elementos arquitetônicos;
3. Concepção e projeto, a partir dos requisitos identificados a partir da análise dos modelos e testes realizados, de um elemento arquitetônico otimizado para o clima tropical, através de desenhos técnicos e execução de protótipos;
4. Validação da solução concebida por meio de simulações computacionais e da realização de protótipos e testes físicos.

## Método

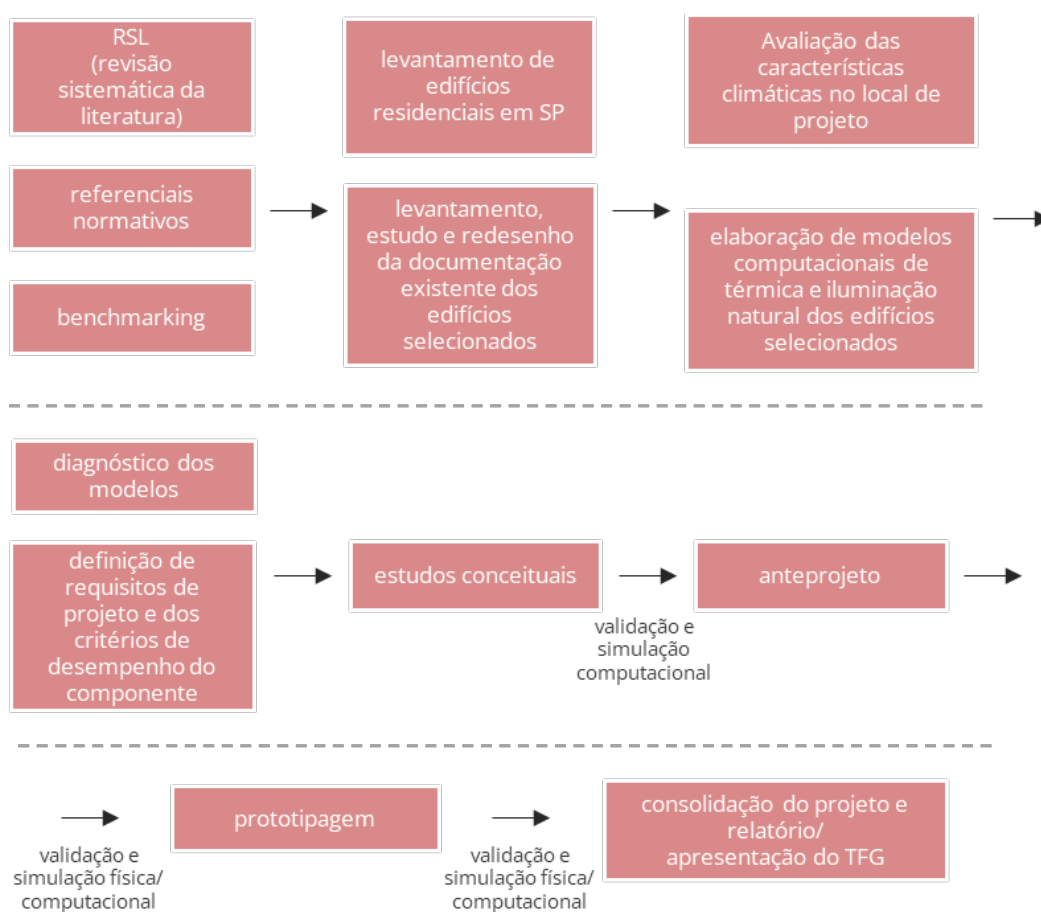


Figura 1 - Fluxograma de trabalho

Tendo em vista o método apresentado acima, o estudo será fundamentado por procedimentos de Revisão Sistemática da Literatura (RSL), consulta aos referenciais normativos (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, 2021b, a; ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/ ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ CIE - INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION, 2013), bem como realização de *benchmarking* para estudo de boas soluções existentes para elementos de fachada semelhantes.

É importante ressaltar, ainda, que o projeto será concebido baseado em evidências, estratégia sintetizada pelo conceito de *Evidence Based Design* (EBD). Segundo o *Center for Health Design*, o EBD consiste em basear a tomada de decisões de projeto segundo pesquisas confiáveis, a fim de otimizar a qualidade do ambiente construído (“About EBD | The Center for Health Design,” [S.d.], tradução própria).

Dessa forma, para melhor compreensão dos requisitos de desempenho do elemento de fachada a ser concebido, foram realizados três estudos de casos de edifícios residenciais selecionados em São Paulo – SP. As evidências foram coletadas por meio da elaboração de modelos e estudos contendo informações relevantes para a análise de desempenho térmico e lumínico, os quais foram aprimorados iterativamente ao longo do processo de desenvolvimento do trabalho e interpretados criticamente.

Dentre as ferramentas que poderão ser utilizadas com esse objetivo estão os programas e *plug-ins* para a realização de cálculos de desempenho ambiental utilizando o programa Rhinoceros (Robert McNeel & Associates, disponível em: <<https://www.rhino3d.com>>, acesso em 23 ago. 2021): ClimateStudio (Solemma LLC., disponível em: <<https://www.solemma.com>>, acesso em 23 ago. 2021) e Honeybee e Ladybug (Ladybug Tools LLC., disponível em: <<https://www.ladybug.tools>>, acesso em 23 ago. 2021), que serão adotados de acordo com a especificidade dos modelos.

## Revisão Sistemática da Literatura

Segundo Frota e Schiffer (2003, p. 17), uma das funções da arquitetura é “oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios”, ao mesmo tempo em que a intervenção humana, “expressa no ato de construir suas cidades, altera as condições climáticas externas”. Dentro dessa concepção, projetar edificações levando em conta como elas se relacionam o ambiente externo, requer “o conhecimento do clima, (...) dos mecanismos de trocas de calor e do comportamento térmico dos materiais”. De posse desses conceitos, possibilita-se a concepção da edificação atenuando os efeitos indesejáveis e potencializando as vantagens do clima local.

Sob essa perspectiva, os irmãos Victor Olgyay (1910-1970) e Aladar Olgyay (1910-1963), dois dos primeiros arquitetos a pensar o ambiente construído segundo uma abordagem bioclimática, verificaram essa ligação da arquitetura com o ambiente no qual ela está inserida. Eles ressaltam que as paredes de fachada evoluíram de tal forma a constituir “filtros” entre os ambientes interno e externo, cuja expressão visual resulta não apenas de necessidades objetivas, mas também de manifestações subjetivas. Assim, esses dois fatores foram historicamente combinados de modo a compor distintas expressões formais, conforme as “ondas de aspirações humanas” (OLGYAY, OLGYAY, 1957, p. 3, tradução própria).

Além disso, em *Solar Control e Shading Devices*, Olgyay & Olgyay também discorrem que o aprofundamento do conhecimento dos fenômenos da natureza induz mudanças na produção arquitetônica, combinado à criação de novas tecnologias e materiais, à imposição de novas questões pelas ciências sociais e à evolução do pensamento estético.

Em particular, as paredes são usadas na obra para exemplificar esse processo. Ainda que sua função dupla como elemento portante e de barreira esteja fortemente atrelado a esse componente, o avanço da engenharia estrutural viabilizou, por exemplo, a adoção de um sistema para o suporte de cargas independente das vedações. Dessa forma, pensar a “pele” separada do “esqueleto” (OLGYAY, OLGYAY, 1957, p. 6) permite adotar sistemas construtivos com maior liberdade e de forma a atender demandas específicas separadamente. Ainda sobre o estudo dos elementos de fachada, os dois autores categorizam de forma sintética os diferentes tipos usuais de elementos de controle de luz diurna segundo geometria, a seguir: *curtain wall* (muro cortina), *horizontal device*, *solid or louvered* (placa horizontal, sólida ou segmentada), *vertical fin* (placa vertical), *vertical movable* (placa vertical móvel), *fixed eggcrate* (grelha fixa) e *movable eggcrate* (grelha móvel). Em resumo, pode-se combinar dispositivos horizontais e verticais, móveis ou fixos, de tal sorte que a luz incidente na abertura seja controlada.

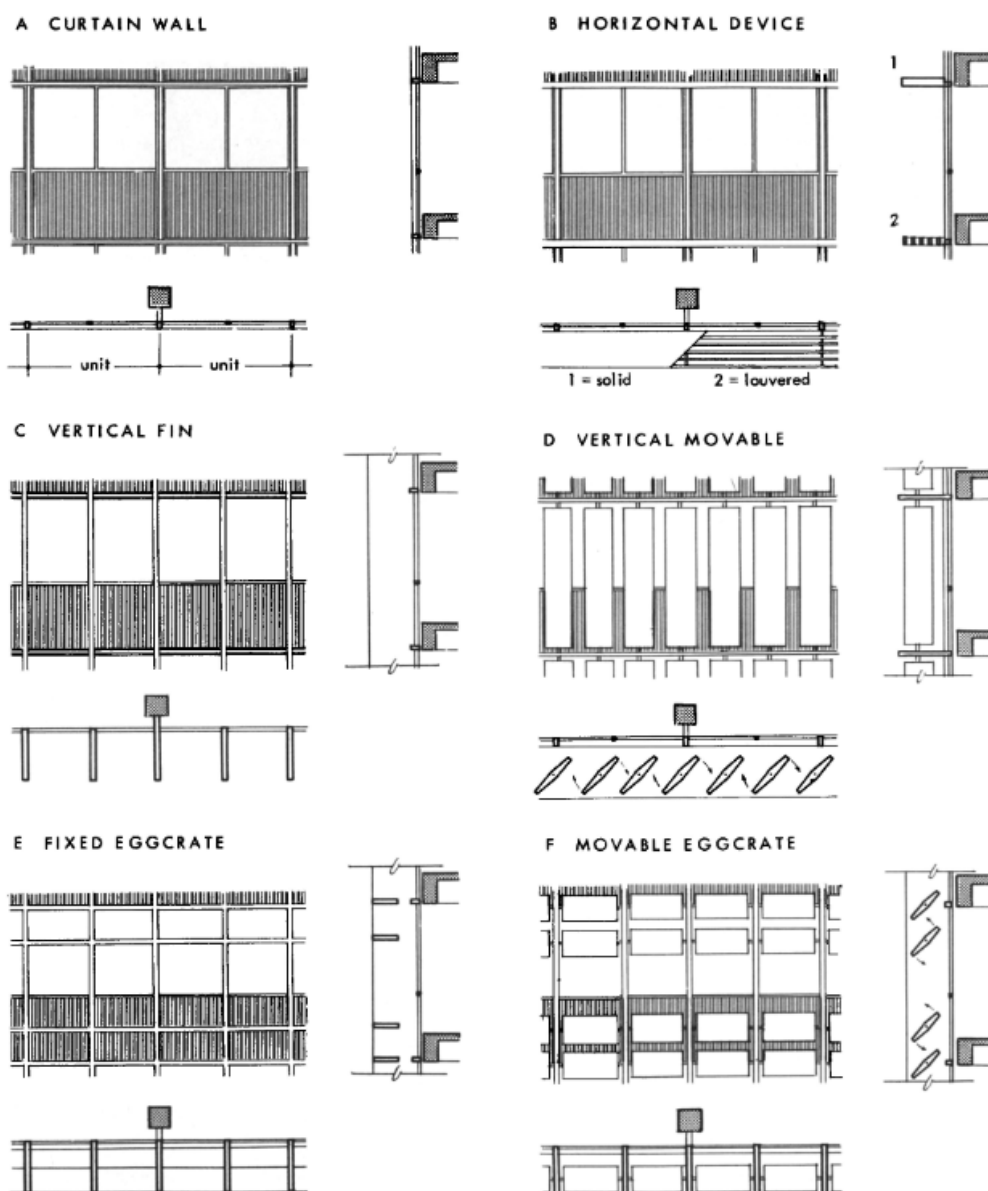


Figura 2 - Tipos usuais de placas solares (OLGYAY, 2015)

Tradicionalmente, é possível dimensionar os dispositivos de proteção por meio do método gráfico, como descrito por Frota e Schiffer (2003). Através deste método, obtém-se os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  sobre a carta solar do local em que está localizada a edificação e de acordo com a orientação da abertura, considerando a trajetória solar anual e a obstrução do entorno, a fim de mascarar (área hachurada abaixo) a abertura como se deseja. É possível definir, ainda, um terceiro ângulo no transferidor, referente à vista em elevação da abertura e da placa (Figura 3).

Esses dispositivos, além de constituírem elementos de grande potencial para expressão arquitetônica, possuem como objetivo o controle da radiação solar incidente nas aberturas, a fim de mediar os ganhos térmicos da envoltória e a quantidade de luz diurna disponível. Tendo isso em vista, é importante definir os conceitos de radiação solar e alguns métodos para mensurá-lo para fins projetuais.

A radiação solar constitui um dos principais fatores que interferem nas propriedades climáticas de um local, junto com a “oscilação diária e a anual da temperatura, a umidade relativa, (...) o grau de nebulosidade do céu, a predominância de época e o sentido dos ventos e índices pluviométricos”. Trata-se de

uma “energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera” (FROTA, SCHIFFER, 2003, p. 53).

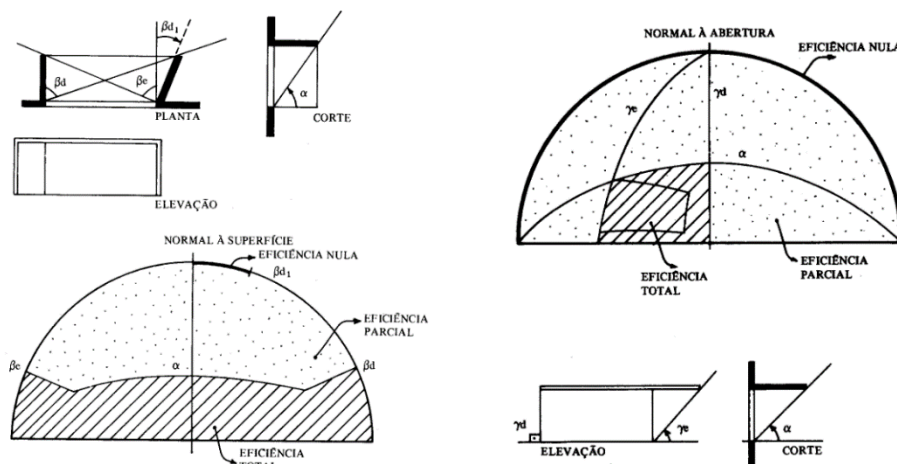


Figura 3 - Associação de Placas Solares e respectivos traçados de mascaramento de Placas Solares e respectivos traçados de mascaramento (FROTA, SCHIFFER, 2003)

Esses dispositivos, além de constituírem elementos de grande potencial para expressão arquitetônica, possuem como objetivo o controle da radiação solar incidente nas aberturas, a fim de mediar os ganhos térmicos da envoltória e a quantidade de luz diurna disponível.

A radiação solar constitui um dos principais fatores que interferem nas propriedades climáticas de um local, junto com a “oscilação diária e a anual da temperatura, a umidade relativa, (...) o grau de nebulosidade do céu, a predominância de época e o sentido dos ventos e índices pluviométricos”. Trata-se de uma “energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera” (FROTA, SCHIFFER, 2003, p. 53).

Um método exposto por (OLGYAY, OLGYAY, 1957, p. 57) quantifica esse fenômeno levando em consideração a contribuição direta e indireta da radiação solar, sendo esta última responsável por uma parcela menor dos ganhos térmicos, ambas a saber:

$$I_T = I_D + I_a$$

$$I_D = k \cdot I_{Dn}$$

$$k = \cos \beta \cdot \cos \gamma$$

*Equação 1 - Método para cálculo da radiação incidente*

Sendo  $I_T$  a radiação total,  $I_D$  a radiação direta,  $I_a$  a radiação difusa (dada como porcentagem de  $I_D$ , segundo condições de céu),  $\beta$  e  $\gamma$  a altitude e o azimuth solares e  $I_{Dn}$  a intensidade de radiação solar direta sobre plano normal, obtida empiricamente para determinadas latitude e longitude. Em (OLGYAY, OLGYAY, 1957), a radiação é dada em Btu/sq. ft./hora, enquanto no sistema internacional (SI) é usual expressar  $I_T$  em W/m<sup>2</sup>. Para fins de engenharia, é comum encontrar dados tabelados para esse cálculo a fim de simplificar os procedimentos de cálculo e dimensionamento. Outras formas de representação podem ser adotadas, a exemplo das calculadoras de radiação, nas quais é possível obter esse valor para um dado momento segundo ângulo de incidência e altura, a seguir.

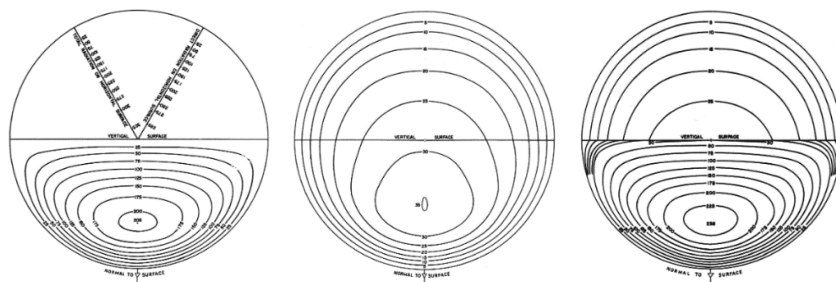


Figura 4 - Calculadoras de Radiação Direta, Indireta e Total, respectivamente (OLGYAY, 2015)

Ainda em relação a luz solar, alguns conceitos são úteis para avaliação sua qualidade em um ambiente interno. Para efeitos deste estudo, serão utilizados a definição de Coeficiente de Luz Diurna (CLD) e a Iluminância Diurna Útil (IDU).

Segundo (TREGENZA, LOE, 2015, p. 64), o coeficiente de luz diurna ( $D$ ) corresponde à “razão entre a quantidade de luz em um cômodo e a iluminância no solo exterior sob um Céu Encoberto do CIE” (75 a 100% de cobertura de nuvens), mais especificamente:

$$D = \frac{E_i}{E_{dh}} \times 100\%$$

Equação 2 – Cálculo do Coeficiente de Luz Diurna

Sendo o  $E_i$  a iluminância de uma das superfícies do ambiente analisado e  $E_{dh}$  a iluminância simultânea de todo céu. Ele pode ser analisado como CLD médio  $\bar{D}$  em uma determina área ou em um ponto. Assim, é possível calcular a iluminação diurna ao longo de um ano, de modo a obter “o número de horas [nesse período de tempo] no qual a iluminância interna em virtude da luz diurna fica dentro da faixa de 1000 a 2000 lux” (TREGENZA, LOE, 2015, p. 65).

Além desses dois índices, o ofuscamento será considerado como fator de avaliação da qualidade da luz solar incidente no ambiente analisado. Trata-se de um desconforto causado por uma fonte de luz intensa no campo de visão (TREGENZA, LOE, 2015, p. 113). Ainda segundo Tregenza e Loe, a magnitude desse efeito depende sobretudo:

- da luminância da fonte do brilho ( $L_s$ )
- da luminância do pano de fundo do brilho ( $L_b$ )
- o tamanho da fonte do brilho (medido em um ângulo sólido de  $\omega$  estereorradianos do observador)
- a posição da fonte em relação ao observador (dada pelo índice de posicionamento  $p$ )

Para fontes pequenas, o grau de desconforto é mensurado pela Classificação de Ofuscamento Unificado (UGR) do CIE, dado por

$$UGR = 8 \log \left[ \frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \right]$$

Equação 3 - Grau de desconforto por ofuscamento (UGR)

Esse índice é proporcional ao aumento do desconforto, sendo que UGRs menores que 10 correspondem a níveis de brilho imperceptíveis, enquanto valores acima de 28 indicam situações intoleráveis.

De forma geral, os métodos anteriormente descritos constituem ferramentas gráficas e quantitativas que fornecem análises concisas dos fenômenos ligados à luz diurna. Entretanto, com o advento do

computador, viabilizou-se a aplicação de métodos computacionais em que se são necessários rápidos tempos de processamento. No caso da luz diurna, os métodos da radiosidade, isto é, a divisão das superfícies que emitem e recebem luz em uma grande quantidade de pontos, e do traçado dos raios luminosos, o qual simula a emissão, trajetória, reflexão e absorção desses raios (TREGENZA, LOE, 2015, p. 72), são amplamente empregados em simulações computacionais.

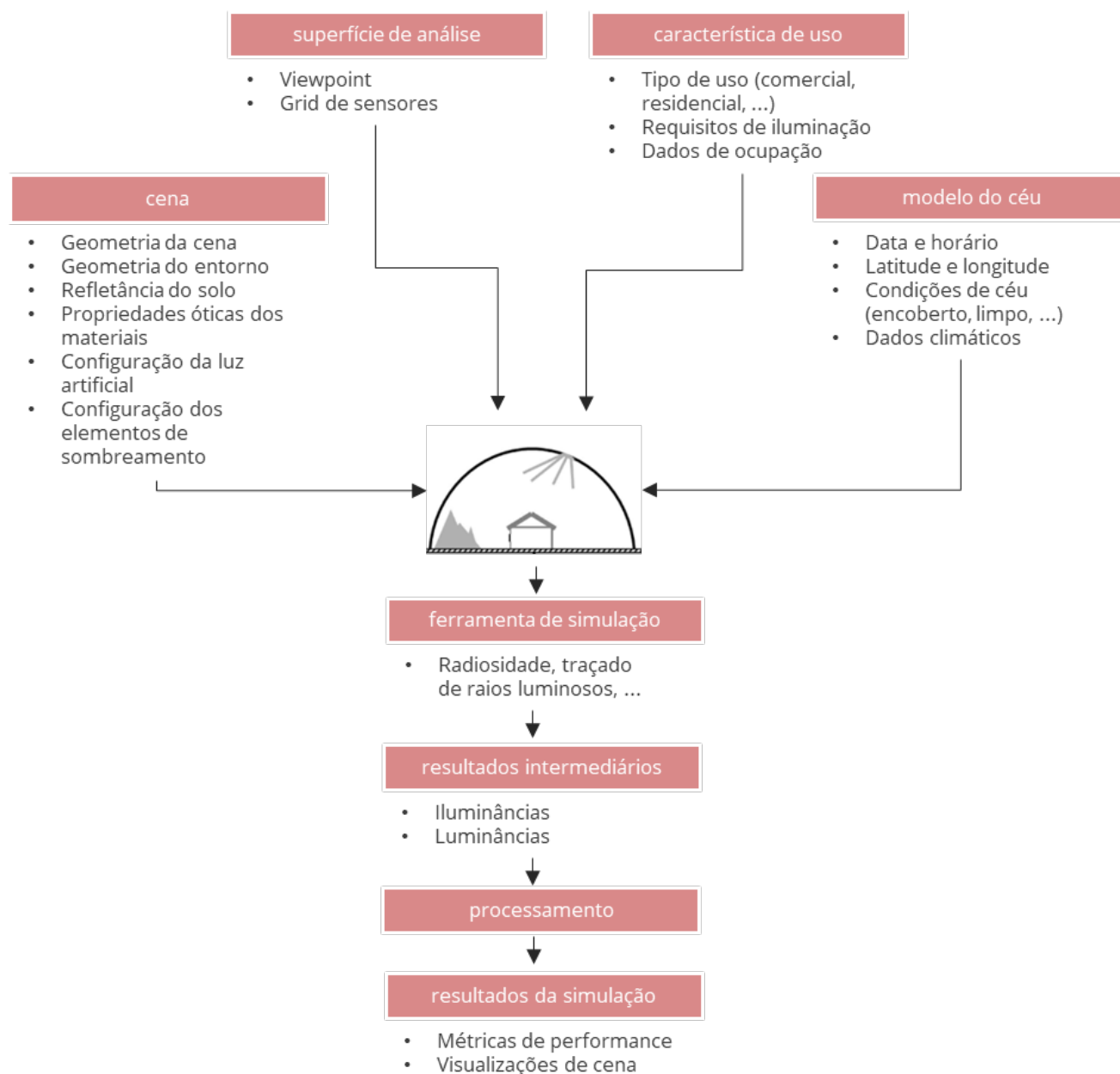


Figura 5 - Procedimentos para simulação computacional de luz diurna  
(Adaptado de REINHART, 2019, tradução própria)

Tendo isso em vista, em *Building Performance Simulation for Design and Operation (2019)*, Reinhart sintetiza o fluxo de uma simulação computacional para luz diurna na Figura 5.

Para utilização desse método, é preciso dispor de um arquivo climático. Atualmente, são comumente utilizados os formatos TMY3 e EPW, formatos compatíveis com *softwares* de planilha que contém metadados com informações hora a hora de anos típicos para locais especificados (CRAWLEY, BARNABY, 2019). Esse tipo de base de dados contém informações necessárias para simulações de desempenho, como temperaturas de bulbo seco, temperaturas de bulbo úmido, radiações solares direta sobre plano normal e difusa, velocidade e direção dos ventos, opacidade do céu, entre outros parâmetros obtidos empiricamente.

Dessa forma, considerando os objetivos e o escopo deste trabalho, adotou-se a simulação computacional como principal ferramenta de estudo, ainda que os conceitos anteriormente descritos sejam imprescindíveis para fundamentar e possibilitar a interpretação dos resultados obtidos.

## Benchmarking

A fim de nortear possíveis abordagens para o design de elementos de sombreamento, pesquisou-se referências a fim de identificar boas práticas de projeto. Dentre as opções examinadas, destacam-se algumas soluções notáveis:

### Edifício Consórcio Santiago

A cidade de Santiago no Chile está localizada em uma região da América Latina onde há altos índices de radiação solar e, por isso, a adoção de elementos de sombreamento nas fachadas de seus edifícios é uma estratégia recorrente para contornar os seus efeitos prejudiciais. Em particular, o Edifício Consórcio Santiago, cuja autoria do projeto arquitetônico é de Enrique Browne e Borja Huidobro, se destaca devido à incorporação do ciclo de vida vegetal no controle da sua temperatura e radiação solar incidente. Dessa forma, foi concebido um sistema de fachada duplo, em que a “pele externa” das faces Oeste e Norte são constituídas por um jardim vertical, o qual possui a vantagem de se adensar durante o verão, estação em que os índices de absorção solares se tornam mais críticos. Em contrapartida, durante o inverno, a cobertura vegetal murcha, permitindo a entrada dos raios solares. Trata-se de uma solução notável em que se articula o ciclo de crescimento da vegetação com as demandas do ambiente construído ao longo do ano.



Figura 6- Vista da fachada Oeste durante o verão  
(FOTO: SAIEH, 2009)

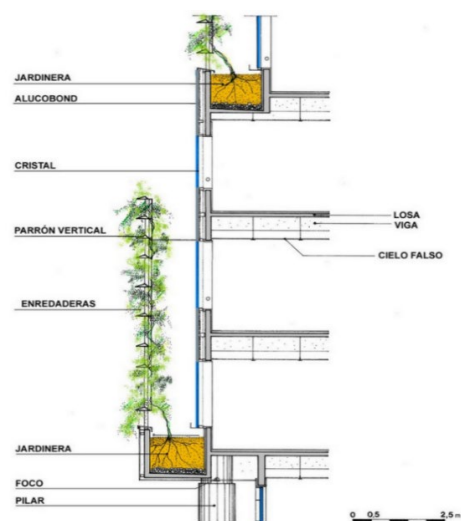
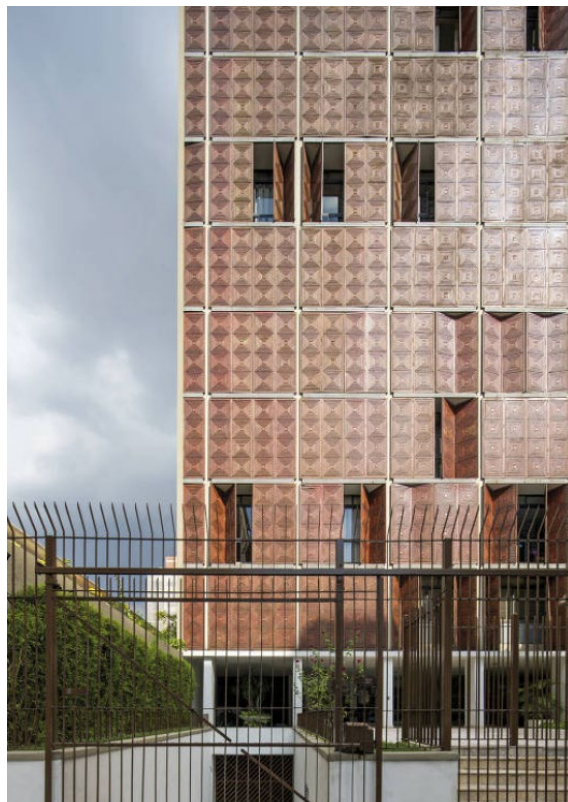


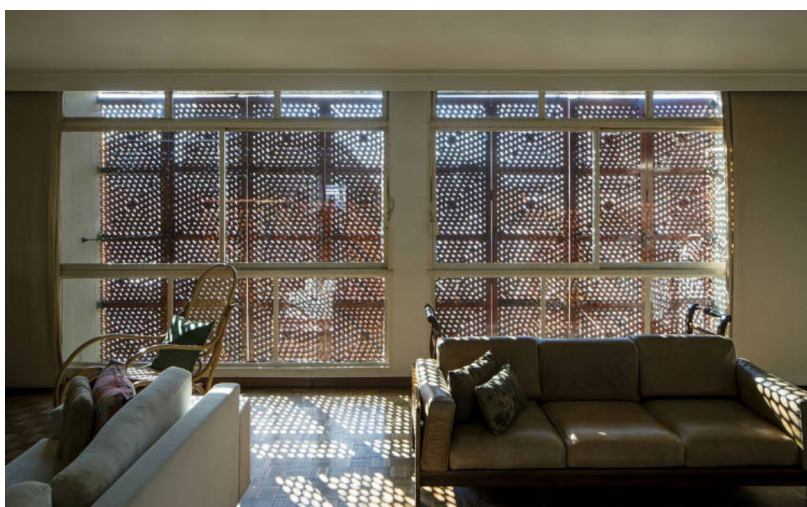
Figura 7- Corte esquemático do sistema de fachada  
dupla (FOTO: BROWNE E HUIDOBRO)

## Edifício Albina

Localizado no bairro de Santa Cecília (São Paulo-SP), o Edifício Albina foi projetado pelo escritório de arquitetura Botti Rubin em 1962 e se destaca pela qualidade arquitetônica concedida ao conjunto edificado pelo elemento de sombreamento. Sua fachada Oeste conta com “venezianas de madeira dobráveis, presas por dobradiças, correndo num trilho-guia que possui em sua parte superior um sistema de roldanas destinado a facilitar o funcionamento” (“Revista Acrópole,” [S.d.]). Trata-se de uma solução que filtra a luz solar, contribuindo assim para a qualidade do ambiente interno, ao mesmo tempo em que permite a sua entrada quando necessário ou desejado. Além disso, a possibilidade de regulação confere dinamismo à fachada, além de ser distinguível do ponto de vista arquitetônico.



*Figura 8 - Vista da Fachada Oeste do Edifício Albina  
(FOTO: FINOTTI, 2017)*



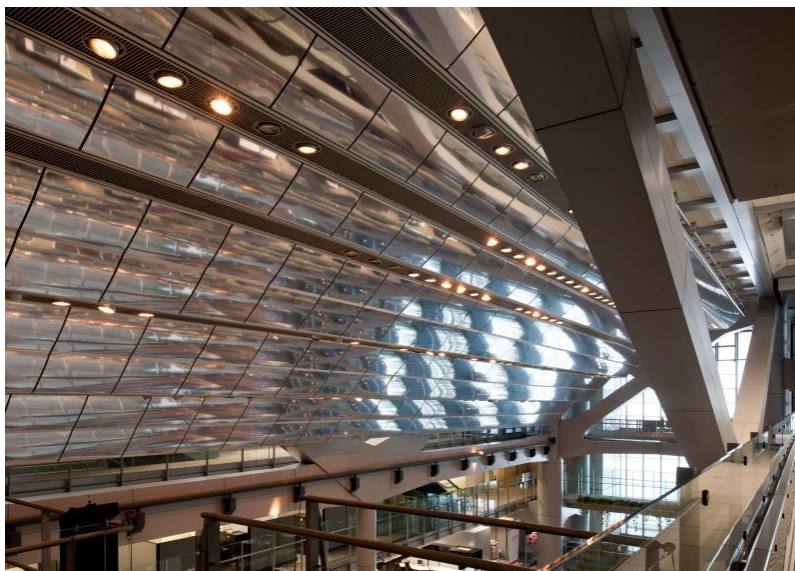
*Figura 9 - Vista do interior da unidade do Edifício Albina (FOTO: FINOTTI, 2017)*

## Hongkong and Shanghai Bank Headquarters

Com projeto de arquitetura assinado pelo escritório Foster + Partners, a sede do banco HSBC, concluída em 1986, possui uma solução interessante do ponto de vista de espalhamento de luz diurna para o interior do edifício. Localizado em uma região densamente construída de Hong Kong, o edifício é equipado com elementos de fachada (Figura 10) que refletem a luz solar incidente para o átrio central do edifício (Figura 11), de forma a redirecionar os raios de luz e promover seu melhor aproveitamento e distribuição. Além dos elementos externos, há dispositivos com altos índices de refletância também em seu interior, potencializando esse efeito.



*Figura 10 - Vista do elemento externo de reflexão durante a construção (ADEY, 2020)*



*Figura 11 - Elementos com alta refletância no interior do átrio central (ADEY, 2020)*

## Ampliação da Escola Teresianas-Ganduxer

Construída em 2014, o projeto de ampliação da Escola Teresianas-Ganduxer consistiu em uma intervenção em torno da sede original da escola, um dos primeiros edifícios de autoria de Gaudí em Barcelona, datado de 1888. Além disso, possuía como partido arquitetônico a minimização do impacto ambiental e do consumo energético. Como resposta, o escritório PichArchitects concebeu um edifício que permite a entrada e distribuição da luz solar no interior da escola por meio de um átrio central, ao mesmo tempo em que trata as fachadas com a adoção de lajotas cerâmicas que amenizam o ganho solar da envoltória. A seguir, é possível conferir um esquema da dinâmica de conforto ambiental elaborados pelo escritório de arquitetura, bem como a vista da ampliação junto ao conjunto edificado de Gaudí.

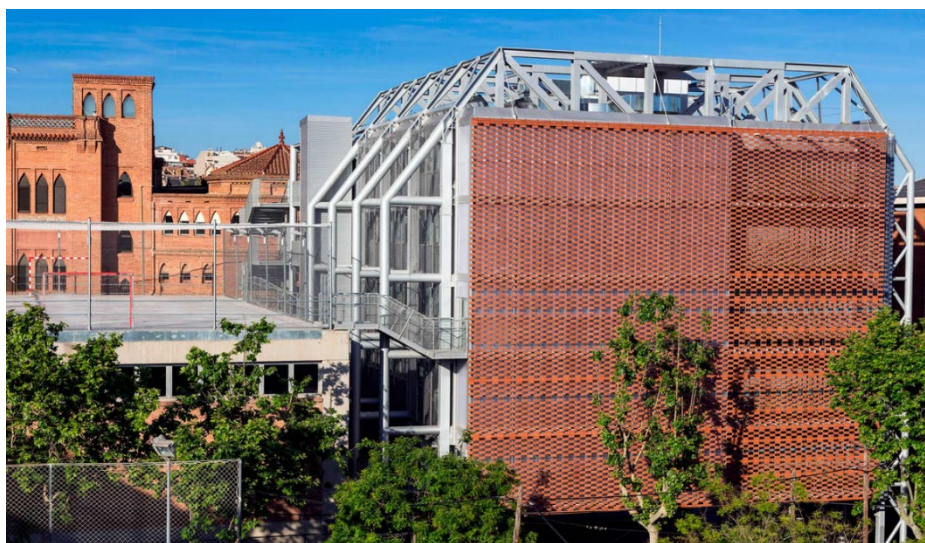


Figura 12 - Vista da ampliação da escola e o conjunto de Gaudí ao fundo (FOTO: GARCÍA, [S.d.])

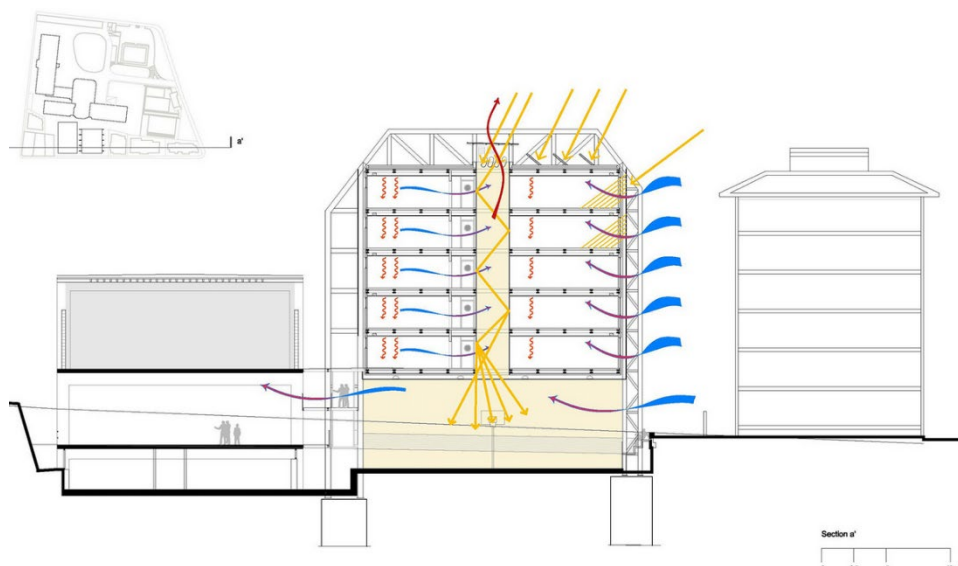


Figura 13 - Esquema dos mecanismos de regulação do conforto térmico (FOTO: GARCÍA, [S.d.])

## Sistema LightLouver

A LightLouver: Daylight System é uma empresa americana que desenvolve soluções visando o maior aproveitamento da luz solar em ambientes internos, em particular para ambientes comerciais. De acordo com o website da organização, seus objetivos incluem o cumprimento de requisitos de iluminação dos espaços ao mesmo tempo em que se mantêm o conforto visual e o controle de luz solar.

Dentro dessa perspectiva, o sistema fornecido pela empresa propõe a divisão da janela em duas partes: superior e inferior. Enquanto a inferior conta o tratamento usual para janelas, a seção superior recebe o sistema LightLouver, que conta com uma geometria e tratamento de superfície projetados para rebater a luz externa incidente para o forro. Assim, há uma contribuição para a iluminação do interior sem gerar desconforto no plano de trabalho, conforme as imagens a seguir:

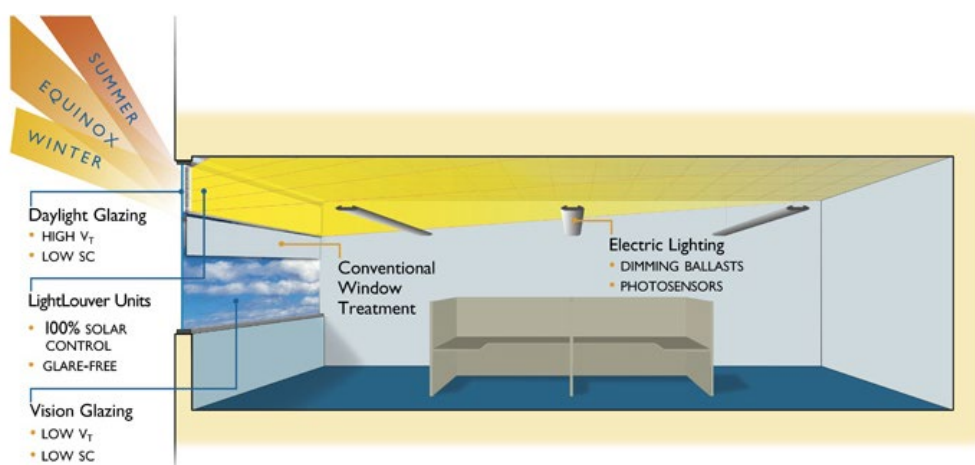


Figura 14 - Esquema do funcionamento do sistema LightLouver  
Disponível em: <https://bit.ly/3yz79Oc>. Acesso em 10/05/22

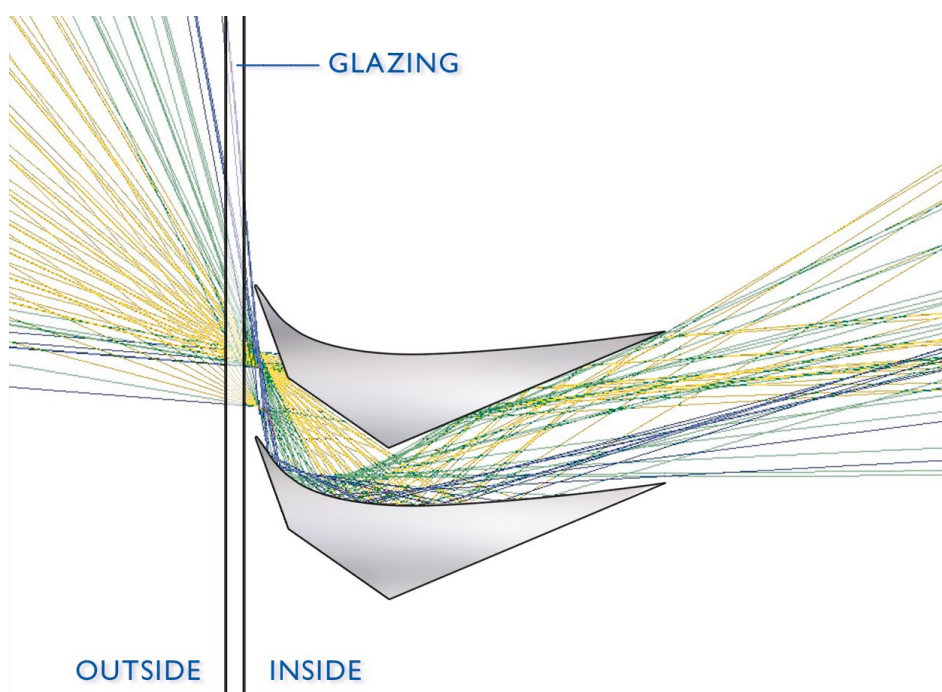


Figura 15 - Geometria da aleta do sistema LightLouver  
Disponível em: <https://bit.ly/3yz79Oc>. Acesso em 10/05/22



Figura 16 - Exemplo de aplicação do sistema LightLouver, no Xilinx Development Center Longmont, Colorado.  
Disponível em <https://bit.ly/30XLZQT>. Acesso em: 10/05/2022

Além do estudo do conceito do sistema, também foram observados os materiais e tratamentos de superfície utilizados nas aletas disponibilizados pela empresa, as quais serviram de referência para materiais utilizados nesse tipo de solução:

**Superfícies Reflexivas:**

- Refletância Total (Nominal) -- 85%
- Refletância de Imagem Direta, Especular (Nominal) -- 84%

**Superfícies não reflexivas:**

- Refletância Total (Nominal) -- Menos de 40%
- Refletância de Imagem Direta, Especular (Nominal) -- Menos de 5%

Tabela 1 - Características indicadas pela empresa LightLouver para as superfícies das aletas do sistema.  
Extraído de LightLouver TM Daylighting System, 2011). Tradução Própria.

## Brises e cortinas: Hunter Douglas

Como parte da pesquisa de *benchmarking*, foi realizada uma visita ao escritório da Hunter Douglas em São Paulo-SP. Dentre as soluções apresentados pela empresa para arquitetura e interiores, os produtos específicos para controle de iluminação solar se destacaram para efeitos desta pesquisa.

O modelo de cortina Duette (Figura 17), por ser um elemento a ser aplicado no interior do ambiente, não atua impedindo ganhos térmicos devido à radiação (que já penetrou o ambiente através da janela quando o atinge), mas contribui para o conforto térmico na medida em que a colmeia central atua como um “colchão de ar” isolante. Isso contribui tanto para o conforto térmico (restringindo o ar aquecido entre a cortina e a esquadria) quanto para o conforto acústico. Do ponto de vista de conforto visual, ele conta com quatro camadas de tecido que podem ser combinadas de forma a atender os requisitos do ambiente. Na foto abaixo, por exemplo, as camadas externas possuem dois acabamentos diferentes, enquanto as camadas internas são tecidos do tipo *blackout* para bloqueio de luz externa.

A modelo Silhouette (Figura 19) também tira proveito da possibilidade de combinar propriedades de diferentes tecidos. As telas de poliéster, que conectam as lâminas da cortina, permitem a visibilidade externa, enquanto essas lâminas mais densas podem ser inclinadas de acordo com o ângulo desejado de modo a regular a entrada de luz e o nível de privacidade desejado.

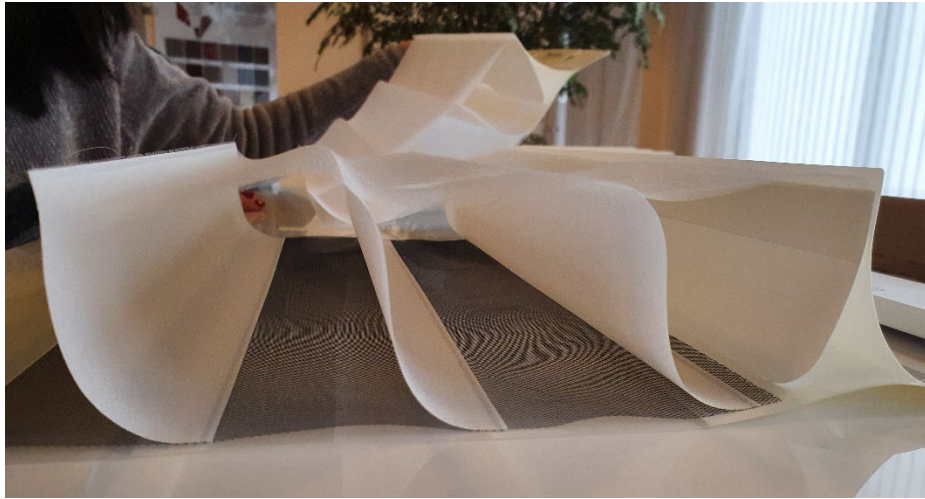
Além das cortinas, também foram observados os elementos arquitetônicos, a exemplo do brise instalado internamente como divisória (Figura 18), cujo ângulo das aletas pode ser regulado e utilizado para bloqueio dos raios solares, impedindo ganhos solares do envoltório do edifício.



Figura 17 - Cortina Duette. Foto da autora



Figura 18 - Exemplo de aplicação de um brise horizontal como divisória interna. Foto da autora



*Figura 19 - Cortina Silhouette. Foto da autora*



*Figura 20 - Mostruário das soluções de interiores da Hunter Douglas. Foto da autora*

## Estudos de Caso

### Pertinência da realização de estudos de caso

Em *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (2017), Robert Yin classifica os diferentes métodos de pesquisa em pesquisas de campo, documentais, experimentais, históricas e estudos de caso. É importante ressaltar que, para uma mesma questão a ser estudada, mais de um desses métodos podem ser aplicados e essas estratégias são complementares entre si.

De forma sintética, para Yin (2017, p. 46) tanto a pesquisa de campo quanto a análise documental se adequam a pesquisas em que se busca descrever a incidência e/ou prevalência de um evento sob uma perspectiva quantitativa. Por outro lado, para questões explanatórias, em que se deseja explicar e compreender a origem e/ou mecanismos ligados a algum fenômeno, os demais métodos podem se mostrar mais favoráveis, a saber: as pesquisas históricas, experimentais e estudos de caso.

Considerando o objetivo da primeira etapa deste estudo, isto é, levantar *quais os requisitos para o bom desempenho térmico e luminoso de um dispositivo de controle e distribuição solar em São Paulo – SP*, a adoção do estudo de caso como método predominante foi considerado adequado, uma vez que corresponde a uma questão contemporânea e que busca compreender os fenômenos de forma agregada em um ambiente não controlado.

Dessa forma, um número de três estudos de caso foi estabelecido, o qual foi dimensionado de forma que seja compatível ao escopo e à abrangência deste trabalho. É importante ressaltar que, em um espaço amostral restrito, o principal objetivo é estabelecer uma base analítica, e não uma generalização estatística (YIN, 2017, p. 58), a fim de compreender aspectos específicos do assunto abordado.

Assim, estabeleceu-se que os edifícios construídos selecionados serão modelados digitalmente segundo levantamentos documentais e critérios preestabelecidos, analisados segundo parâmetros que habilitem a compreensão de seu desempenho térmico e disponibilidade e qualidade de luz diurna em seu interior. O resultado esperado é, pois, a obtenção subsídios para a concepção do elemento de fachada pretendido.

### Contextualização, levantamento e seleção dos estudos de caso

Para a seleção dos três estudos de caso, foi realizada uma primeira etapa de levantamento de projetos de edifícios de múltiplos andares em São Paulo - SP. A priori, optou-se pela tipologia residencial, uma vez que ela acomoda uma maior variedade de usos em relação à edificação comercial. Além desses requisitos, foram delimitados alguns critérios adicionais para que fosse possível estabelecer uma base de comparação adequada entre eles:

1. Os projetos devem estar bem documentados e acessíveis a fim de viabilizar a execução dos modelos;
2. Os edifícios devem possuir sistemas construtivos semelhantes e de preferência devem pertencer ao mesmo período histórico;
3. As alturas de pé-direito devem ser semelhantes;
4. As respectivas tipologias devem ser similares.



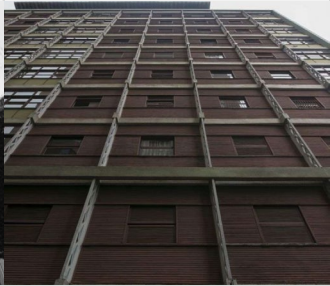
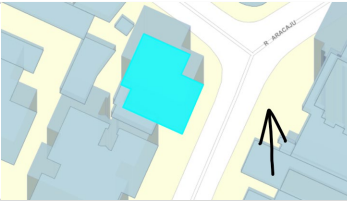


A priori, o acervo digitalizado da biblioteca da FAUUSP, aliado a materiais disponíveis online, foram as principais fontes desse levantamento.

De forma geral, os projetos pertencentes ao período de 1940 a 1975 constituíram a maioria do conteúdo disponível. De fato, foi um momento prolífico da produção arquitetônica paulistana, uma vez que correspondeu a um período de intensa verticalização na cidade, sobretudo de edifícios residenciais de média e alta renda (SOMEKH, SOUZA, 1994, p. 40) e de consolidação do modernismo no país. Para (SEGAWA, 1998, p. 129), houve, neste período, a afirmação de uma hegemonia arquitetônica modernista, por vezes até banalizada com a assimilação desses traços formais pelo mercado imobiliário e a disseminação do tema arquitetônico em publicações de grande circulação, combinado a um cenário ativo na construção civil em meados do século XX. Isso implicou uma grande demanda por profissionais arquitetos, ligada à consolidação da profissão no Brasil e a regularização de seu ensino (SEGAWA, 1998, p. 130). Assim, eram comuns encomendas de projetos de edifícios residenciais, tanto para o usufruto do cliente quando como investimento no mercado imobiliário paulistano.

Em particular, os edifícios localizados no bairro de Higienópolis corresponderam à parte expressiva do material consultado. De fato, a produção residencial no período foi particularmente intensa– segundo (ZUFFO, 2009, p. 149), “devido a sua localização próxima ao centro e ao antigo prestígio, o bairro de Higienópolis surgia como alvo do assédio da especulação imobiliária e da classe média, ávida por usufruir dos lugares até então privativos à elite”. Esse movimento foi viabilizado pela alteração da dinâmica urbana do bairro, cujos terrenos dos casarões antigos passaram a ser parcelados ou lembrados para dar lugar a edificações de múltiplos pavimentos.

Além da acentuada atividade imobiliária, o conjunto edificado de Higienópolis se destaca também pela sua qualidade arquitetônica. Para (ZUFFO, 2009, p. 160), isso ocorre, essencialmente, por dois motivos: “as interrelações existentes entre os edifícios e seu entorno urbano, herdadas em parte da configuração inicial do bairro; e também da apurada aplicação dos preceitos modernistas nos projetos arquitetônicos”. Para efeitos de levantamento de requisitos para o elemento de fachada a ser projetado, ainda que os sistemas construtivos dessa época (1940 a 1975) possuam, de forma geral, maior inércia térmica quando comparados aos empregados atualmente, a qualidade arquitetônica dos projetos foi considerada prevaiente para a seleção dos estudos de caso. Mesmo assim, as mudanças do padrão de construção ao longo do tempo devem ser levadas em consideração quando projetos de diferentes períodos são comparados.

A seguir está a relação dos edifícios que foram considerados elegíveis para efeitos deste estudo.

	Edifício Arper	Edifício Pernambuco	Edifício Tabafer
			
Arquiteto	David Libeskind	David Libeskind	Vilanova Artigas
Ano	1959-1961	1963	1958
Endereço	R. Pernambuco, 15	R. Pernambuco, 46	R. João Moura, 942
Número de Pavimentos	10	13	9
Gabarito (m)	33	42	33
Sistema Construtivo	Concreto	Concreto	Concreto
Tipo de laje	laje nervurada/laje maciça	laje nervurada/laje maciça	laje maciça
Pé Direito (m)	2.65	2.70	2.70
Área Construída Total	2,900.00	-	2,400.00
Número de Unidades	9	13	16
Área das unidades (m²)	256	260	99
Número de dormitórios	3	3	2
Possui varanda?	Sim, de 13m²	Sim, de 16m²	Não
Orientação			
Material Disponível			
Corte	Sim	Sim	Sim
Fachadas	Sim	Sim	Sim
Plantas	Sim	Sim	Sim
Esquadrias	Apenas material construtivo	Apenas material construtivo	Sim, com desenhos





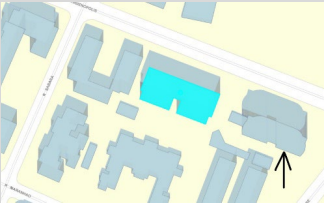

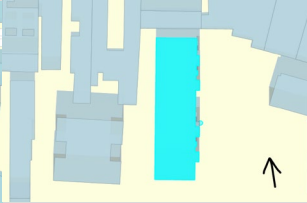

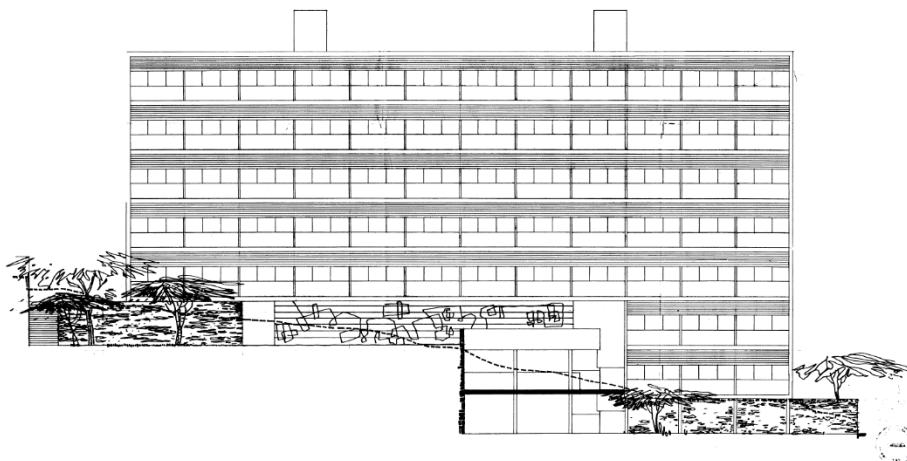
Edifício Lausanne	Edifícios Lugano e Locarno	Edifício Juriti	Edifício Louveira
			
Adolf Franz Heep	Adolf Franz Heep	João Kon	Vilanova Artigas Carlos Cascaldi
1953-1958	1958-1962	1961	1946
Av. Higienópolis, 101	Av. Higienópolis, 324	R. Martinico Prado, 90	Rua Piauí (pça. Vilaboim), n.º 1081
15	13	15	29
50	42	53	29
Concreto	Concreto	Concreto	Concreto
laje maciça/laje nervurada (laje sobre o térreo)	laje maciça/laje nervurada (laje sobre o térreo)	Laje maciça	Laje maciça
2.70	2.80	2.70	3.00
13,959.00	25,224.00	12,516.00	5,400.00
62	78	60	32
133 ou 263	141 ou 170	140 ou 160	150
2 ou 3, respectivamente	3	3	3
Não	Não	Sim, de 3m <sup>2</sup>	Não
			
Sim	Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim	Sim
Sim	Sim	Sim	Sim
Sim, com desenhos	Sim, com desenhos	Sim, com desenhos	Sim, com desenhos

Tabela 2 - Edifícios considerados para os estudos de caso. Produção da autora

A priori, considerando a quantidade e qualidade do material disponível, semelhança de tipologia, da distribuição interna das unidades habitacionais, sistemas construtivos empregados e localização em área urbana densamente ocupada, foram escolhidos os seguintes projetos: o Edifício Juriti, de João Kon, o Edifício Lausanne, de Franz Heep, e o Edifício Tabafer, de Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi.



*Figura 21 - Elevação do Projeto Executivo do Edifício Tabafer (FOTO: ACERVO BIBLIOGRÁFICO FAUUSP)*



*Figura 22 - Fachada as built do Edifício Tabafer, significativamente divergente do projeto executivo (FOTO: MOSSIN, C)*

Entretanto, com análise mais aprofundada deste último projeto, foram constatadas mudanças significativas entre o projeto executivo disponibilizado pelo acervo da biblioteca da FAUUSP e o edifício construído de fato. Em particular, o térreo livre proposto por Artigas não foi executado e as esquadrias diferem das especificadas em projeto e, além disso, estão posicionadas de forma discrepante na fachada principal. Essas mudanças foram consideradas relevantes para efeitos deste estudo e, tendo isso em vista, o estudo do Edifício Tabafer foi substituído pelo do Edifício Louveira, cujo projeto também é de autoria de Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi. Assim como os demais edifícios selecionados (Lausanne e Juriti), o Louveira também possui as características arquitetônicas anteriormente citadas (tipologia, sistema construtivo, localização) integrando uma coerente base de comparação. Dessa forma, a seleção consolidada dos estudos de caso é a seguinte:



### ed. lausanne

franz heep, 1958

av. higienópolis, 101

### ed. louveira

artigas e cascaldi, 1961

praça vilaboim, 144

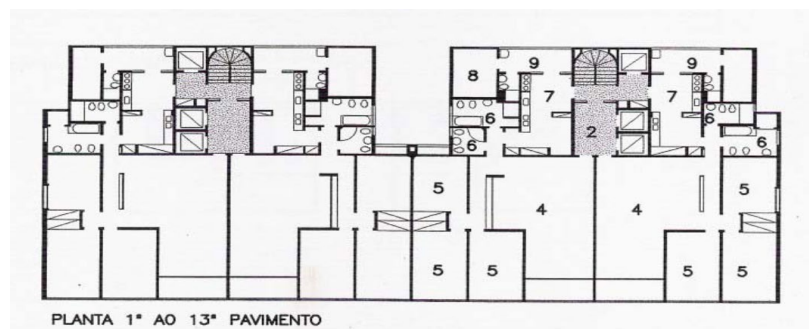
### ed. juriti

joão kon, 1961

r. martinico prado, 90

*Figura 23 - Detalhes das fachadas dos edifícios selecionados (FOTOS: MARCATO, G.; ANTONIO, M; KON, N)*

## Edifício Lausanne



*Figura 24 - Elevação e Planta do pavimento tipo do Edifício Lausanne (BARBOSA, 2018)*



Figura 25 - Edifício Lausanne em 2022. Foto da autora

## Edifício Louveira

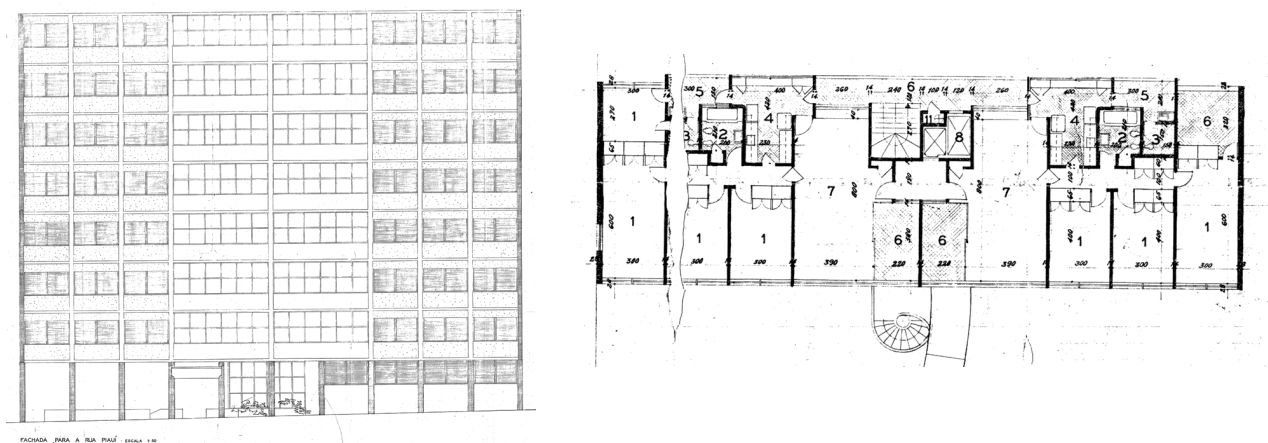


Figura 26 - Elevação e Planta do Pavimento tipo do Edifício Louveira (Foto: ACERVO BIBLIOGRÁFICO FAUUSP)



Figura 27 - Edifício Louveira. Foto: (KON, N)

## Edifício Juriti

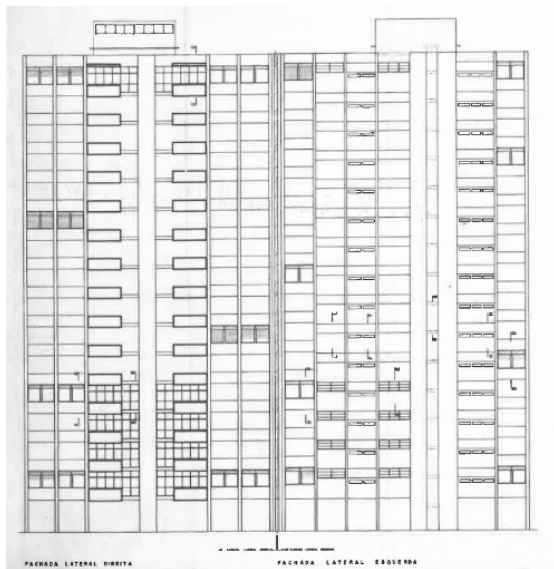


Figura 28 - Elevação e Planta do Pavimento tipo do Edifício Juriti (Foto: GUERRA, GIMENEZ, SERAPIÃO, 2016)



Figura 29 - Edifício Juriti (FOTO: KON, N)

A partir do levantamento documental reproduzido acima, é possível verificar que as unidades habitacionais possuem disposição parecidas, de modo que pelo menos um dormitório e a sala estejam orientadas para a mesma direção cardinal (sala e dormitórios correspondem a ambientes 4 e 5 na planta do Lausanne e 7 e 1 no Louveira, respectivamente, ambos localizados na fachada Norte; na planta do edifício Juriti, esses ambientes estão orientados para Leste).

Considerando que esses dois cômodos constituem ambientes de longa permanência quando comparados a outros recintos (a exemplo da cozinha, área de serviço e banheiros) e, além disso, devem permitir certa versatilidade de uso devido à sua natureza, delimitou-se que os ambientes a serem estudados correspondem à sala e o dormitório localizados junto às fachadas principais (fachadas Norte do Lausanne e de ambos os blocos do Louveira e fachada Leste do Juriti).

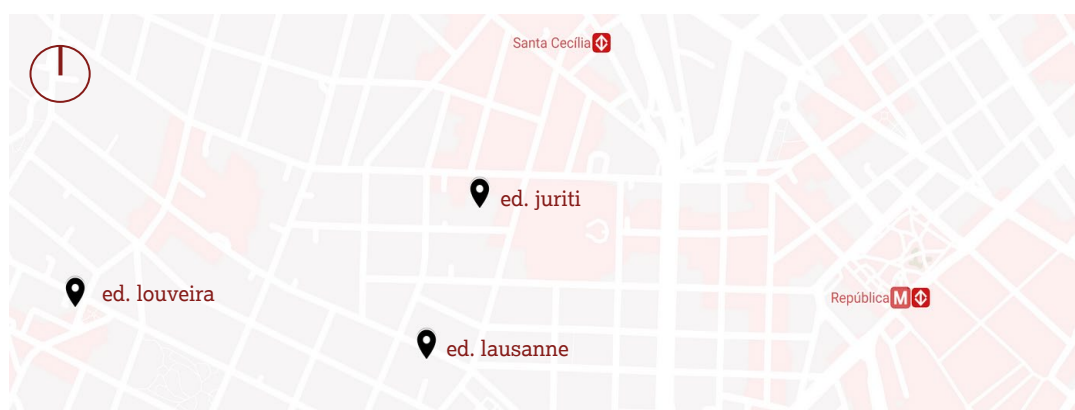


Figura 30 - Localização dos edifícios no bairro de Higienópolis, São Paulo. Elaborado a partir do Google MyMaps

## Simulações: Premissas, modelos e valores de referência

### Escopo da análise

As simulações realizadas para avaliação de desempenho dos edifícios selecionados buscaram quantificar alguns aspectos importantes relacionados à luz diurna a fim de compreender as necessidades e características projetuais favoráveis para uma implantação em São Paulo-SP. Para analisar uma situação usual das unidades habitacionais, selecionou-se um pavimento médio da edificação (5º andares para Lausanne e Louveira, 8º para o Juriti) e uma fachada principal, correspondente à localização das principais áreas comuns e de longa permanência (sala) e dormitórios (Norte para Lausanne e Louveira, Leste para Juriti), como explicado anteriormente.

Em seguida, foram calculadas a taxa de radiação incidente nestas fachadas, bem como a iluminância no interior dos cômodos de interesse (dormitórios e sala), em três dias do ano, para três horários: equinócio de outono, solstício de inverno e solstício de verão, às 9h, 12h e 15h. Para as análises de ofuscamento e fator de luz diurna, o período considerado para análise foi de um ano.

### Carta Solar e Heatmap de São Paulo

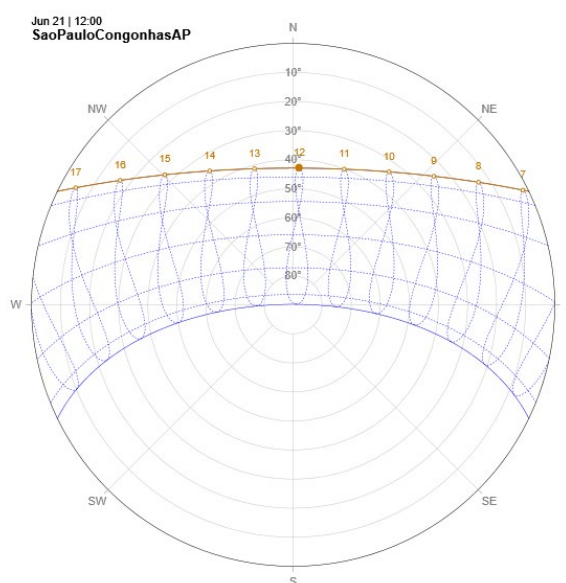


Figura 31 - Carta Solar de São Paulo gerada no ClimateStudio a partir de arquivo climático do INMET 2018

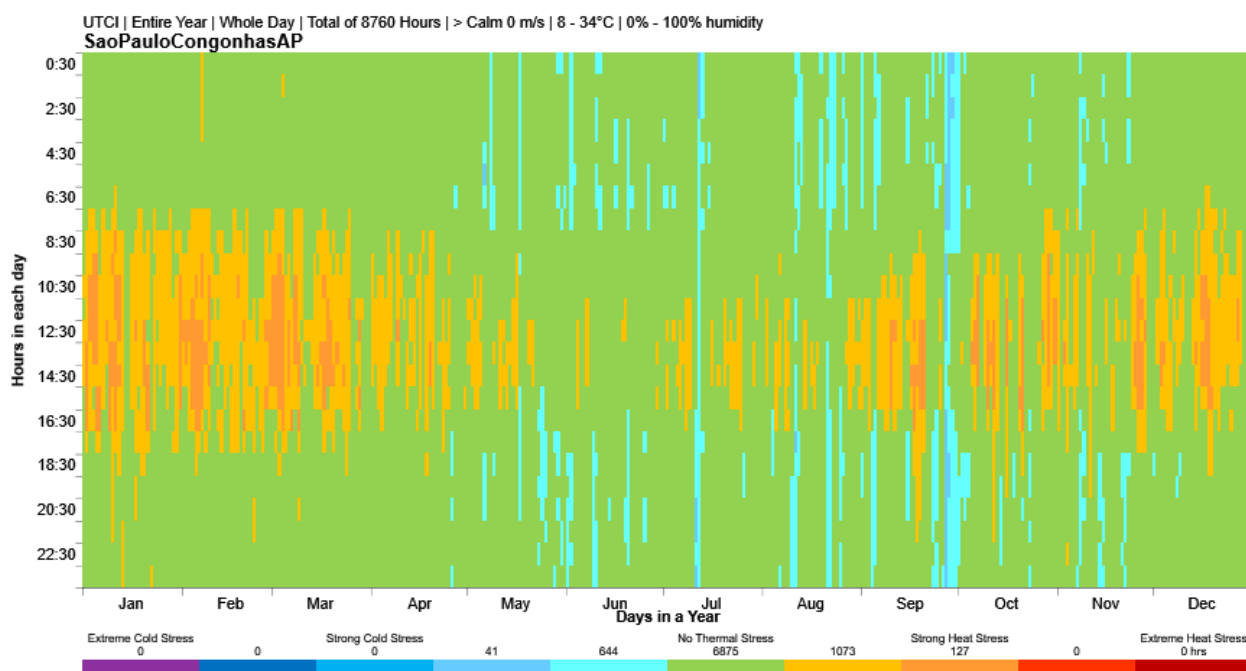


Figura 32 - Heatmap para São Paulo - SP gerado no ClimateStudio a partir de arquivo climático do INMET (2018). Tom roxo indica desconforto extremo por frio, enquanto a cor vinho indica desconforto extremo devido ao calor

A fim de orientar as análises realizadas, alguns princípios básicos foram adotados para São Paulo. Para uma edifício implantado na cidade, a fachada Norte recebe diretamente raios solares para uma situação em que não há obstruções do entorno. Enquanto isso, na fachada Sul, há apenas um período próximo ao solstício de verão em que esta fachada recebe raios solares durante os períodos da manhã e da tarde, caso não haja obstruções (ver Figura 31).

Do ponto de vista do conforto térmico, é interessante que haja ganhos de calor nas edificações durante alguns períodos do ano (trechos em ciano na Figura 32), entre maio e setembro. Entretanto, o desconforto devido ao calor (tons alaranjados) é predominante entre outubro e abril, ainda que não haja estresse térmico na maior parte das horas (em verde).

Sob essa perspectiva, compreende-se que a orientação Norte para fachadas é a mais conveniente no que diz respeito à incidência de raios solares para a cidade de São Paulo, na medida em que ela favorece a incidência solar durante o período de inverno e é mais preservada durante o verão. Assim, essas diretrizes básicas foram levadas em consideração durante o estudo realizado.

## Radiação

Para a simulação de radiação solar incidente na fachada estudada, foram modeladas no ambiente Rhino as volumetrias correspondentes ao edifício estudado, seu entorno imediato e o solo. Para as superfícies modeladas, foram atribuídos os devidos materiais (especificados mais adiante na seção de resultados).

Um exemplo de arquivo preparado para a análise da radiação pode ser conferido abaixo, no caso do edifício Lausanne:

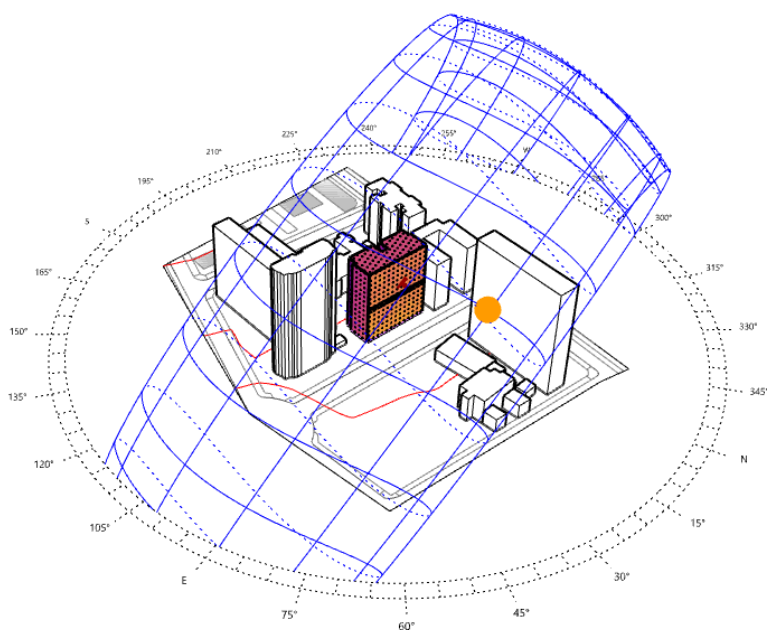


Figura 33 - Exemplo de modelo preparado para a simulação de radiação incidente no Rhino. Imagem da autora

Esta simulação foi realizada através da plataforma ClimateStudio para Rhino e Grasshopper. Foi utilizado, assim, um template nativo da plataforma para análise de radiação solar, o qual foi modificado de acordo com os objetivos da simulação.

Para a configuração do arquivo, foram referenciadas as geometrias correspondente ao solo (*ground*) e os edifícios do entorno, bem como o edifício a ser analisado (*self*) (Figura 34). Nesse último caso, as superfícies correspondentes às fachadas e às janelas foram nomeadas conforme o projeto. Além disso, também foi estabelecido o espaçamento dos sensores em *grid*, isto é, os pontos na superfície de análise para qual o programa irá calcular a radiação incidente (Figura 35). Quanto mais próximos esses pontos, mais refinada será a análise, mas também maior será a demanda para seu processamento. Assim, referencia-se o arquivo climático em formato *.epw* contendo informações climáticas hora a hora do local em que está inserida a área de análise, ao módulo de cálculo de radiação do ClimateStudio (Figura 36). Por fim, há módulos do Grasshopper dedicados que permitem a visualização dos resultados para dias específicos do ano e um dado sensor na superfície analisada (Figura 37).

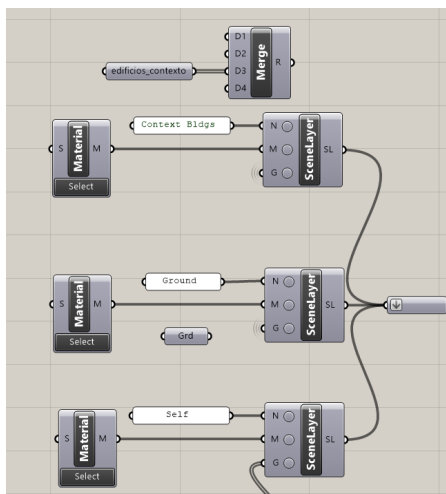


Figura 34 - Atribuição das geometrias do Rhino às aletas do Grasshopper). Imagem da autora

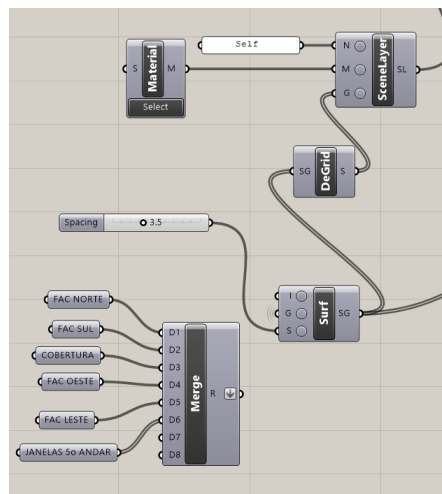


Figura 35 - Configuração da geometria do edifício e das superfícies de análise). Imagem da autora

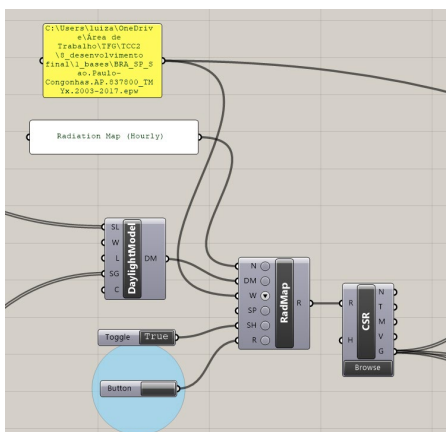


Figura 36 - Referência ao arquivo climático conectado ao módulo de cálculo de radiação do ClimateStudio, o RadMap (arquivo INMET obtido em LABEEE). Imagem da autora

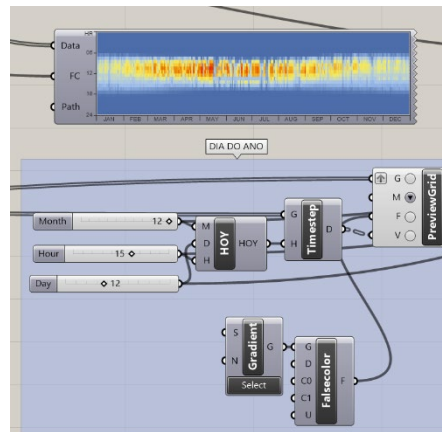
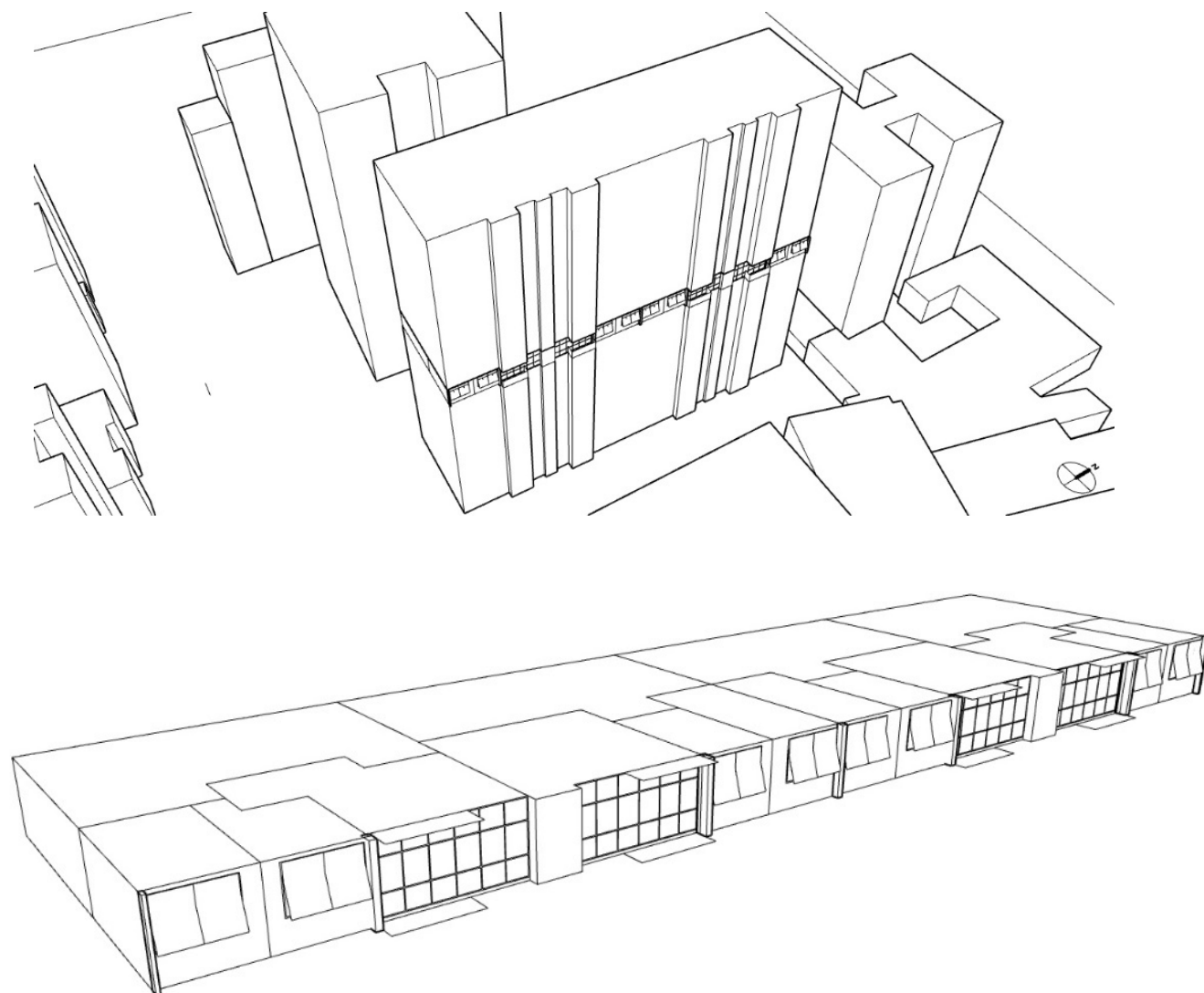


Figura 37 - Módulos do Grasshopper para visualização dos resultados. Imagem da autora

## Iluminância, fator de luz diurna e ofuscamento

Para as simulações de iluminância, fator de luz diurna, ofuscamento e mascaramento, além da volumetria do entorno e do edifício, é preciso que haja um maior detalhamento dos elementos construtivos em relação à simulação de radiação. É preciso incluir no modelo paredes internas, lajes, varandas, esquadrias, vidros e outros elementos relevantes conforme projeto e análise pretendida. Estes devem ser sempre modelados como superfícies simples no ambiente Rhino para correta interpretação pelo aplicativo ClimateStudio.



*Figura 38 - Exemplo de modelagem no Rhino utilizada para as análises de luz diurna do Edifício Juriti  
Imagem da autora*

Para a execução das análises de Iluminância, fator de luz diurna e ofuscamento, o fluxo de trabalho indicado na interface do ClimateStudio foi adotado (Figura 39), conforme orientações contidas em <https://climatestudiodocs.com/> (Acesso em 10/07/22).

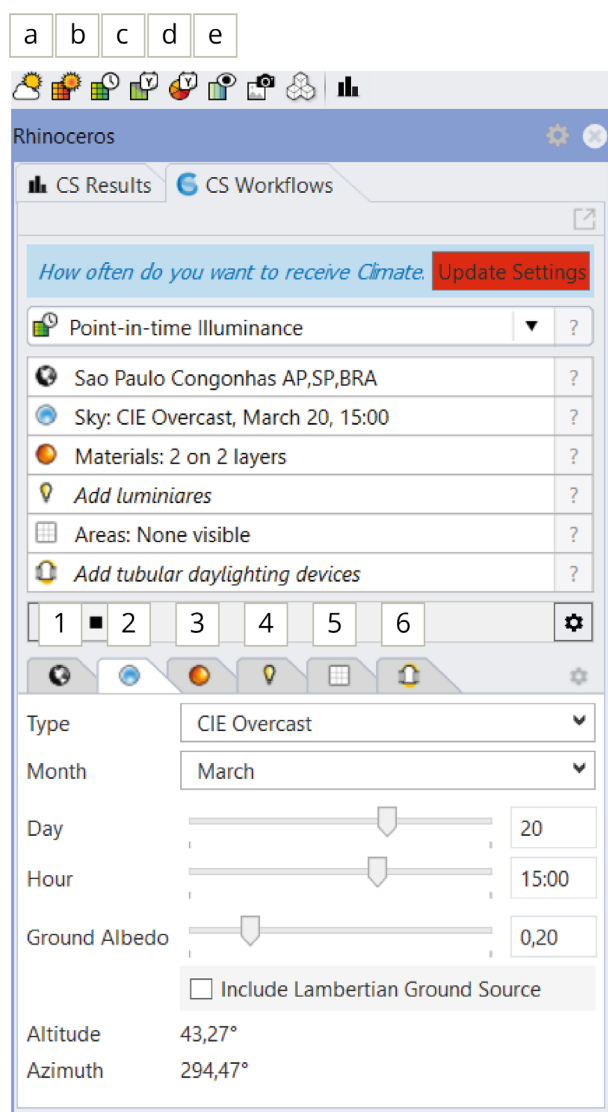
Para essas análises, foi utilizado o céu encoberto (*CIE Overcast*), em acordo com estudo realizado por MICHEL, LARANJA (2020), trabalho no qual foram definidas “as condições de céu e céus CIE característicos de capitais brasileiras como opções simplificadas de dado de entrada em programas de simulação de iluminação natural com céu estático para projetos que não exijam alta precisão nos resultados” (p.15). Na Tabela 3 são reproduzidos os resultados obtidos deste estudo para São Paulo – SP.

**Tabela 13 – São Paulo: Horas de Insolação, Razão do Sol e Céus**

Mês	In. Mês	n	N	RS	Condição de céu	Tipo de céu CIE
Janeiro	119,93	3,87	11,37	34,01%	Encoberto	5
Fevereiro	135,45	4,80	11,43	42,02%	Parcialmente encoberto	6
Março	142,03	4,58	10,58	43,30%	Parcialmente encoberto	6
Abril	149,10	4,97	10,21	48,67%	Parcialmente encoberto	7
Maio	129,69	4,18	9,55	43,81%	Parcialmente encoberto	6
Junho	123,39	4,11	8,27	49,75%	Parcialmente encoberto	7
Julho	136,83	4,41	9,19	48,01%	Parcialmente encoberto	7
Agosto	161,03	5,19	10,19	50,96%	Parcialmente encoberto	7
Setembro	133,36	4,45	10,47	42,47%	Parcialmente encoberto	6
Outubro	136,22	4,39	10,91	40,29%	Parcialmente encoberto	6
Novembro	128,47	4,28	11,53	37,14%	Encoberto	5
Dezembro	137,60	4,44	11,37	39,04%	Encoberto	5

Nota: quantidade de dados faltantes = 26. Fonte: As autoras, baseado em INMET (1997-2016a).

*Tabela 3 - Horas de Insolação, Razão do Sol e Céu para São Paulo – SP. Extraído de (MICHEL, LARANJA, 2020)*



### simulações utilizadas

- a - site analysis (análise do local)
- b - radiation (radiação)
- c - point in time illuminance (iluminância)
- d - daylight factor (fator de luz diurna)
- e - ofuscamento

### fluxos de trabalho

- 1 - local (vínculo ao arquivo climático)
- 2 - configurações do céu
- 3 - materiais
- 4 - iluminação artificial (não considerado)
- 5 - superfícies de análise
- 6 - dispositivos tubulares de iluminação natural (não considerado)

*Figura 39 - Fluxo de trabalho e recursos utilizados na plataforma ClimateStudio. Imagem da autora*

## Mascaramento

Em contrapartida, para análise de mascaramento das janelas das unidades residenciais analisadas, recursos de outra plataforma para análise computacional de conforto, o Ladybug Tools, foram empregados. A mesma volumetria produzida para os estudos descritos na seção *Iluminância, fator de luz diurna e ofuscamento* foi aproveitada. Através de módulos do Ladybug para Grasshopper, referenciou-se as geometrias e pontos analisados, de forma que um domo foi criado indicando a região mascarada pela abertura analisada. Além desse domo, também foi incluída a carta solar de São Paulo sobreposta a ele para que houvesse uma referência da trajetória solar para análise do mascaramento obtido.

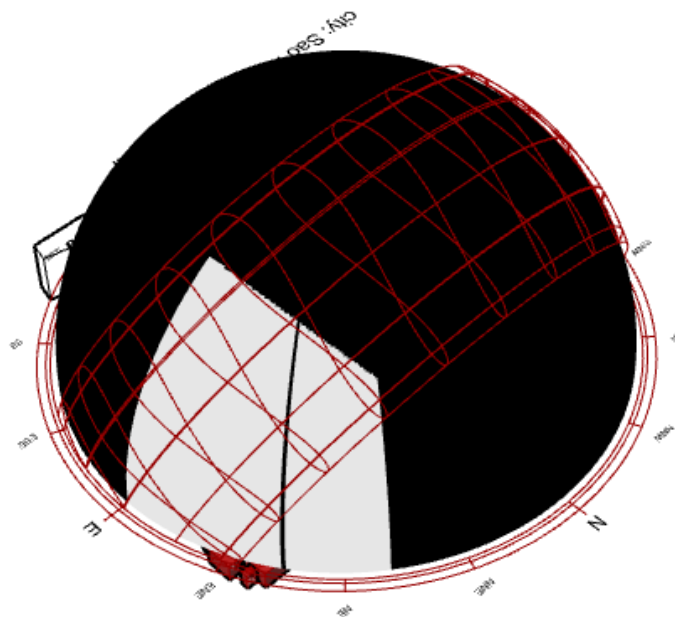


Figura 40 - Carta Solar sobreposta ao domo de mascaramento da janela criado no Grasshopper  
Imagem da autora

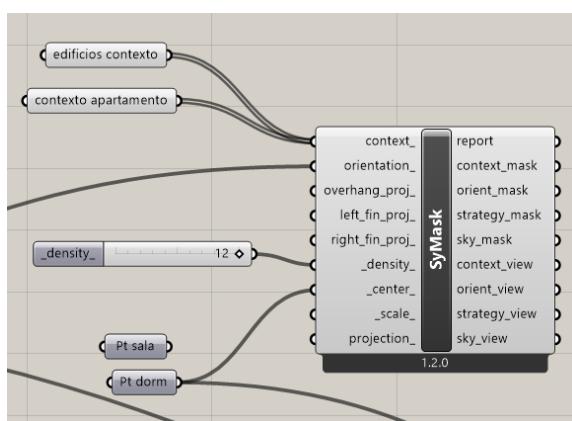


Figura 41 - Módulo SkyMask do LadybugTools utilizado para gerar o domo de mascaramento, uma vez referenciadas as geometrias e pontos de análise. Imagem da autora

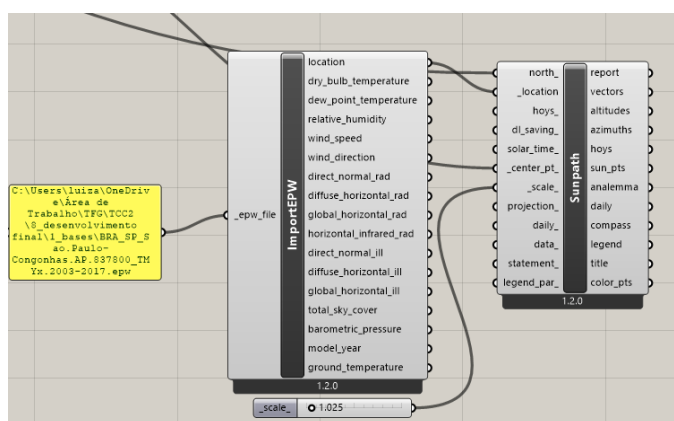


Figura 42 - Módulo de leitura do arquivo climático em epw e de criação da carta solar, ambos do Ladybug Tools.  
Imagem da autora

## Valores de referência adotados

Para interpretação dos resultados obtidos com as simulações, foram utilizados alguns parâmetros de referência, a saber:

**Tabela E.1 – Níveis de iluminamento natural**

Dependência	Iluminamento geral para os níveis de desempenho lux		
	M <sup>a</sup>	I	S
Sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Banheiro, corredor ou escada interna à unidade, corredor de uso comum (prédios), escadaria de uso comum (prédios), garagens/estacionamentos	Não requerido	≥ 30	≥ 45

<sup>a</sup> Valores mínimos obrigatórios, conforme 13.2.1.

NOTA 1 Para os edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados nesta Tabela (diferença máxima de 20 % em qualquer dependência).

NOTA 2 Os critérios desta Tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.

NOTA 3 Deve-se verificar e atender às condições mínimas requeridas pela legislação local.

Os métodos de avaliação e premissas de projeto requeridos são estabelecidos em 13.2.1.

*Tabela 4 - Níveis de iluminamento natural para desempenhos Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) estabelecidos pela norma NBR 15575-1*

**Tabela E.2 – Fator de luz diurna para os diferentes ambientes da habitação**

Dependência	FLD (%) para os níveis de desempenho		
	M <sup>a</sup>	I	S
Sala de estar, dormitório, copa/cozinha, área de serviço	≥ 0,50 %	≥ 0,65 %	≥ 0,75 %
Banheiro, Corredor ou escada interna à unidade, corredor de uso comum (prédios), escadaria de uso comum (prédios), Garagens/estacionamentos	Não requerido	≥ 0,25 %	≥ 0,35 %

<sup>a</sup> Valores mínimos obrigatórios, conforme 13.2.2.

NOTA 1 Para os edifícios multipiso, são permitidos, para as dependências situadas no pavimento térreo ou em pavimentos abaixo da cota da rua, níveis de iluminância ligeiramente inferiores aos valores especificados nesta Tabela (diferença máxima de 20 % em qualquer dependência).

NOTA 2 Os critérios desta Tabela não se aplicam às áreas confinadas ou que não tenham iluminação natural.

Os métodos de avaliação e premissas de projeto requeridos são estabelecidos em 13.2.2.

*Tabela 5 - Níveis de Fator de Luz Diurna para desempenhos Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S) estabelecidos pela norma NBR 15575-1*

Além das determinações da NBR-15575-1, foram levados em consideração algumas outras indicações para iluminâncias e fatores de luz diurna recomendadas:

Exigências da tarefa visual	Lux	Exemplos
Noção geral do espaço; a percepção geral dos detalhes não é importante	50	Rotas de acesso a áreas de serviço
Movimento de pessoas reconhecimento de detalhes períodos curtos; iluminação de fundo	100	Corredores, depósitos de itens volumosos, auditórios, dormitórios
Reconhecimento de detalhes por curtos períodos em áreas nas quais erros podem ser sérios	150	Casas de máquina, banheiros residenciais
Áreas sem tarefas visuais difíceis, mas ocupadas por longos períodos; tarefas visuais por períodos curtos com contrastes de tamanho ou detalhes moderados	200	Iluminação geral em cabinas de controle, saguões, chãos de fábrica com processos automatizados
Tarefas visuais como a leitura de textos com fontes de tamanho normal (contraste e quantidade de detalhes moderados) por períodos longos	300	Oficinas para itens volumosos, áreas gerais de bibliotecas, salas de aula, cozinhas residenciais
Tarefas visuais com alguns detalhes de baixo contraste e objetos de tamanho moderado	500	Escritórios em geral, laboratórios
Tarefas visuais com baixos contrastes e objetos pequenos	700	Escritórios ou desenhos de projeto
Tarefas visuais com objetos extremamente pequenos e baixos contrastes	1500	Serviços minuciosos e inspeções
Tarefas visuais com objetos excepcionalmente pequenos e baixíssimos contrastes	2000	Montagem de mecanismos minúsculos

*Tabela 6 - Exemplos de Iluminâncias recomendadas. Extraído de (TREGENZA, LOE, 2015, p. 109)*

Dessa forma, foi considerado um intervalo de 120-300 lux para os espaços analisados, adotando-se o desempenho intermediário da norma 15575-1 como limite inferior, mas também considerando que os ambientes podem ser eventualmente utilizados para tarefas como estudos ou leitura, as quais exigem maior acuidade visual.

Enquanto isso, para a avaliação do coeficiente de luz diurna, os intervalos previstos na NBR 15575-1 foram observados. Já para o ofuscamento, os resultados gerados pelo ClimateStudio são gerados já com grau de desconforto.

## Simulações: Lausanne

### Base arquitetônica e urbanística utilizada

Para o estudo do Edifício Lausanne, modelagem do entorno e posicionamento, a sua implantação foi consultada no portal Geosampa.



*Figura 43 Implantação do Edifício Lausanne  
(Fonte: Geosampa)*

Já para o projeto arquitetônico, foram utilizados os cortes, plantas e elevações contidos em (BARBOSA, 2018, pp. 229–234, 252–253), que serviram de base para o redesenho desses documentos.

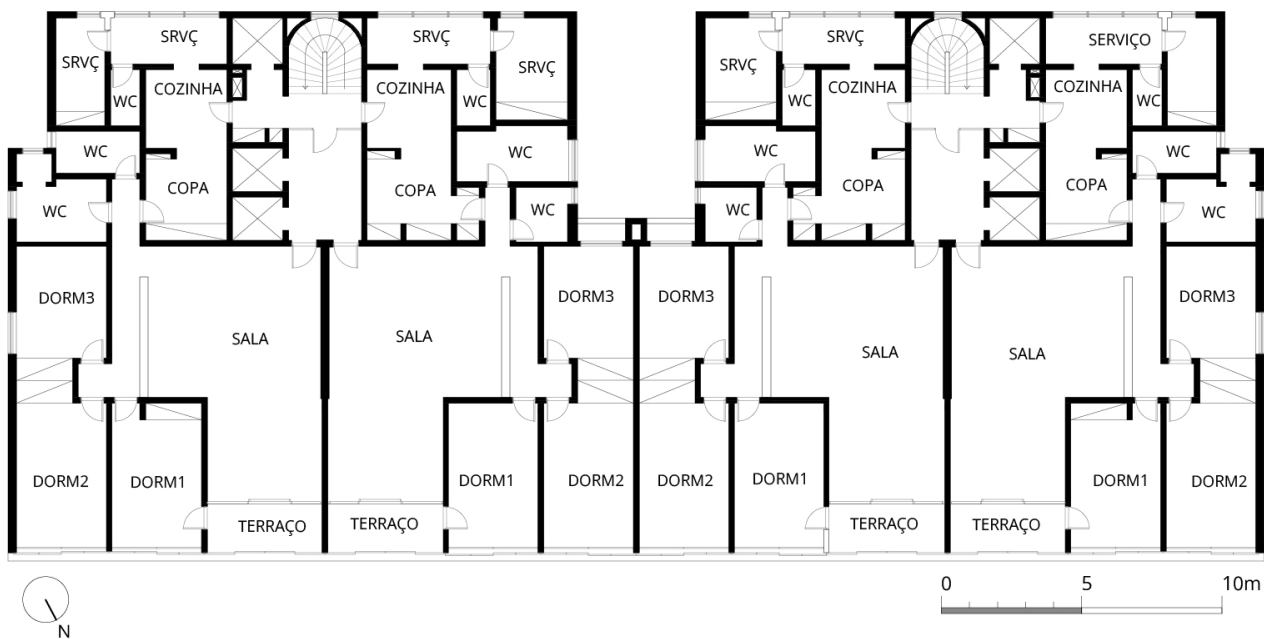


Figura 44 - Planta do Pavimento Tipo do Edifício Lausanne. Redesenho da autora

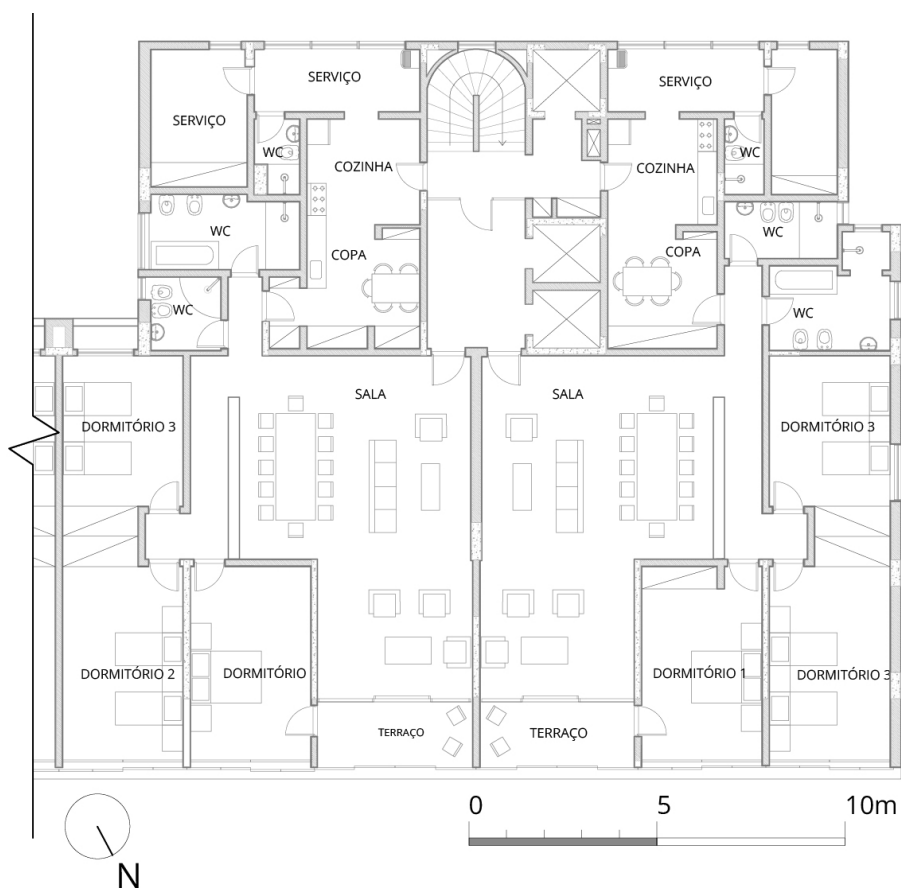


Figura 45 - Ampliação do Pavimento tipo do Edifício Lausanne, mostrando duas unidades. Redesenho da autora

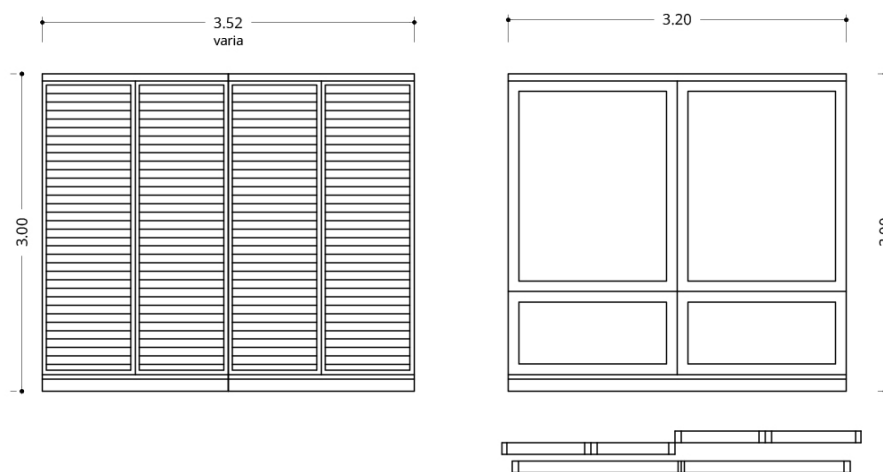


Figura 46 - Esquadrias e brises da fachada principal do Edifício Lausanne. Redesenho da autora

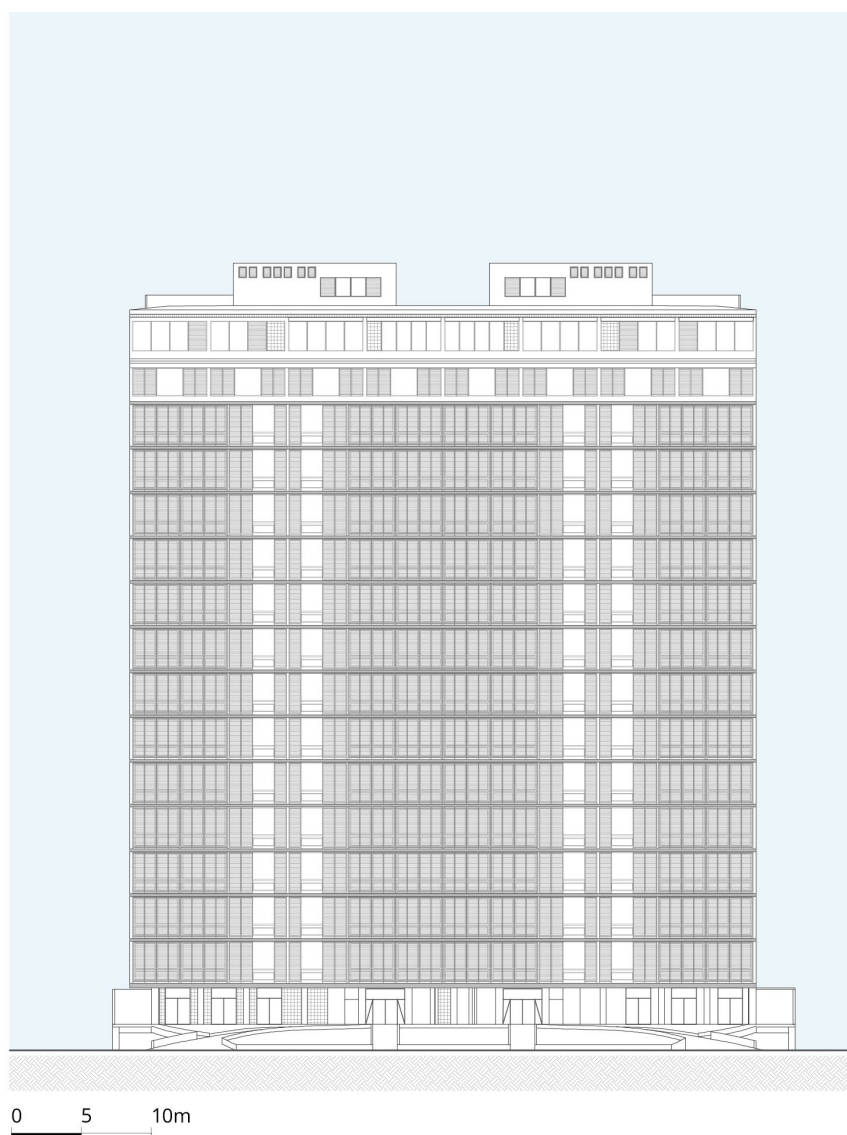










Figura 47 - Elevação da Fachada Norte do Edifício Lausanne. Redesenho da autora

## Configurações das Simulações

<b>Arquivo climático utilizado*</b> *Fonte: LabEEE	BRA_SP_Sao.Paulo-Congonhas.AP.837800_TMYx.2003-2017.epw
<b>Pavimento escolhido</b>	5º andar
<b>Fachada dos quartos/sala</b>	Norte
<b>Espaçamento dos sensores considerado para simulação de radiação</b>	3.6m
<b>Espaçamento dos sensores considerado para simulações de iluminação natural</b>	0.7m

*Tabela 7 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do Edifício Lausanne*

Superfície	Material	Cor	Refletância	Transmitância
Edifícios do entorno e fachada do Lausanne	Beige Plaster Facade		78,0%	0%
Solo	Sandy Concrete Pavement		12,5%	0%
Borda da laje e pilares	Concrete exterior wall		71,1%	0%
Piso	Wood Floor		52,0%	0%
Forro e paredes	White plaster wall		86,6%	0%
Esquadrias	Matte Aluminum Window Mullion		56,3%	0%
Brises	White Painted Wooden Door		22,0%	0%
Vidros	Clear		8,4%	87,7%

*Tabela 8 - Materiais aplicados no modelo do edifício Lausanne*

## Radiação

Como pode ser conferido abaixo, a fachada Norte do Lausanne recebe maior quantidade de radiação durante o período entre abril e maio. Além da posição favorável dos quartos junto à fachada orientada para Norte, há quase nenhuma interferência do entorno, conforme resultados a seguir.

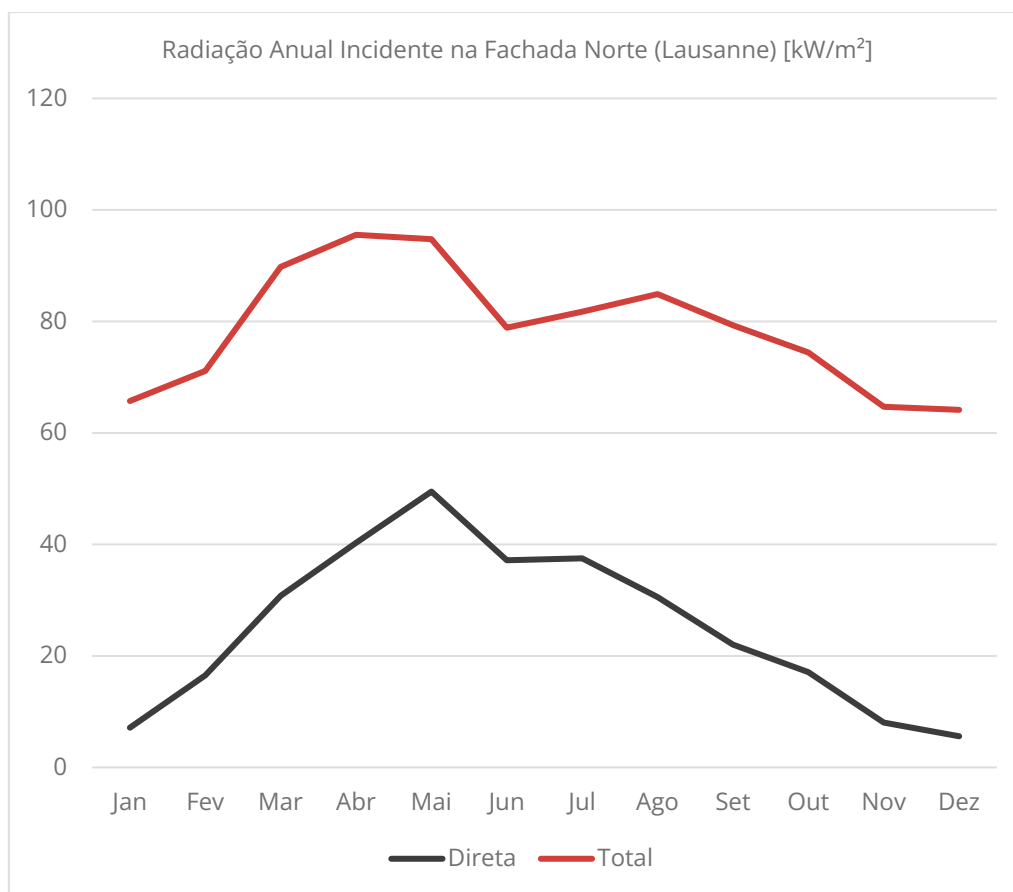


Gráfico 1 - Radiação Anual Incidente na Fachada Norte (Lausanne) [kW/m²]

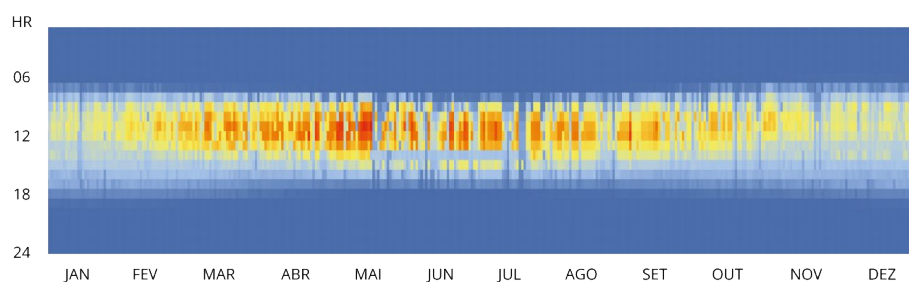


Gráfico 2 - Radiação Anual Incidente na Janela do 5º Andar do Edifício Lausanne, fachada Norte

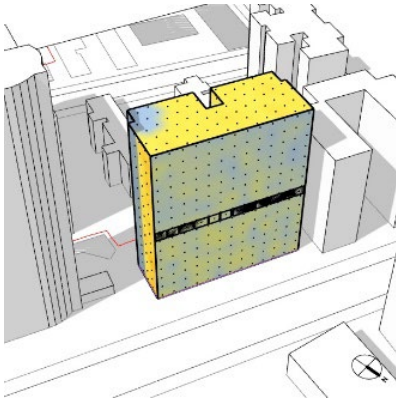


Figura 48 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Verão, 9h

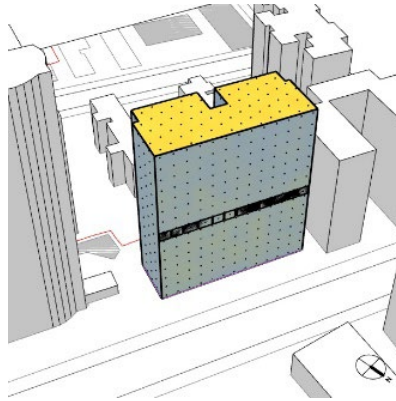


Figura 49 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Verão, 12h

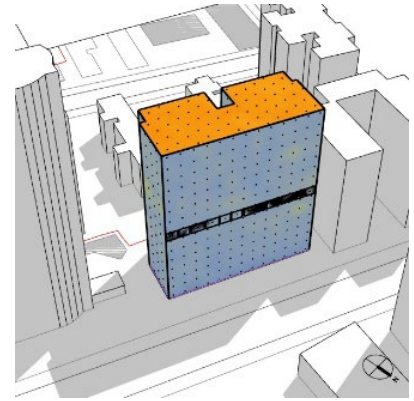


Figura 50 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Verão, 15h

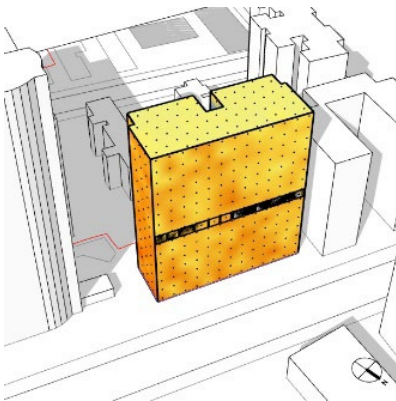


Figura 51 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Equinócio, 9h

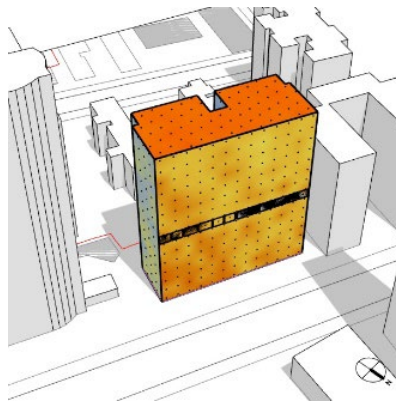


Figura 52 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Equinócio, 12h

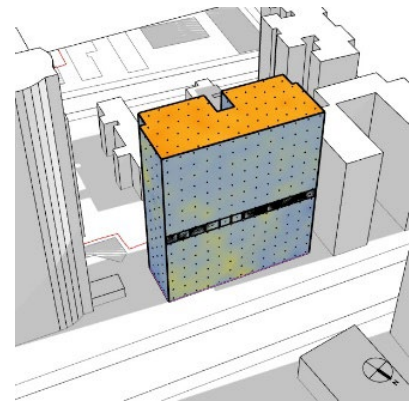


Figura 53 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Equinócio, 15h

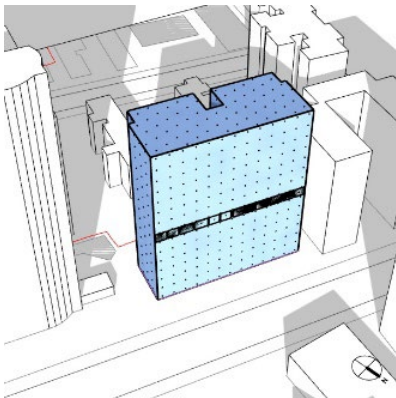


Figura 54 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Inverno, 9h

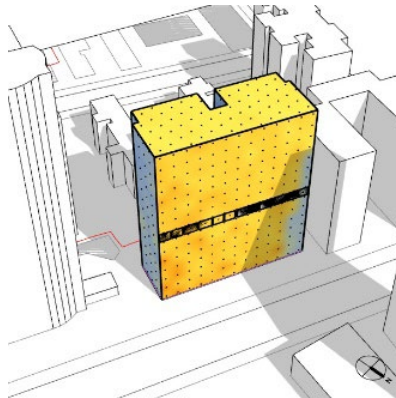


Figura 55 - Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Inverno, 12h

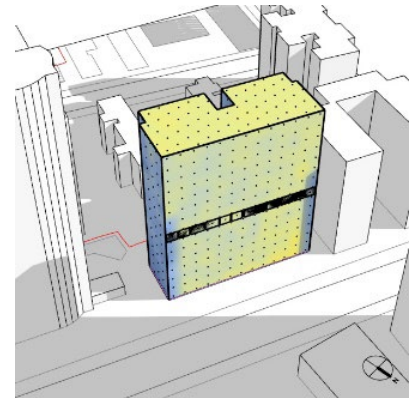


Figura 56- Radiação Incidente no Ed. Lausanne, Sols. de Inverno, 15h

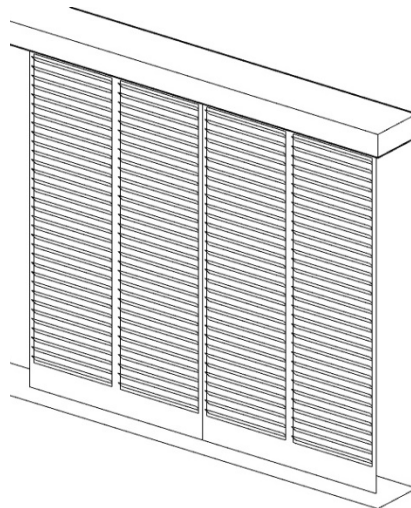


## Mascaramento

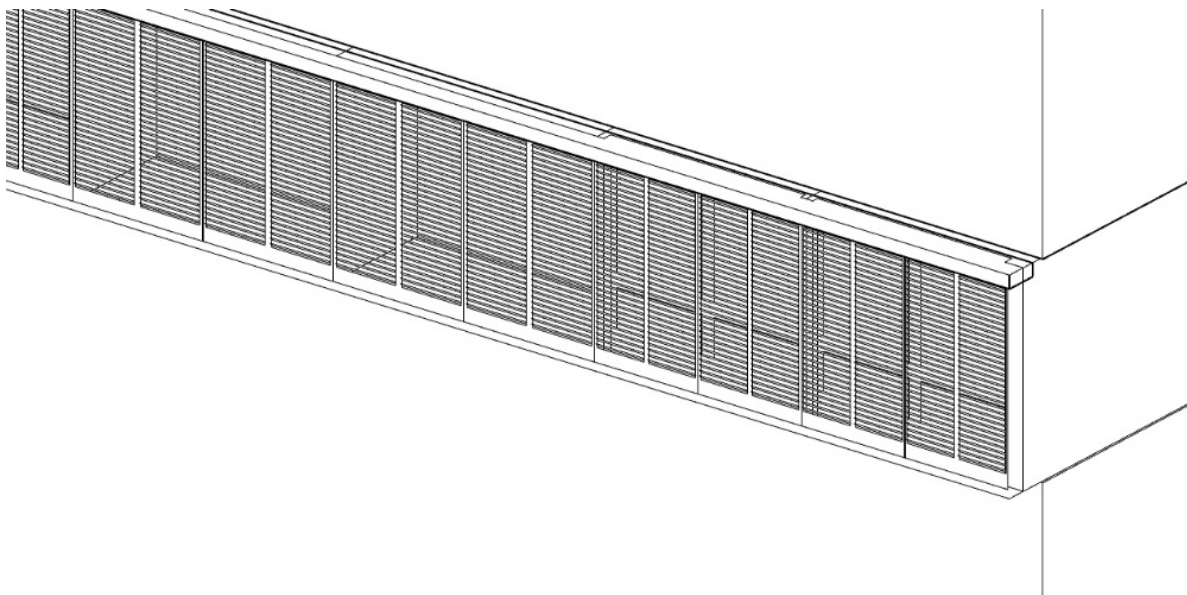
Para efeitos das simulações de luz diurna e análise do desempenho dos elementos de proteção solar, o brise do Edifício Lausanne foi modelado de forma simplificada (segundo método de simulação empregado), assim como foi realizado o mascaramento da janela, para configuração sem proteção solar. O brise cobre a totalidade do vão e oferece a opção de desobstruir a abertura, uma vez que se trata de um mecanismo deslizante. Para as simulações, foi considerada a posição das aletas basculantes abertas.



*Figura 57 - Foto dos elementos de proteção solar do Edifício Lausanne.*  
(Foto: André Deak)



*Figura 58 - Modelo simplificado do elemento de proteção solar do Edifício Lausanne*



*Figura 59 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração com mascaramento previsto em projeto original*

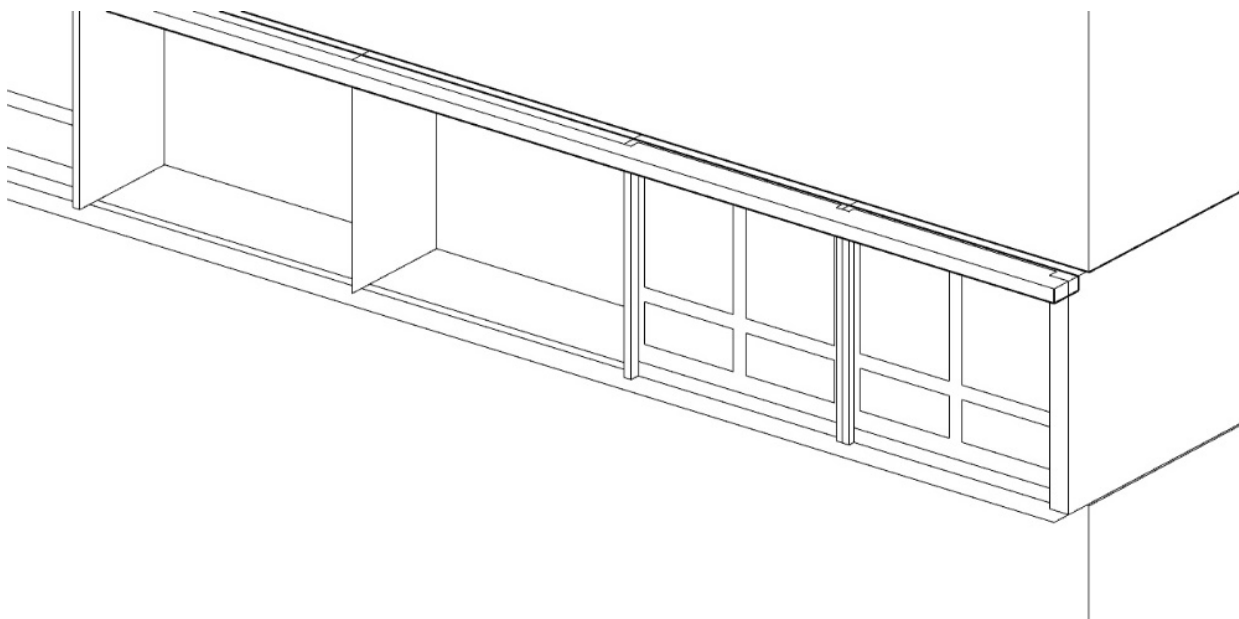


Figura 60 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração sem qualquer mascaramento

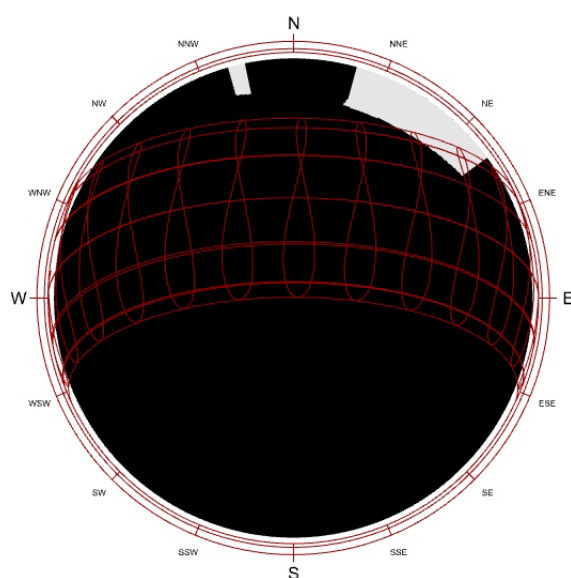


Figura 61 - Mascaramento para janela do dormitório do edifício Lausanne, 5o andar, a 1m da janela e a 90cm do piso acabado, sem elemento de proteção solar.

## Iluminância

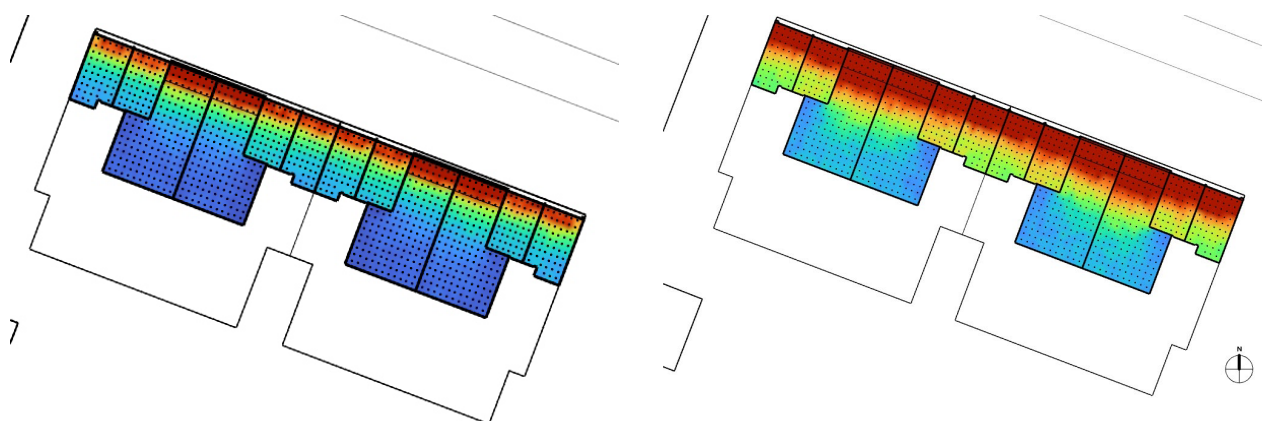


Figura 62 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 9h

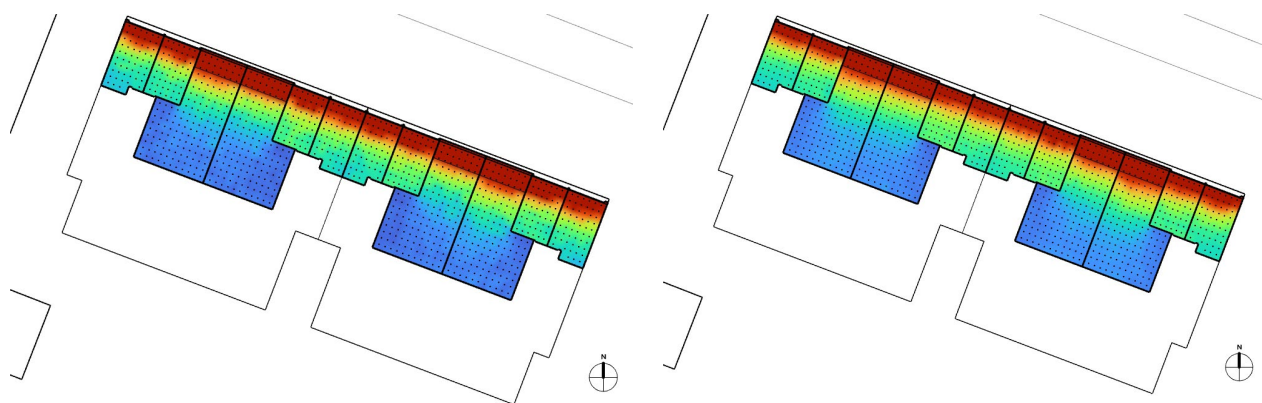


Figura 63 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 12h

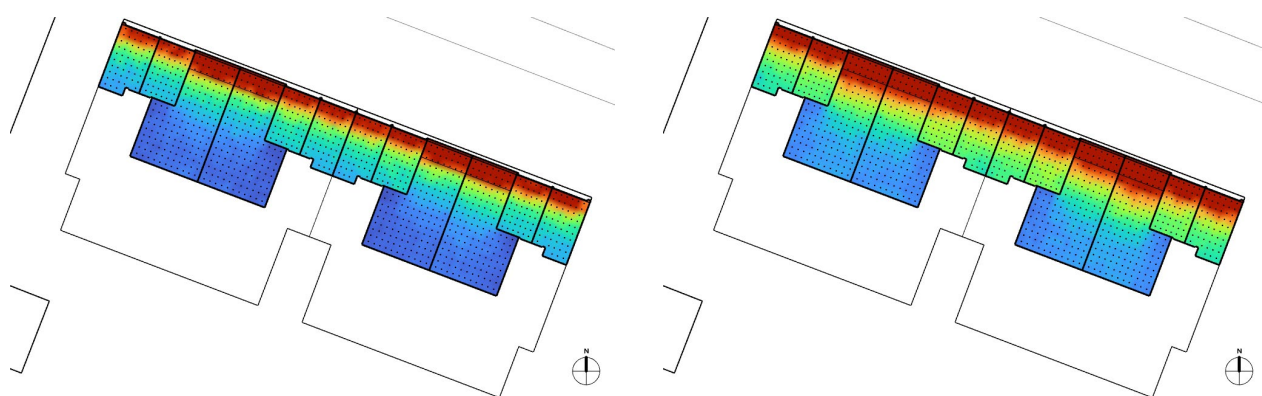


Figura 64 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 15h

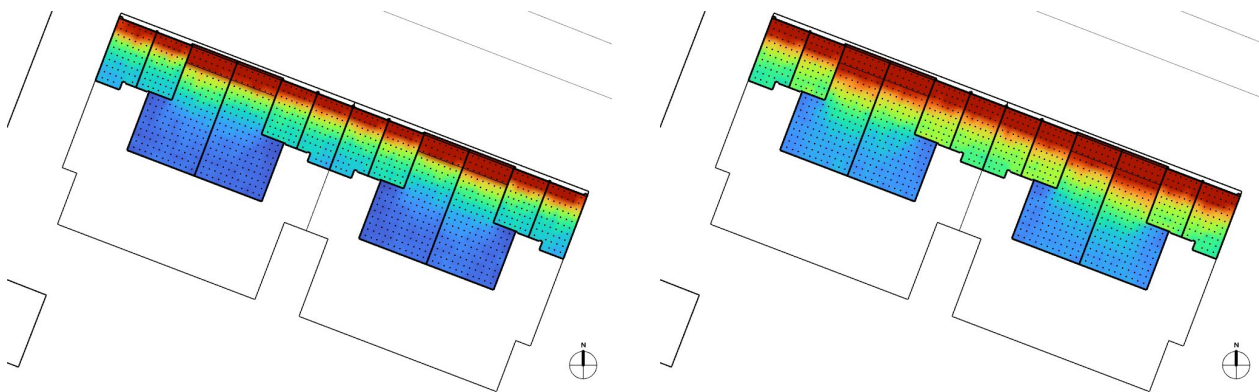


Figura 65 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de verão, 9h

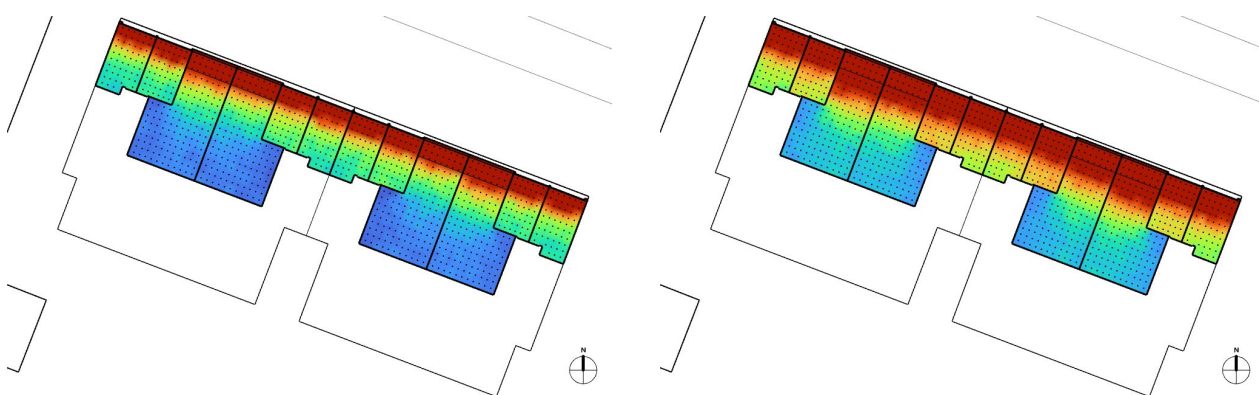


Figura 66 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 12h

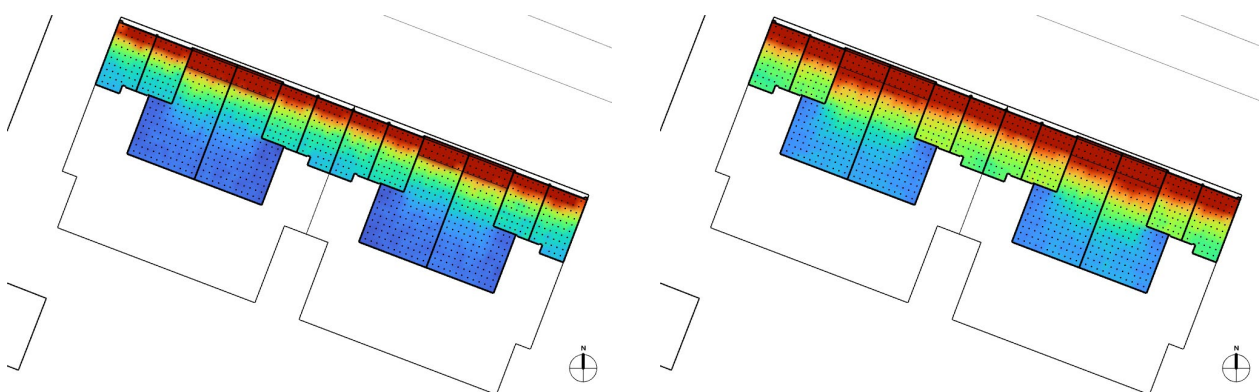


Figura 67 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 15h

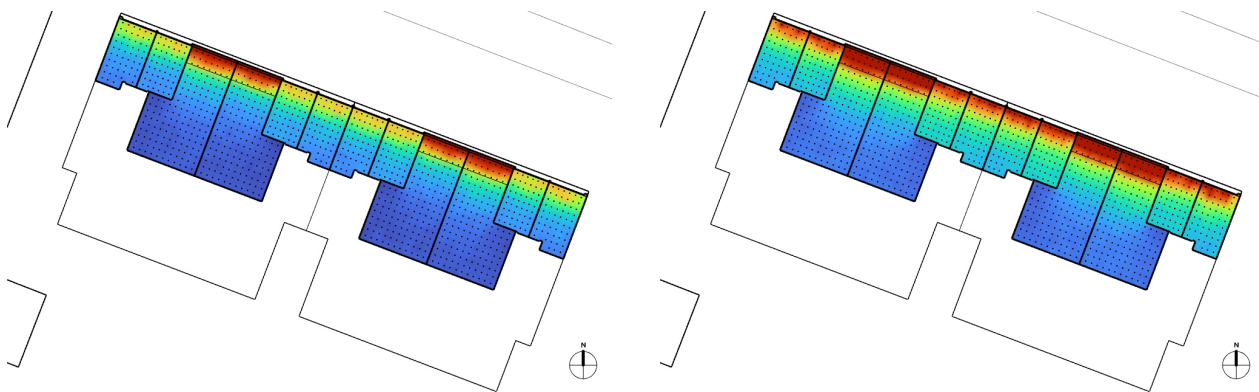


Figura 68 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 9h

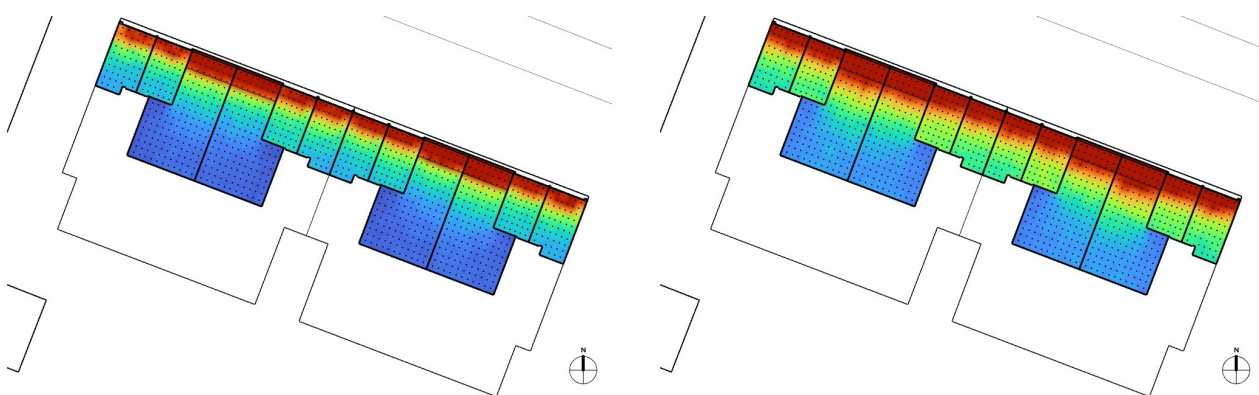


Figura 69 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 12h

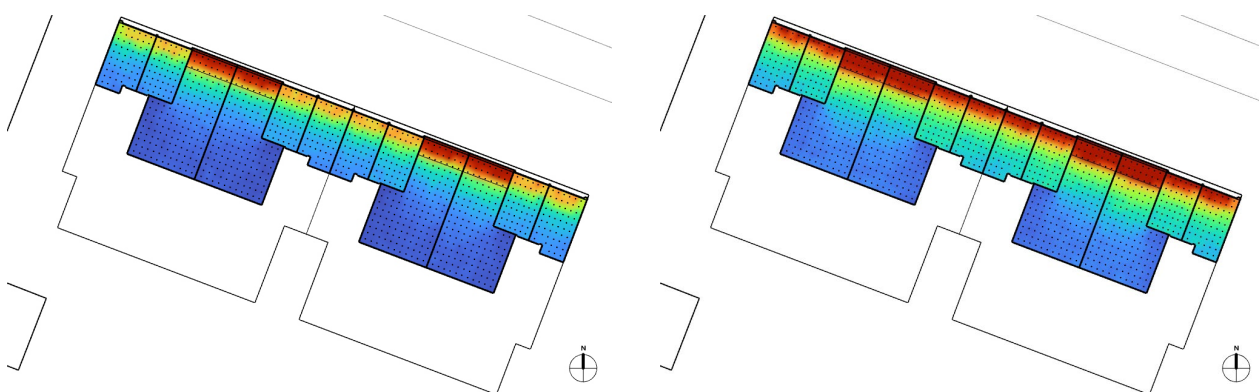
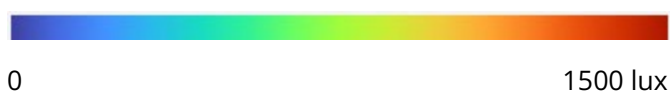


Figura 70 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Lausanne, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de inverno, 15h



## Fator de Luz Diurna (FLD)

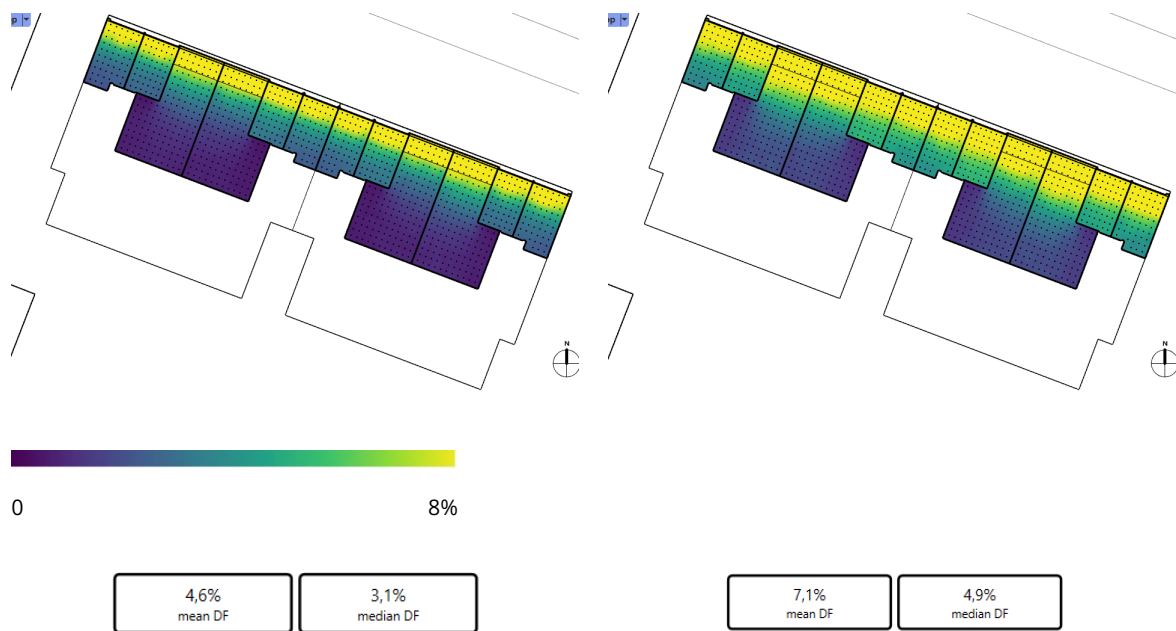


Figura 71 - FLD anual com e sem mascaramento para os cômodos da Fachada Norte do Edifício Lausanne, respectivamente, com FLD média e mediana

Próximas às fachadas, o FLD possui valores de desempenho superior ( $>7.5\%$ ), conforme classificação da NBR15575-1. O FLD diminui significativamente à medida que se afasta da janela, o que é esperado à medida que a relação largura/profundidade diminui, como é o caso da sala.

## Ofuscamento

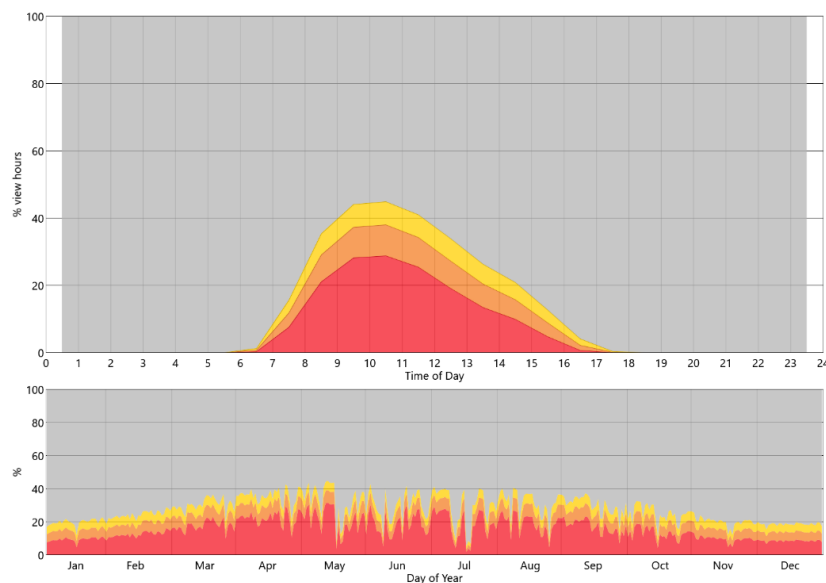
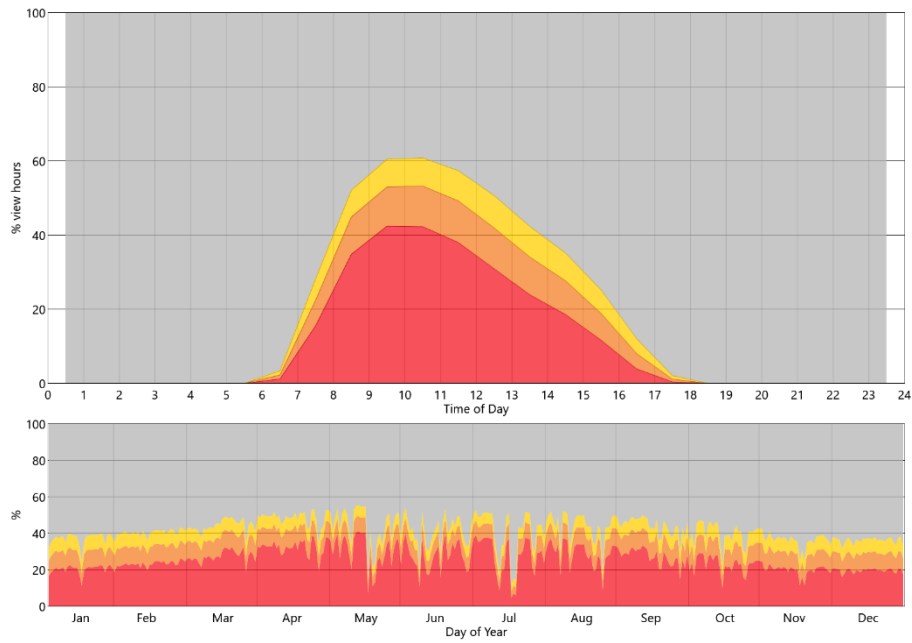


Figura 72 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Juriti, com mascaramento do projeto original, considerando aletas abertas



*Figura 73 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Lausanne, sem qualquer proteção solar*

0 5% (% de horas em que há desconforto no período)

Ainda que os brises (com aletas abertas) contribuam para a diminuição do ofuscamento, ele ainda ocorre com certa frequência durante todo o ano com pico próximo das 10h.

## Simulações: Louveira

### Base arquitetônica e urbanística utilizada

Para o edifício Louveira, foi utilizado o projeto executivo completo disponibilizado pelo Acervo Bibliográfico da FAUUSP e a sua implantação, disponível no portal Geosampa. Devido à semelhança entre ambos os blocos, apenas o Bloco A (em destaque abaixo) foi analisado.



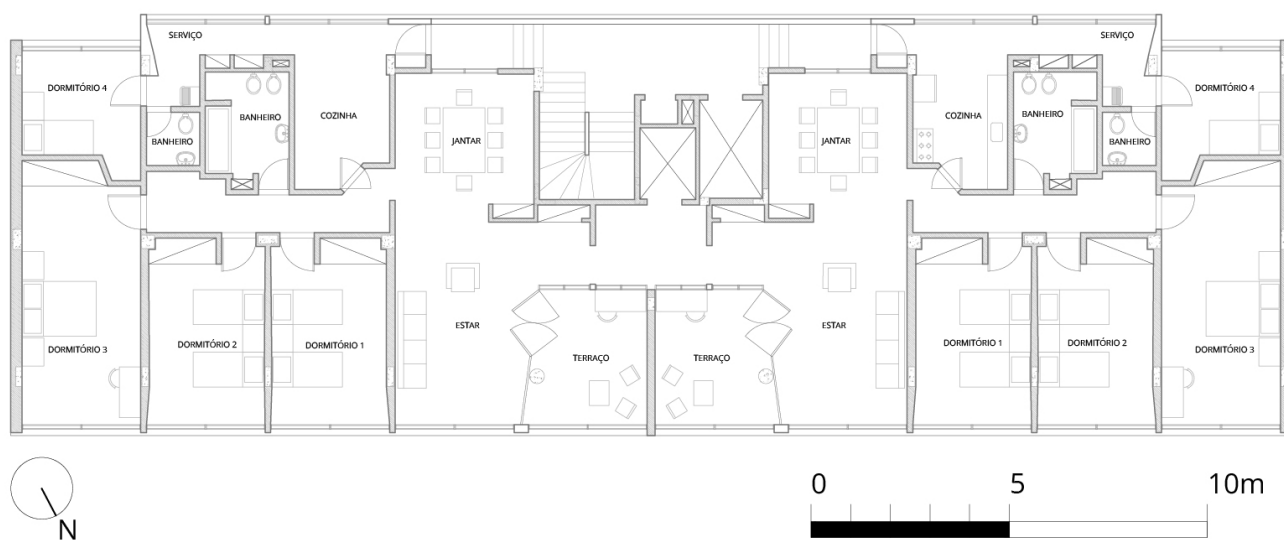


Figura 74 - Planta do Pavimento tipo do Edifício Louveira. Redesenho da autora

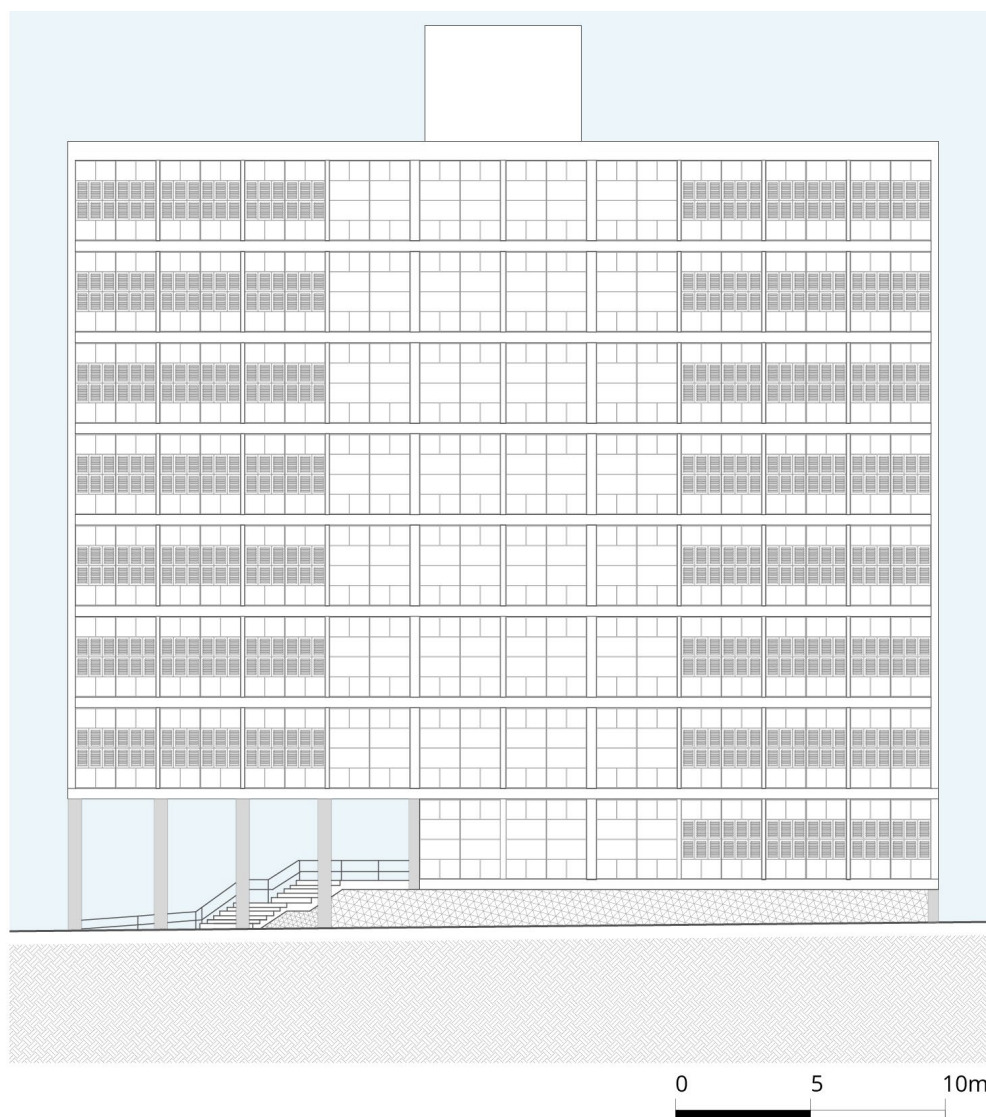


Figura 75 - Elevação do Bloco A do Conjunto Louveira. Redesenho da autora

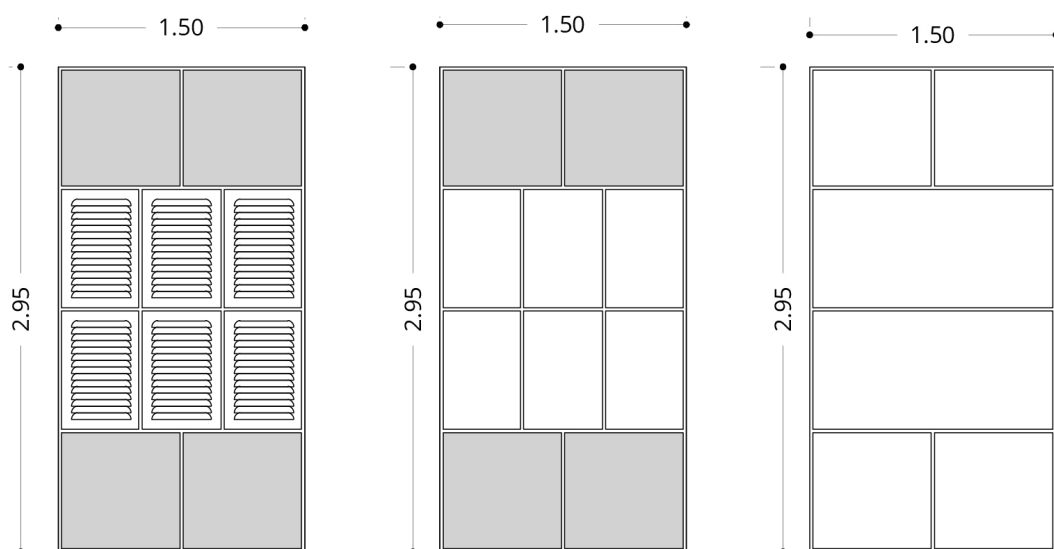







Figura 76 - Esquadrias dos dormitórios com e sem proteção solar e esquadria da sala, respectivamente.  
Redesenho da autora

## Configurações das Simulações

Arquivo climático utilizado*	BRA_SP_Sao.Paulo-Congo-nhas.AP.837800_TMYx.2003-2017.epw
*Fonte: LabEEE	
Pavimento escolhido	5º andar
Fachada dos quartos/sala	Norte
Espaçamento dos sensores considerado para simulação de radiação	3.6m
Espaçamento dos sensores considerado para simulações de iluminação natural	0.7m

Tabela 9 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do Edifício Louveira

Superfície	Material*	Cor	Refletância	Transmitância
Edifícios do entorno e fachada do Juriti	Beige Plaster Facade		78,0%	0%
Solo	Sandy Concrete Pavement		12,5%	0%
Borda da laje e pilares	Concrete exterior wall		71,1%	0%
Piso	Light Wood Floor		52,0%	0%
Forro e paredes	White plaster wall		86,6%	0%




<b>Esquadrias</b>	Dupont Yellow 76		56,3%	0%
<b>Painéis de brasilit</b>	Dupont Saturated Orange 102		22,0%	0%
<b>Vidros</b>	Clear		8,4%	87,7%

Tabela 10 - Materiais aplicados no modelo do edifício Louveira

## Radiação

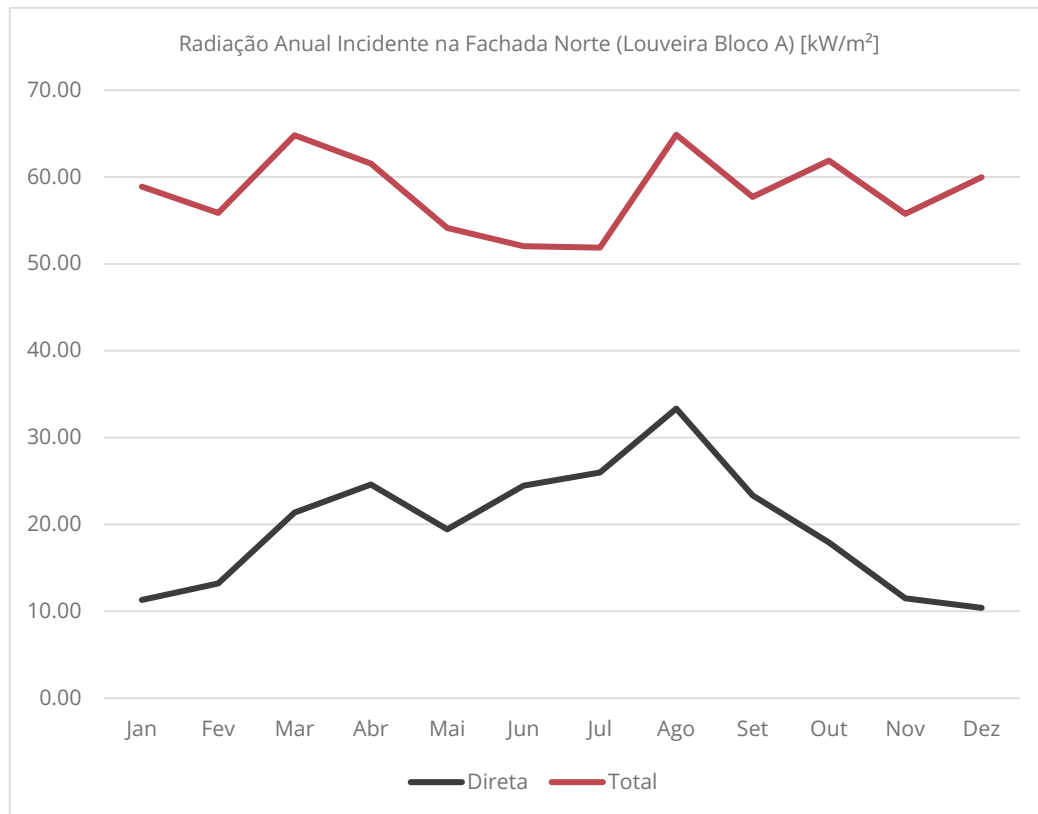


Gráfico 3 - Radiação Anual Incidente na Fachada Norte (Louveira Bloco A), em [kW/m<sup>2</sup>]

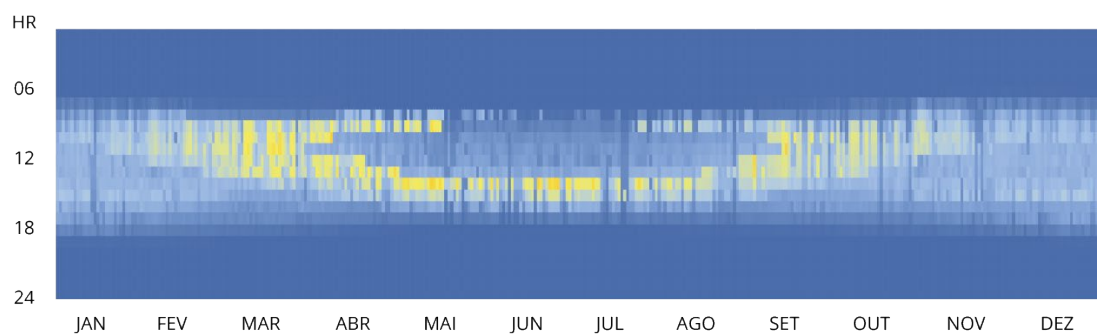


Figura 77 - Radiação Anual Incidente na Janela do 5º Andar, fachada norte, bloco A

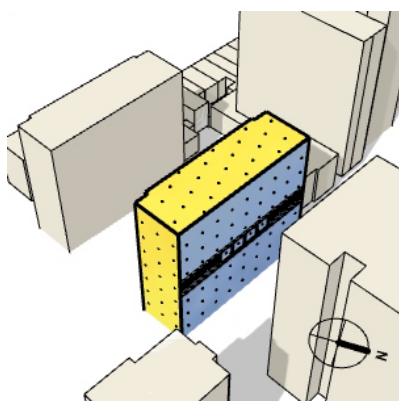


Figura 78 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Verão, 9h

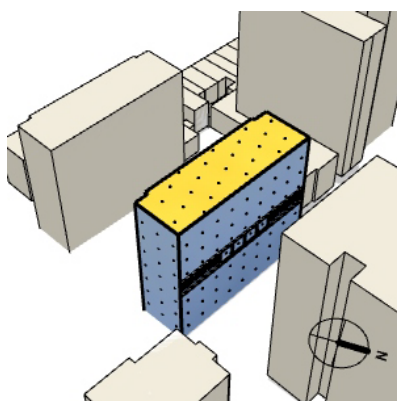


Figura 79 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Verão, 12h

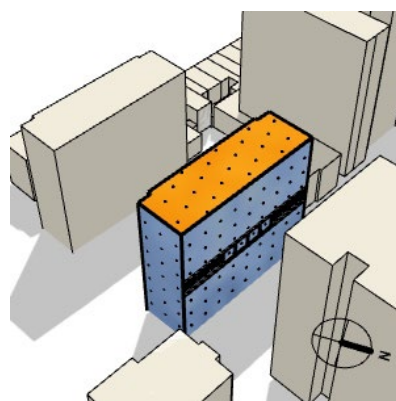


Figura 80 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Verão, 15h

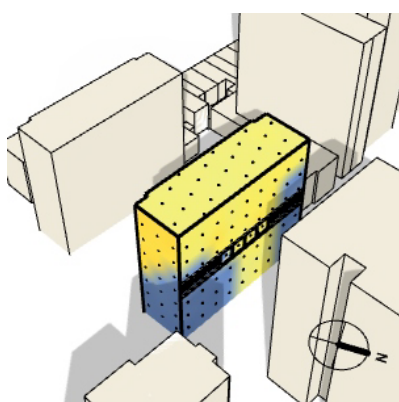


Figura 81 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Equinócio, 9h

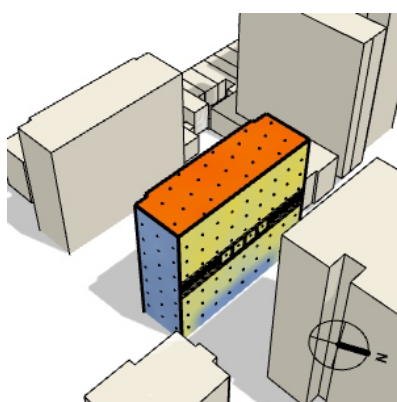


Figura 82 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Equinócio, 12h

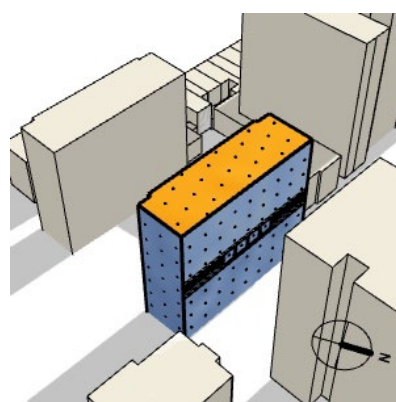


Figura 83 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Equinócio, 15h

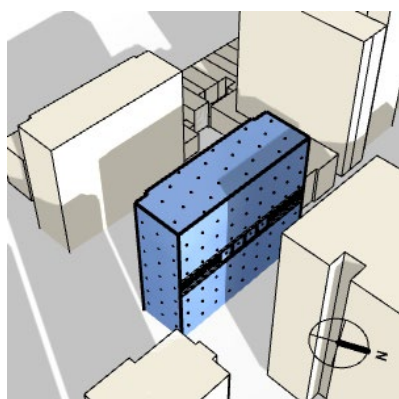


Figura 84 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Inverno, 9h

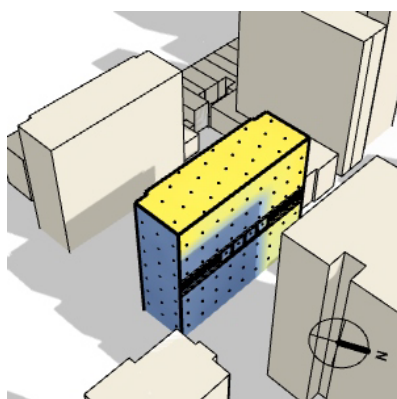


Figura 85 - Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. de Inverno, 12h

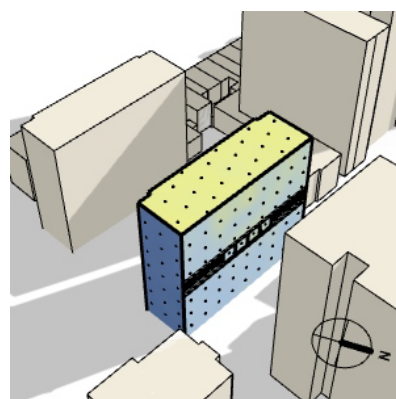


Figura 86- Radiação Incidente no Ed. Louveira, Sols. De Inverno, 15h



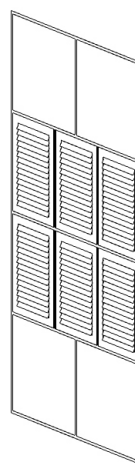
## Mascaramento

Para estudo do Edifício Louveira, os elementos de bloqueio solar na fachada dos dormitórios foram modelados (os quais também contam com um painéis de brasilit alaranjados), assim como a esquadria da sala. Não está previsto qualquer elemento arquitetônico para bloqueio nesse ambiente e observa-se a instalação de cortinas nesses ambientes. Para essa análise, restringiu-se aos elementos arquitetônicos, excetuando-se os de interiores- a existência cortinas, portanto, foi desconsiderada.

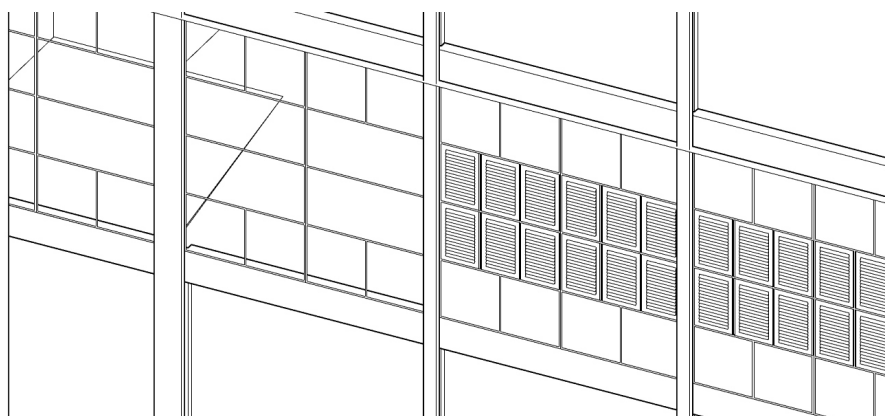
No mascaramento da janela da sala do Louveira, é possível identificar interferências do entorno, fator também identificável nas simulações de radiação. Isso impacta a quantidade de luz diurna disponível, ainda que a orientação da fachada seja praticamente idêntica à do Lausanne.



*Figura 87 - Foto das esquadrias e elementos de sombreamento do Edifício Louveira (Foto: Nelson Kon)*



*Figura 88 - Modelo simplificado do elemento de sombreamento do edifício Louveira*



*Figura 89 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração com mascaramento previsto em projeto original*

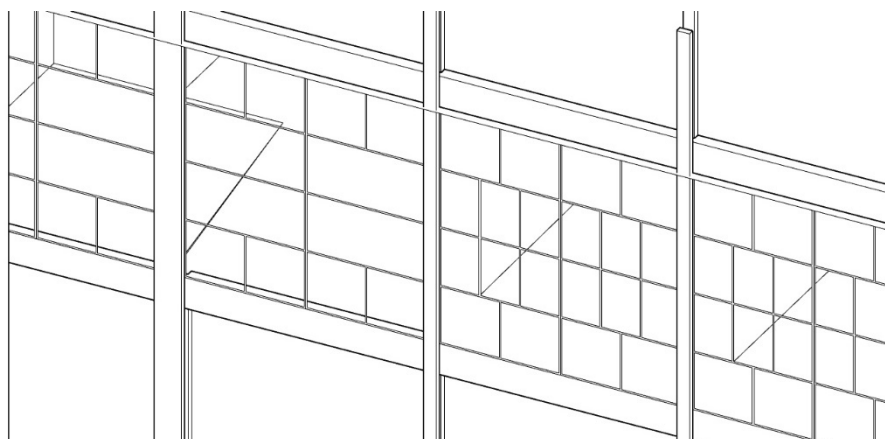


Figura 90 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Louveira, na configuração sem qualquer mascaramento

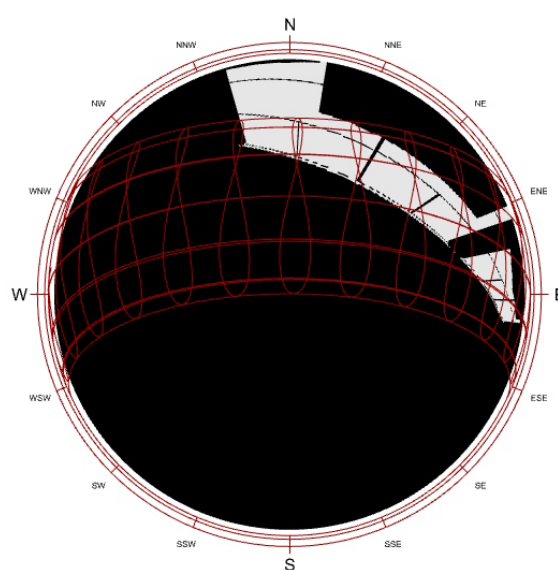


Figura 91 - Mascaramento para janela da sala do edifício Louveira, 5o andar

## Iluminância

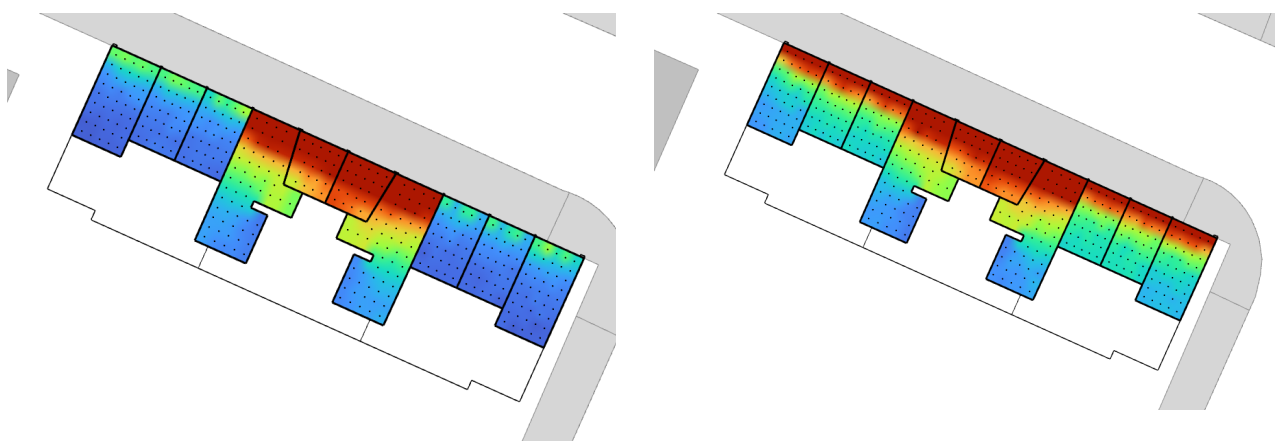


Figura 92 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 9h

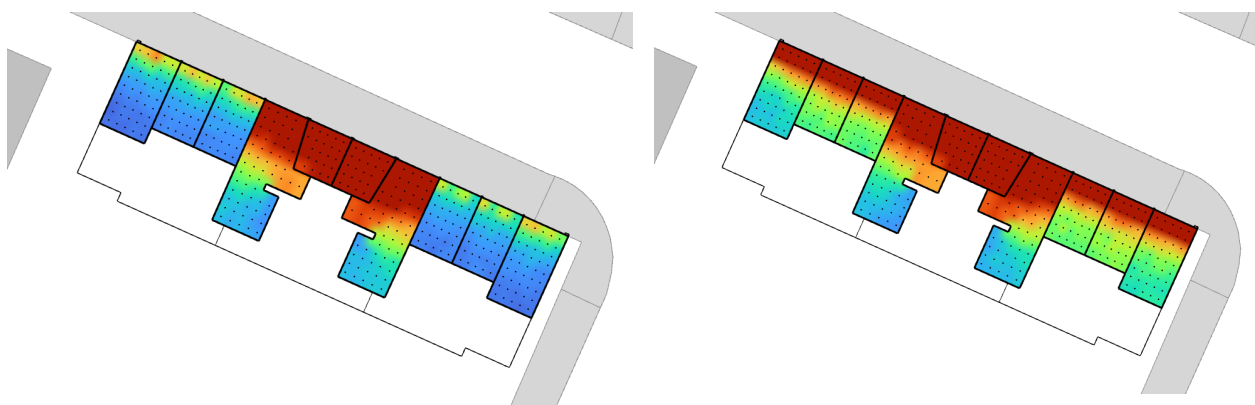


Figura 93 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 12h

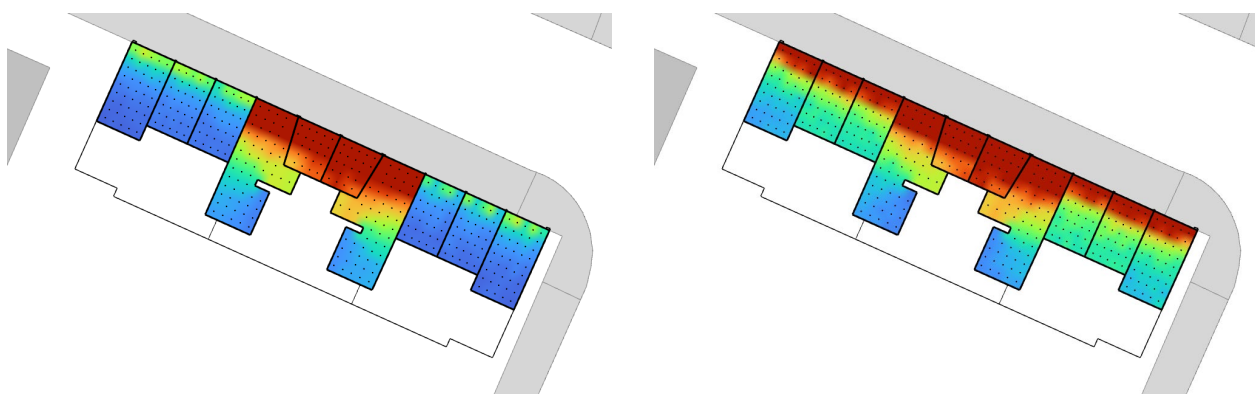


Figura 94 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 15h

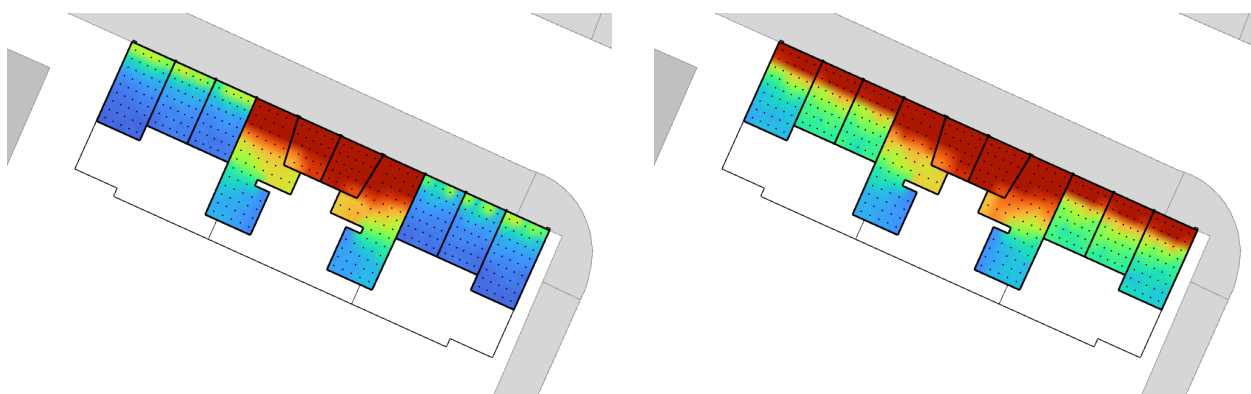


Figura 95 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de verão, 9h

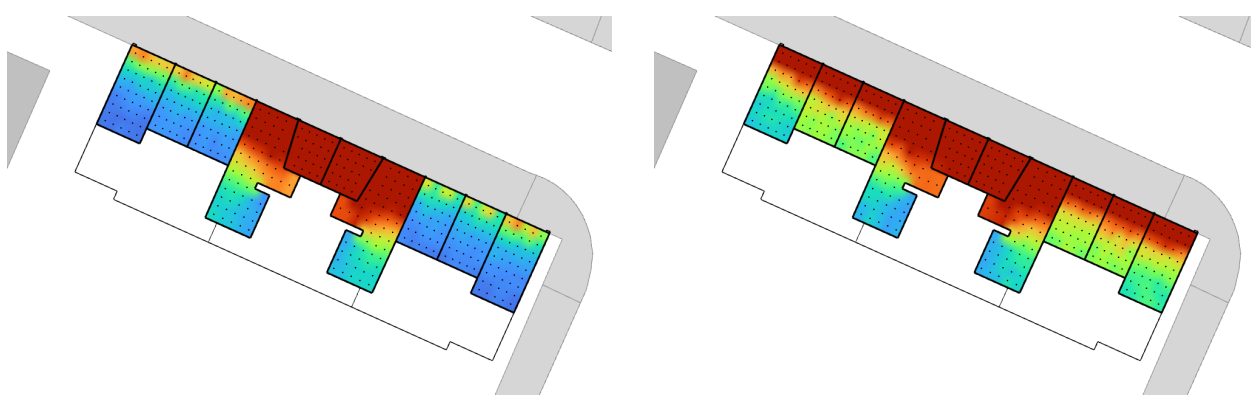


Figura 96 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 12h

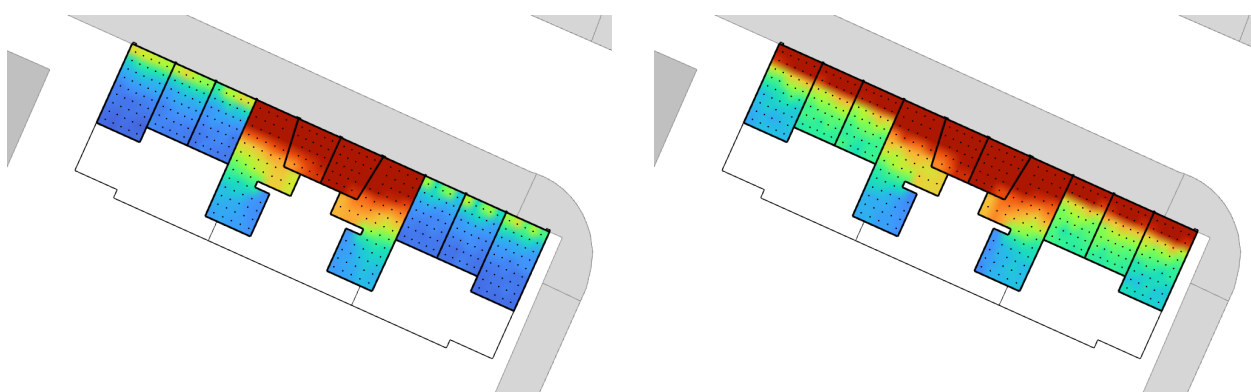


Figura 97 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 15h

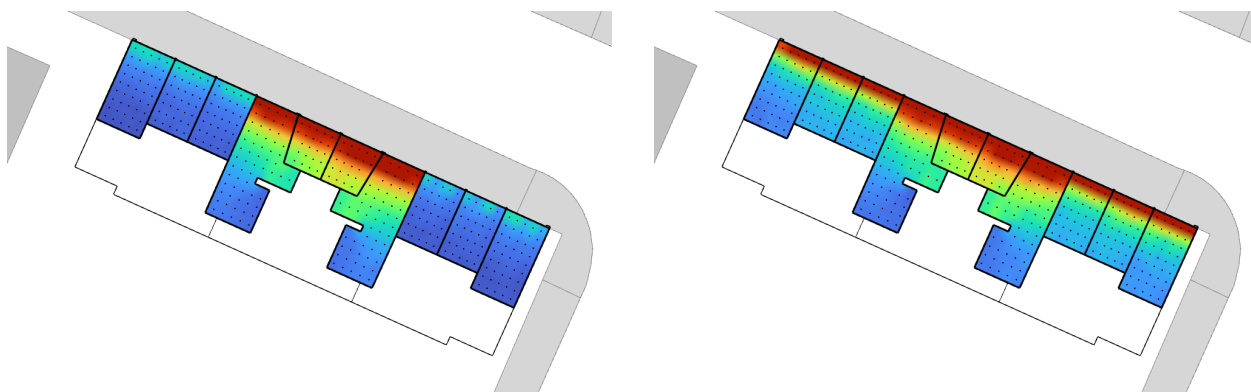


Figura 98 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 9h

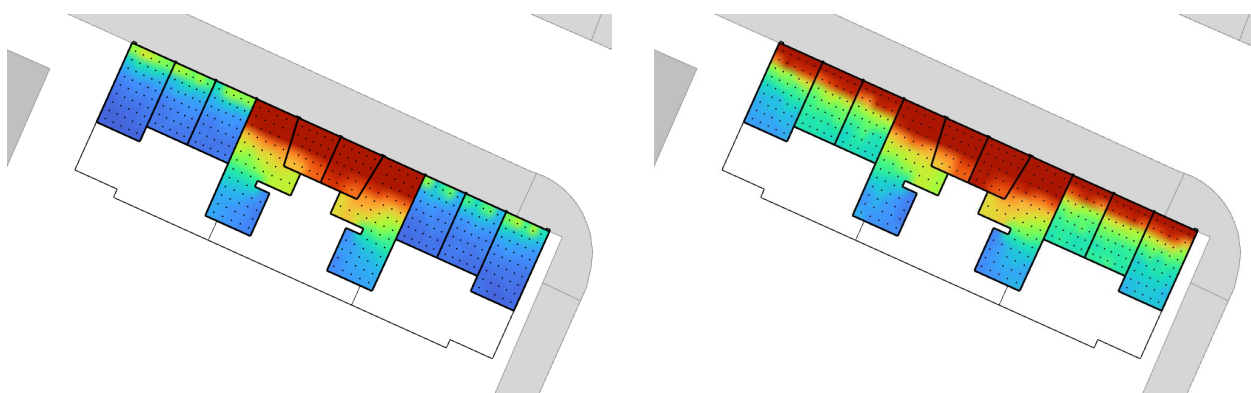


Figura 99 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 12h

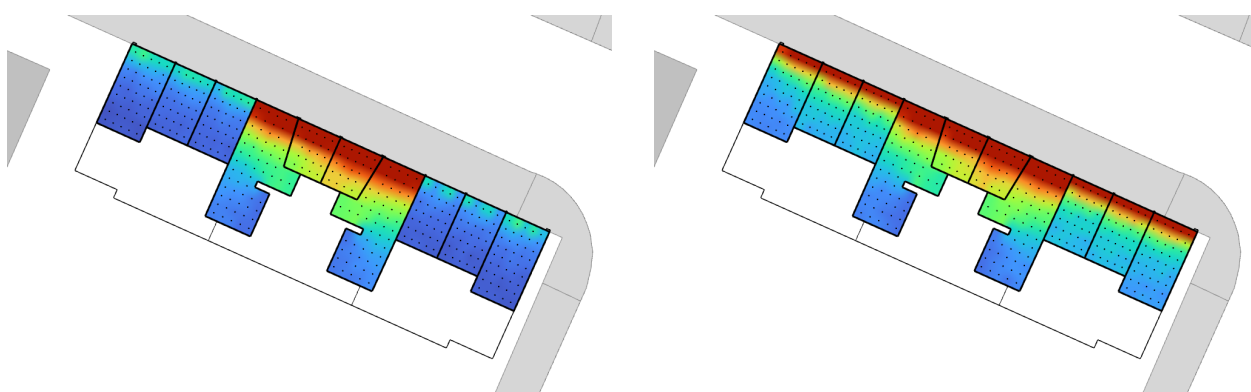
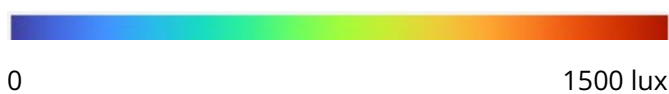


Figura 100 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Louveira, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de inverno, 15h



## Fator de Luz Diurna

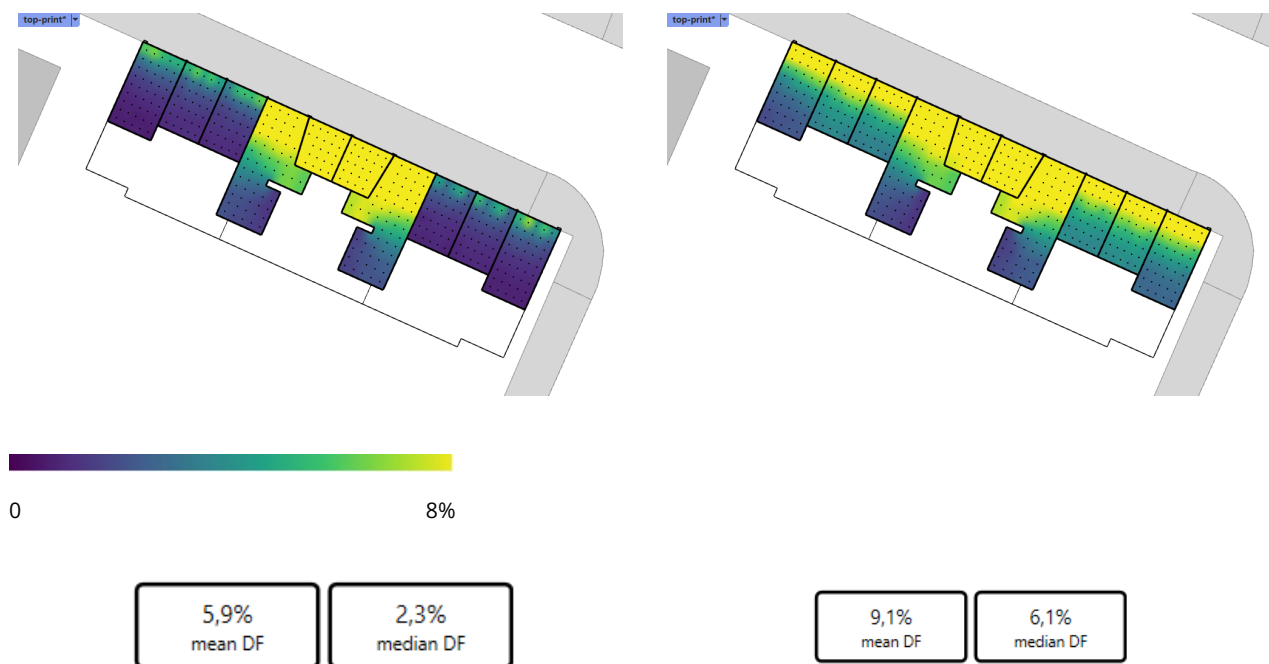


Figura 101 – FLD anual com e sem mascaramento para os cômodos da Fachada Norte do Edifício Louveira, respectivamente, com FLD média e mediana

Para o projeto do Louveira, fator de luz diurna se aproxima dos parâmetros de desempenho superior indicados pela NBR 15575-1 (>7.5%).

## Ofuscamento

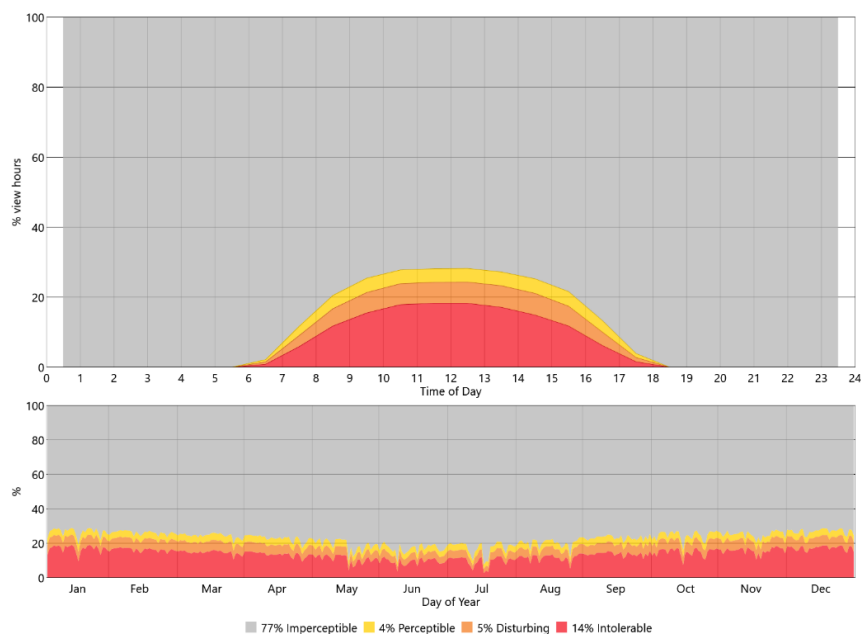
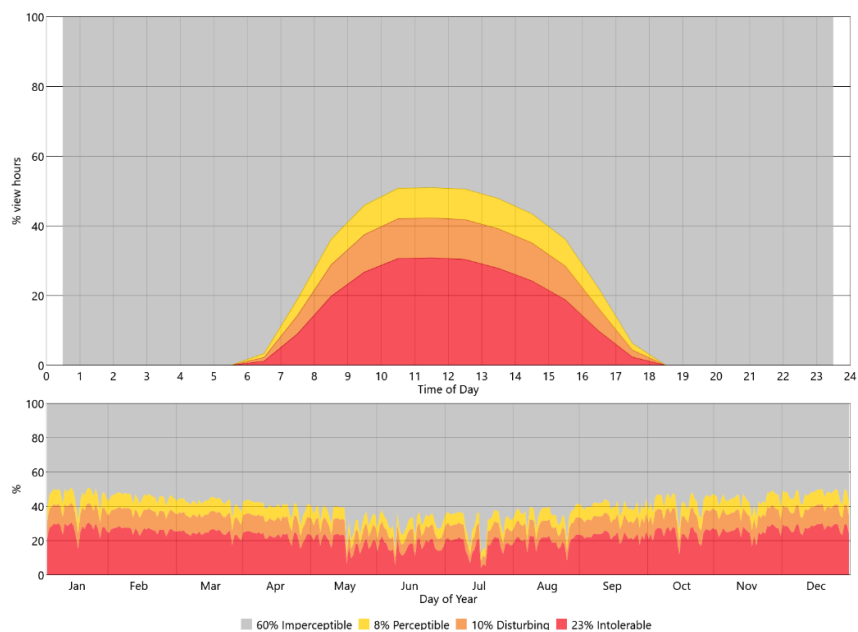
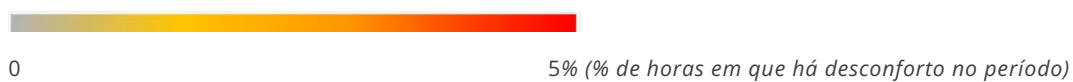


Figura 102 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos da fachada Norte do Edifício Louveira, com mascaramento do projeto original



*Figura 103 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos da fachada Norte do Edifício Louveira, sem qualquer proteção solar*



De forma similar ao Lausanne, a presença de elementos de sombreamento auxilia na atenuação do ofuscamento, mas ele se mantém durante todo o ano, atingindo um pico próximo ao meio dia.

## Simulações: Juriti

### Base arquitetônica e urbanística utilizada

Para o edifício Juriti, foram utilizados as plantas, elevações e cortes disponíveis em (GUERRA, GIMENEZ, SERAPIÃO, 2016, pp. 242-247), além da implantação disponível no portal Geosampa.



Figura 104 - Implantação do Edifício Juriti  
Fonte: Geosampa

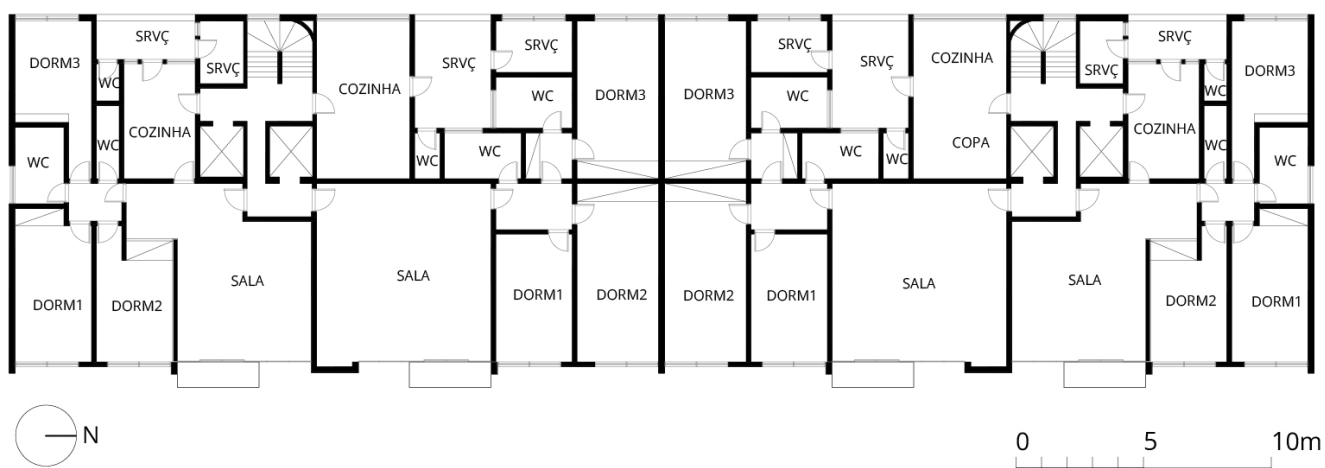


Figura 105 - Planta do Pavimento Tipo do Edifício Juriti. Redesenho da autora



Figura 106 - Ampliação da Planta do Pavimento Tipo do Edifício Juriti, mostrando duas unidades. Redesenho da autora

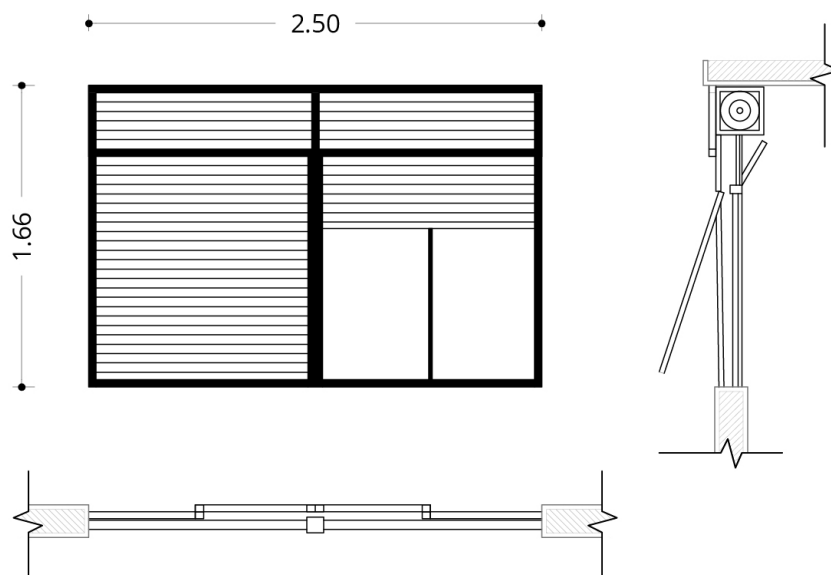


Figura 107 - Esquadria dos dormitórios do Edifício Juriti. Redesenho da autora

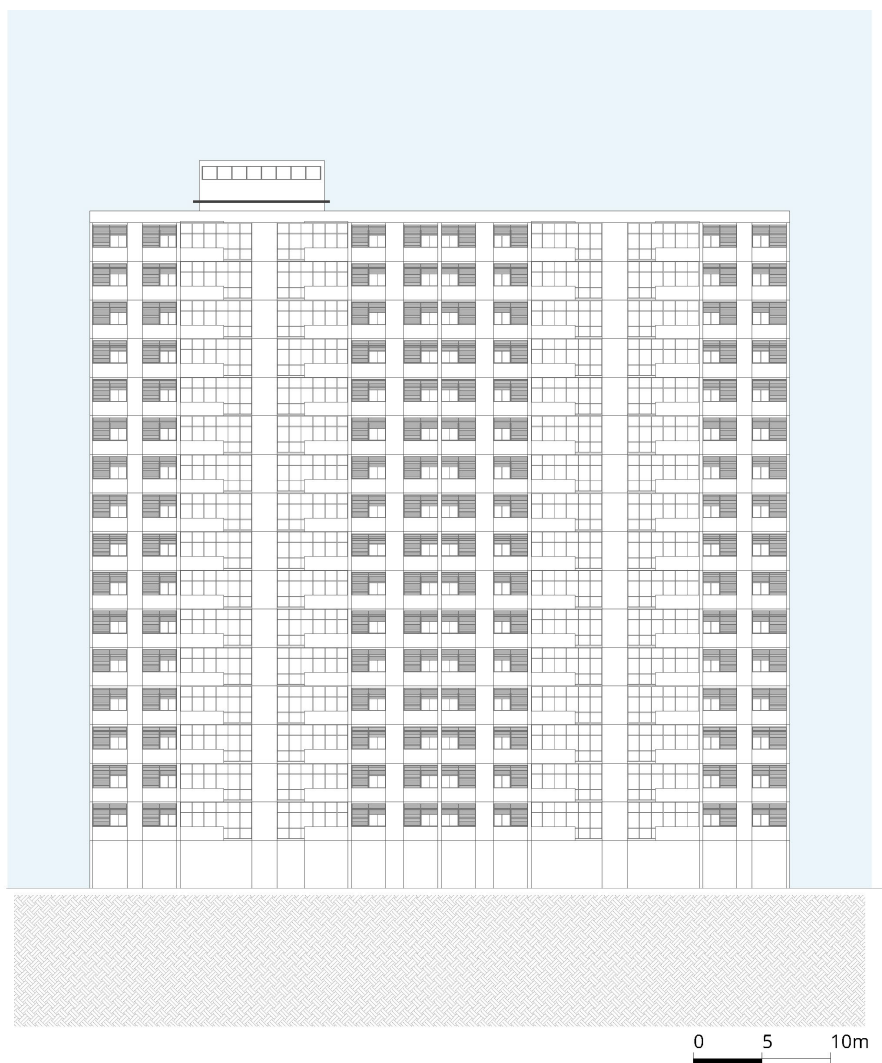










Figura 108 - Elevação da Fachada Leste do Edifício Juriti . Redesenho da autora

## Configurações das Simulações

<b>Arquivo climático utilizado*</b> *Fonte: LabEEE	BRA_SP_Sao.Paulo-Congo-nhas.AP.837800_TMYx.2003-2017.epw
<b>Pavimento escolhido</b>	8º andar
<b>Fachada dos quartos/sala</b>	Leste
<b>Espaçamento dos sensores considerado para simulação de radiação</b>	3.6m
<b>Espaçamento dos sensores considerado para simulações de iluminação natural</b>	0.7m

*Tabela 11 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do Edifício Juriti*

Superfície	Material*	Cor	Refletância	Transmitância
Edifícios do entorno	Beige Plaster Facade		78,0%	0%
Solo	Sandy Concrete Pavement		12,5%	0%
Borda da laje, pilares e fachada	Concrete exterior wall		71,1%	0%
Piso	Wood Floor		52,0%	0%
Forro e paredes	White plaster wall		86,6%	0%
Esquadrias	Matte Aluminum Window Mullion		56,3%	0%
Proteção solar	Wood Worm		17,5%	0%
Vidros	Clear		8,4%	87,7%

*Tabela 12 - Materiais aplicados no modelo do edifício Juriti*

## Radiação

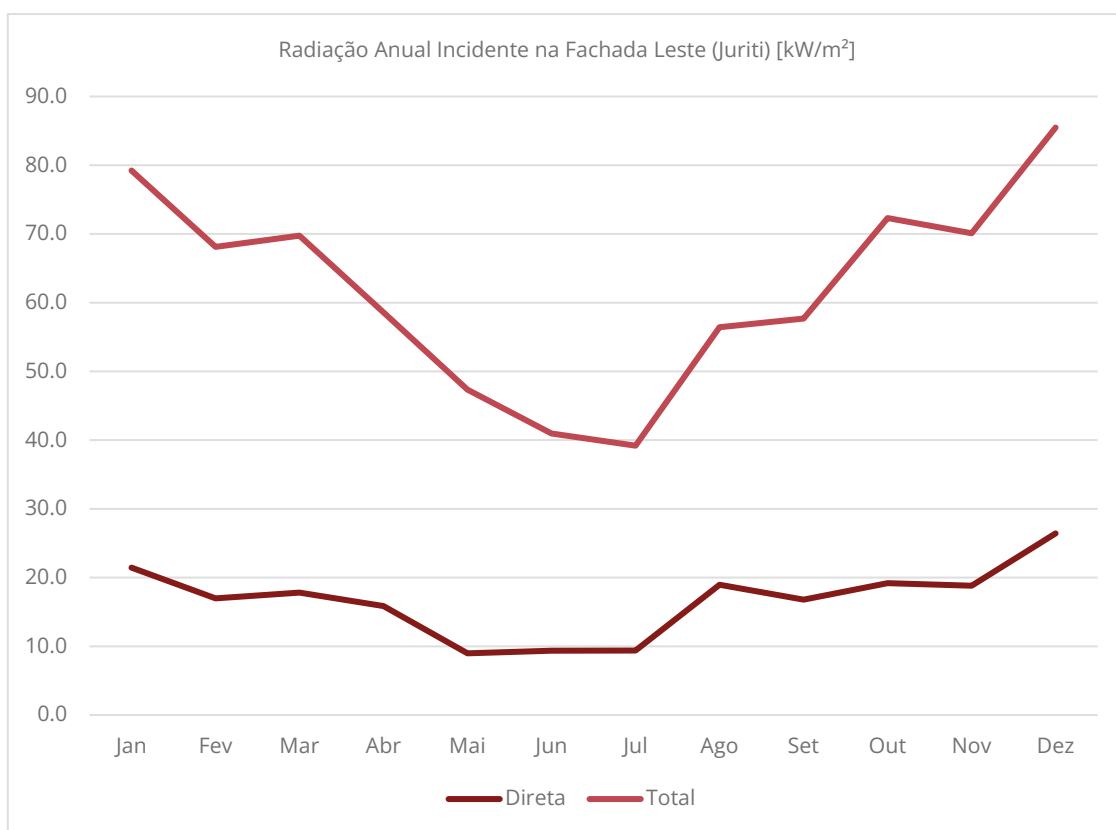


Gráfico 4 - Radiação Anual Incidente na Fachada Leste [kW/m<sup>2</sup>]

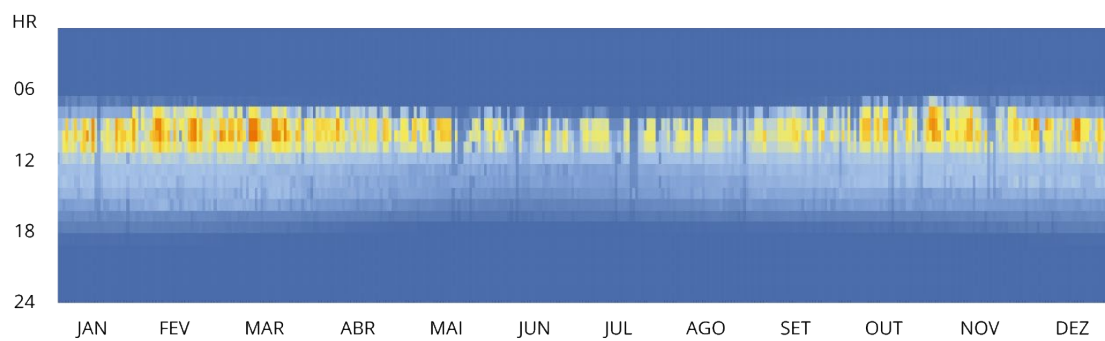


Gráfico 5 - Radiação Anual Incidente na janela central do 8º andar do Edifício Juriti, fachada Leste

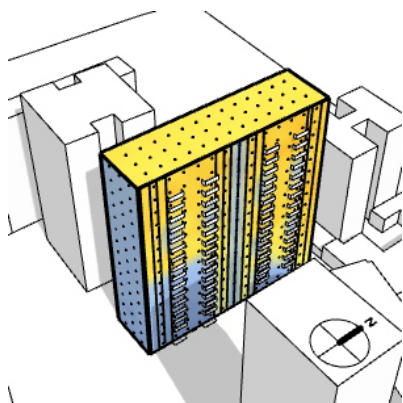


Figura 109 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Verão, 9h

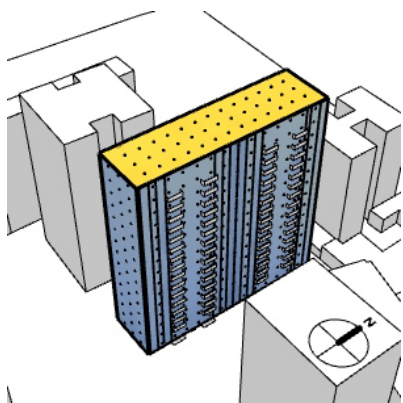


Figura 110 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Verão, 12h

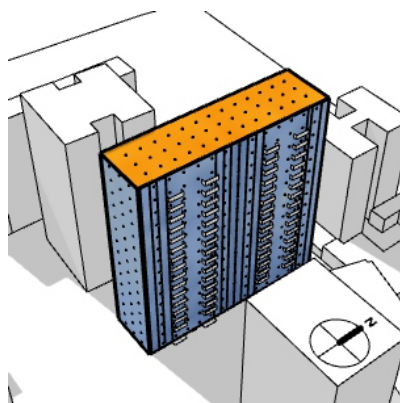


Figura 111 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Verão, 15h

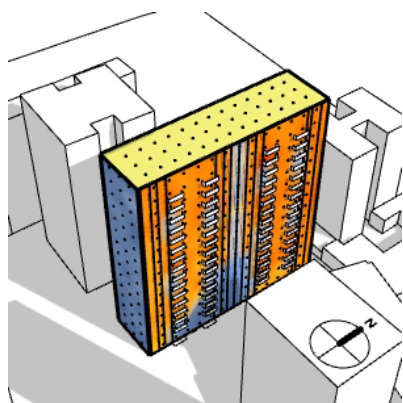


Figura 112 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Equinócio, 9h

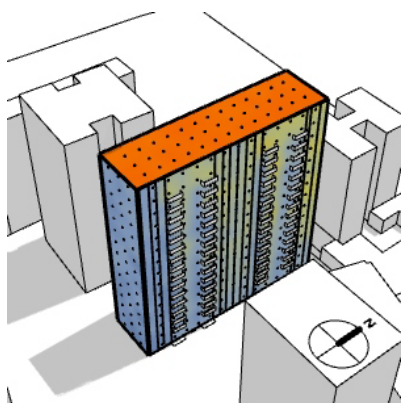


Figura 113 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Equinócio, 12h

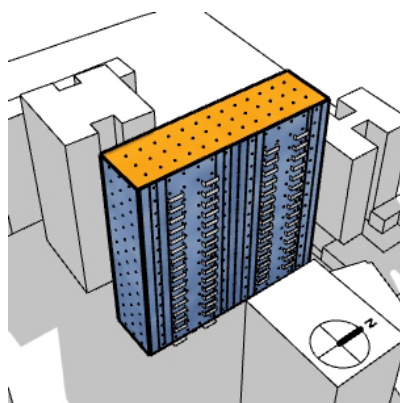


Figura 114 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Equinócio, 15h

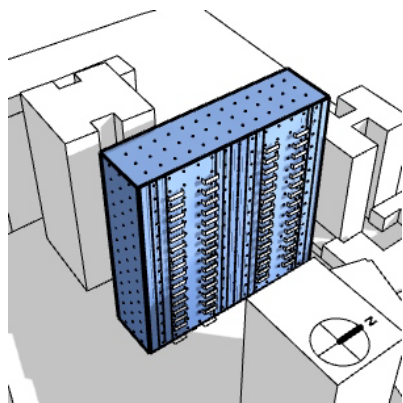


Figura 115 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Inverno, 9h

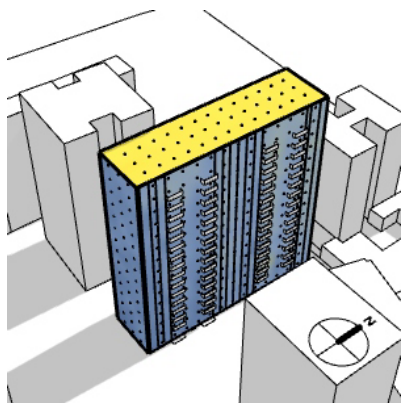


Figura 116 - Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Inverno, 12h

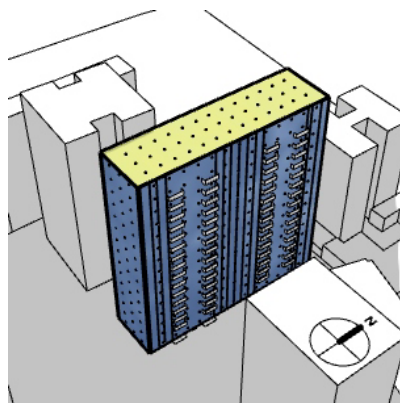


Figura 117- Radiação Incidente no Ed. Juriti, Sols. de Inverno, 15h



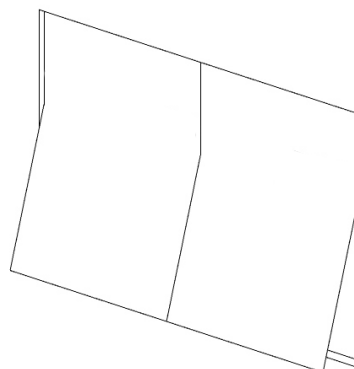
Diferentemente dos edifícios Lausanne e Louveira, o Juriti recebe menos insolação durante o período de inverno, de abril a setembro. Considerando a localização em São Paulo, isso não é interessante do ponto de vista do conforto, conforme discutido na página 45. Além disso, dentre os casos estudados, é o que mais sofre interferências do entorno, visto que é rodeado de edifícios de múltiplos pavimentos.

## Modelo e mascaramento

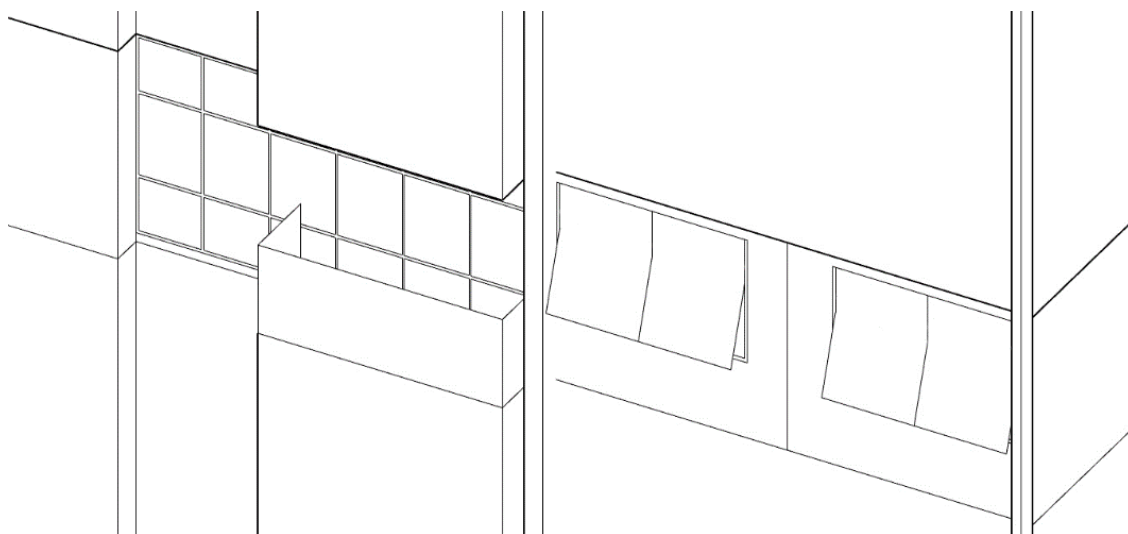
Para a simulação do edifício Juriti, a proteção solar considerada diz respeito ao elemento de sombreamento móvel que pode ser conferido abaixo. Além disso, ainda que não constituam elementos de bloqueio solar por si só, as varandas e pilares também foram levados em consideração.



*Figura 118 - Foto dos elementos de sombreamento do Edifício Juriti (Foto: Nelson Kon)*



*Figura 119 - Modelo simplificado do elemento de sombreamento do edifício Juriti*



*Figura 120 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Juriti, na configuração com mascaramento previsto em projeto original*

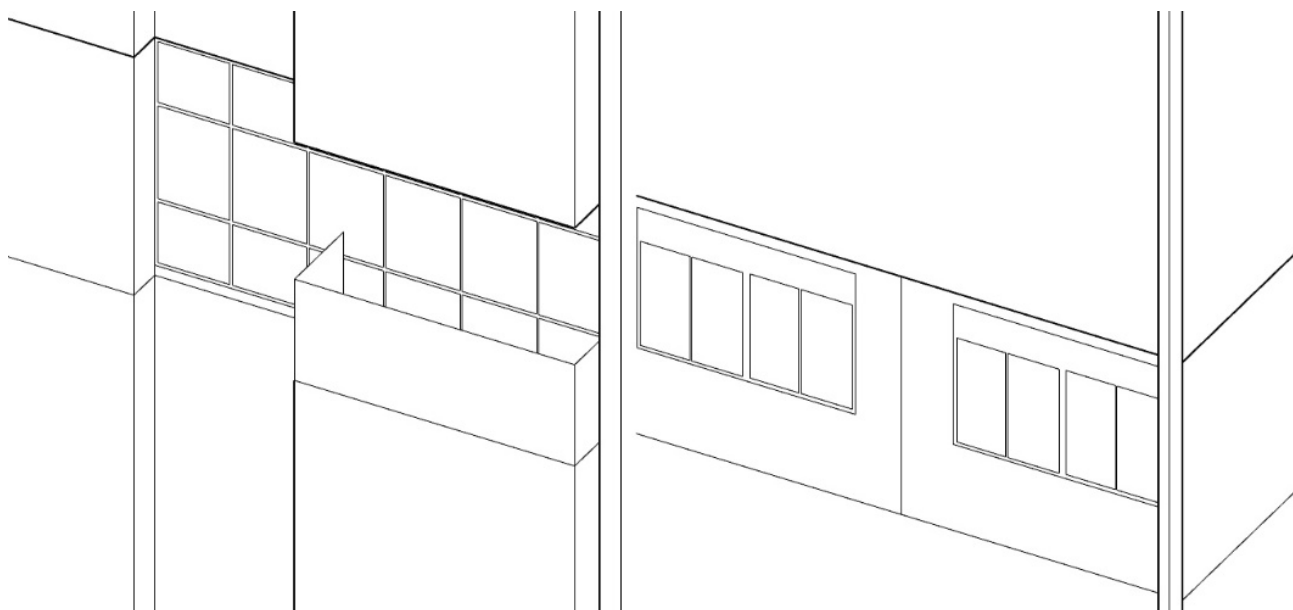


Figura 121 - Foto do modelo utilizado para simulações de luz diurna para o edifício Juriti, na configuração sem qualquer mascaramento

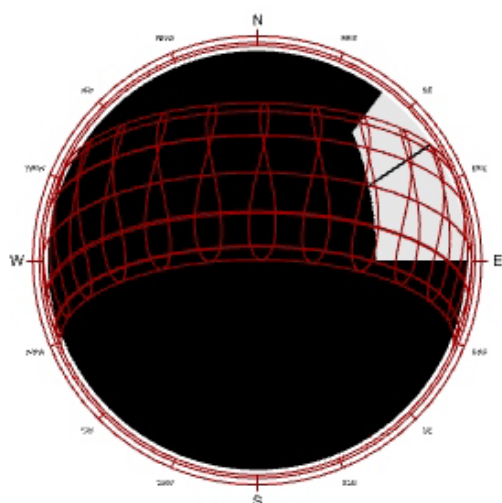


Figura 122 - Mascaramento para janela do dormitório do edifício Juriti, 8o andar, a 1m da janela e a 90cm do piso acabado

## Radiação

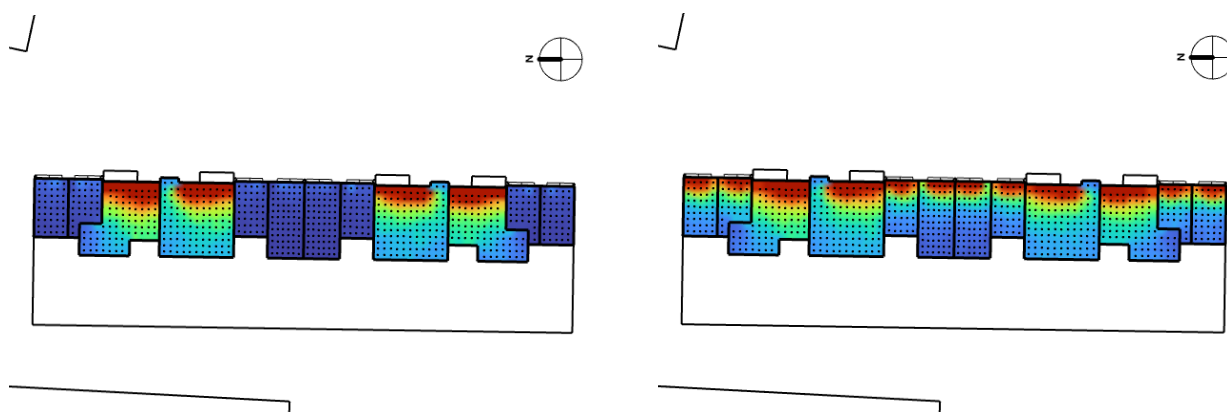


Figura 123 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 9h

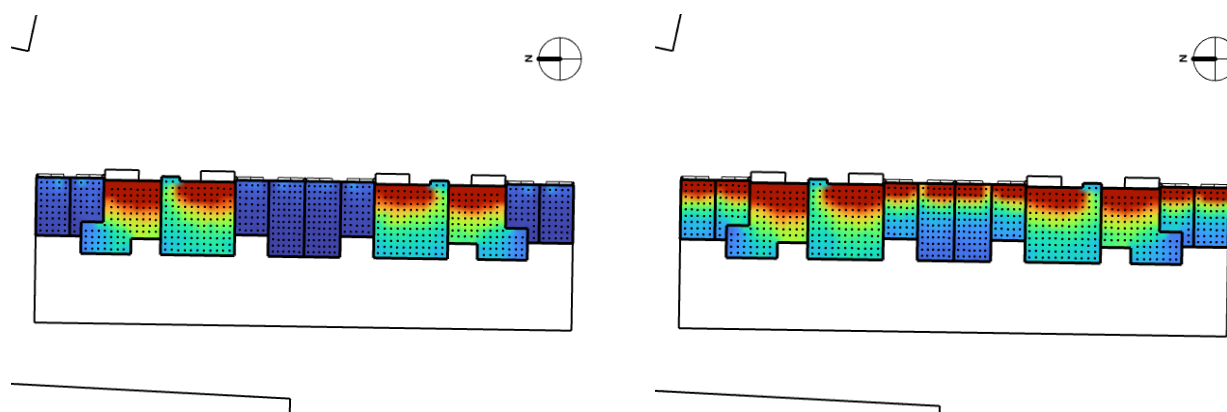


Figura 124 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 12h

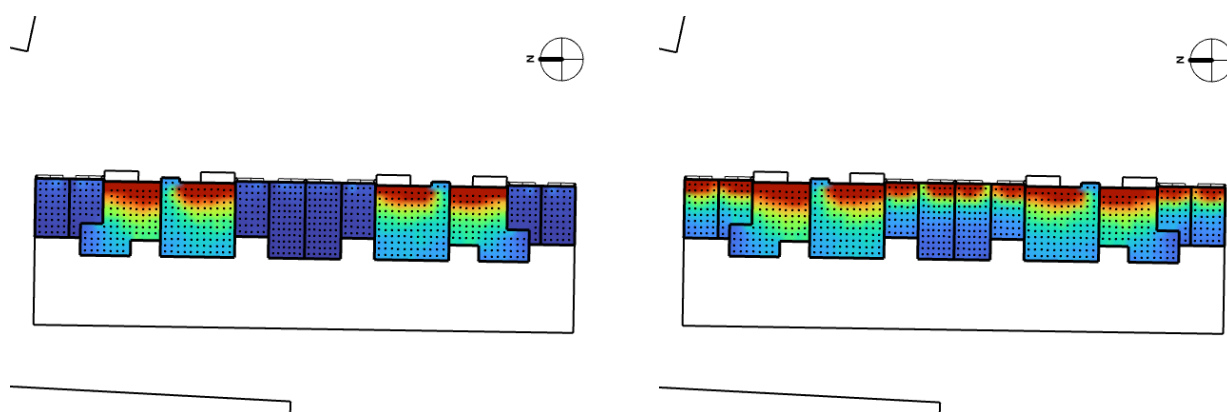


Figura 125 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante equinócio, 15h

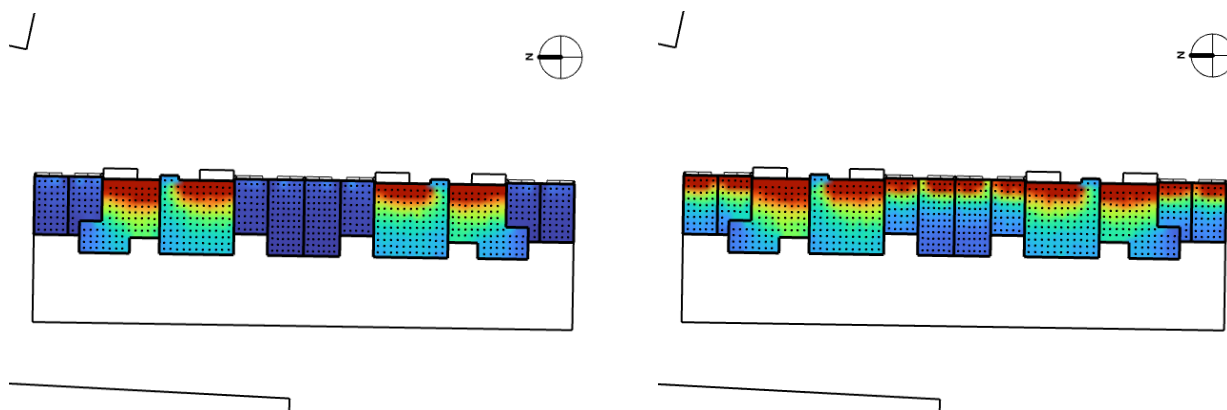


Figura 126 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de verão, 9h

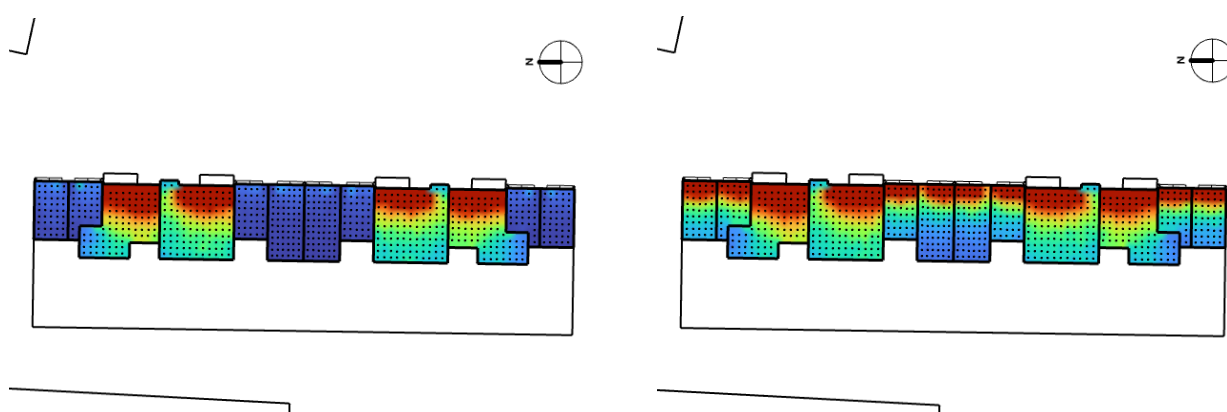


Figura 127 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 12h

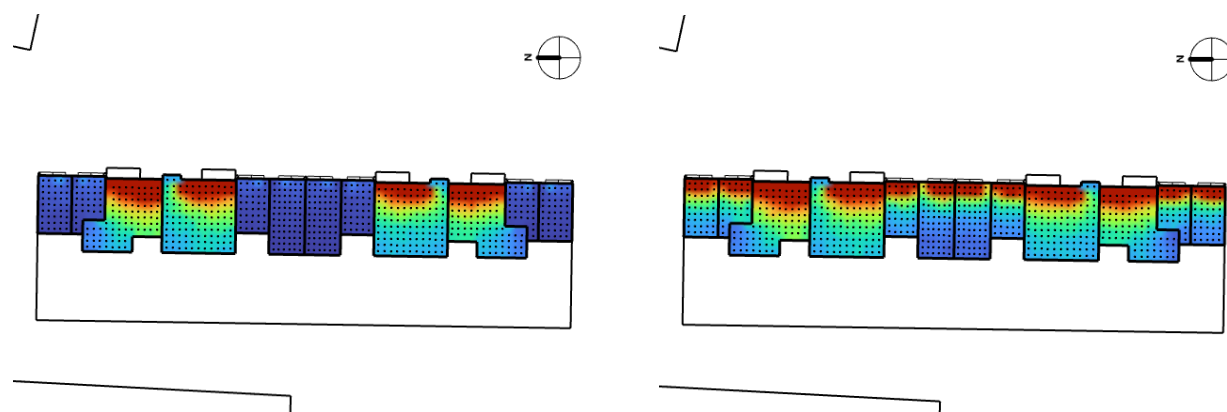


Figura 128 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de verão, 15h

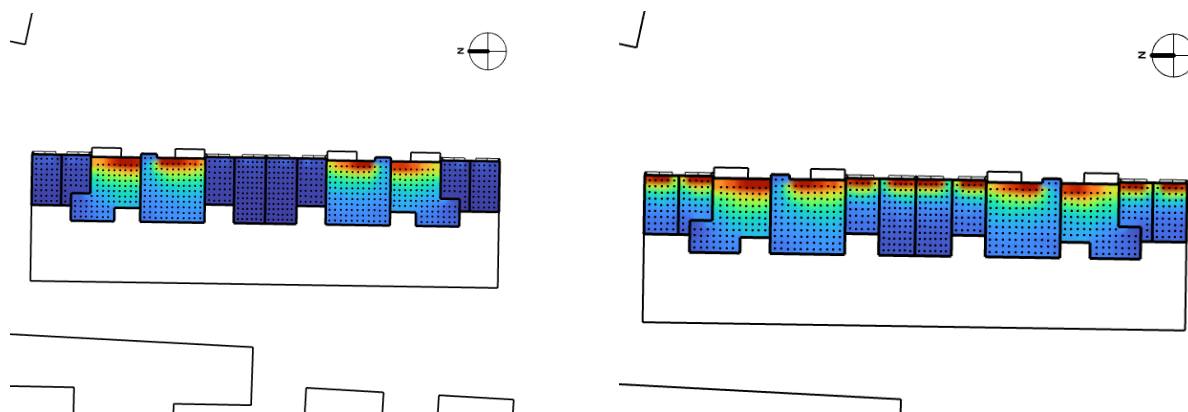


Figura 129 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 9h

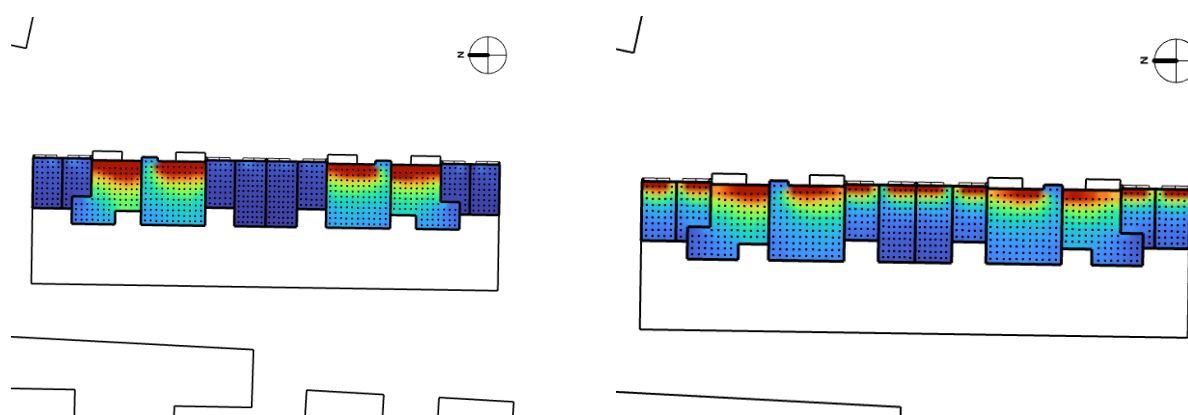


Figura 130 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, solstício de inverno, 12h

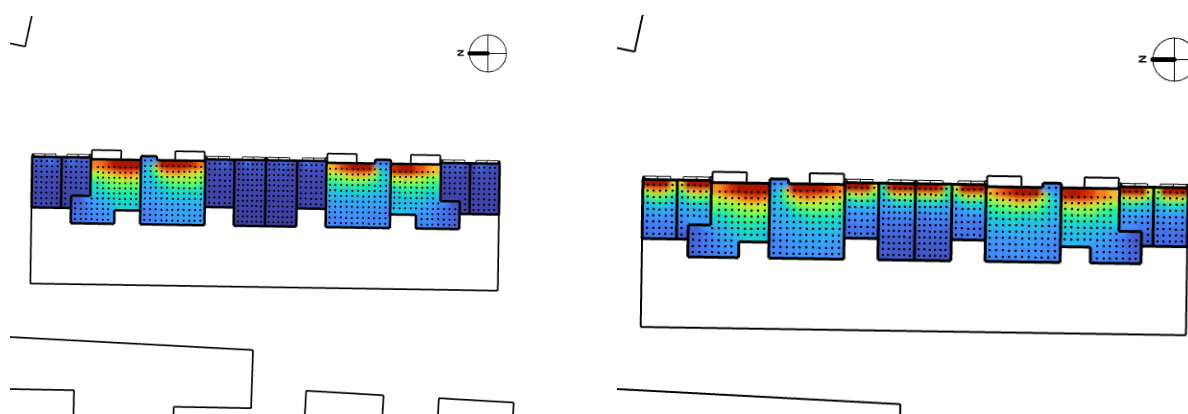


Figura 131 - Iluminância nos espaços analisados do edifício Juriti, com e sem elemento de proteção, respectivamente, durante solstício de inverno, 15h



## Fator de Luz Diurna

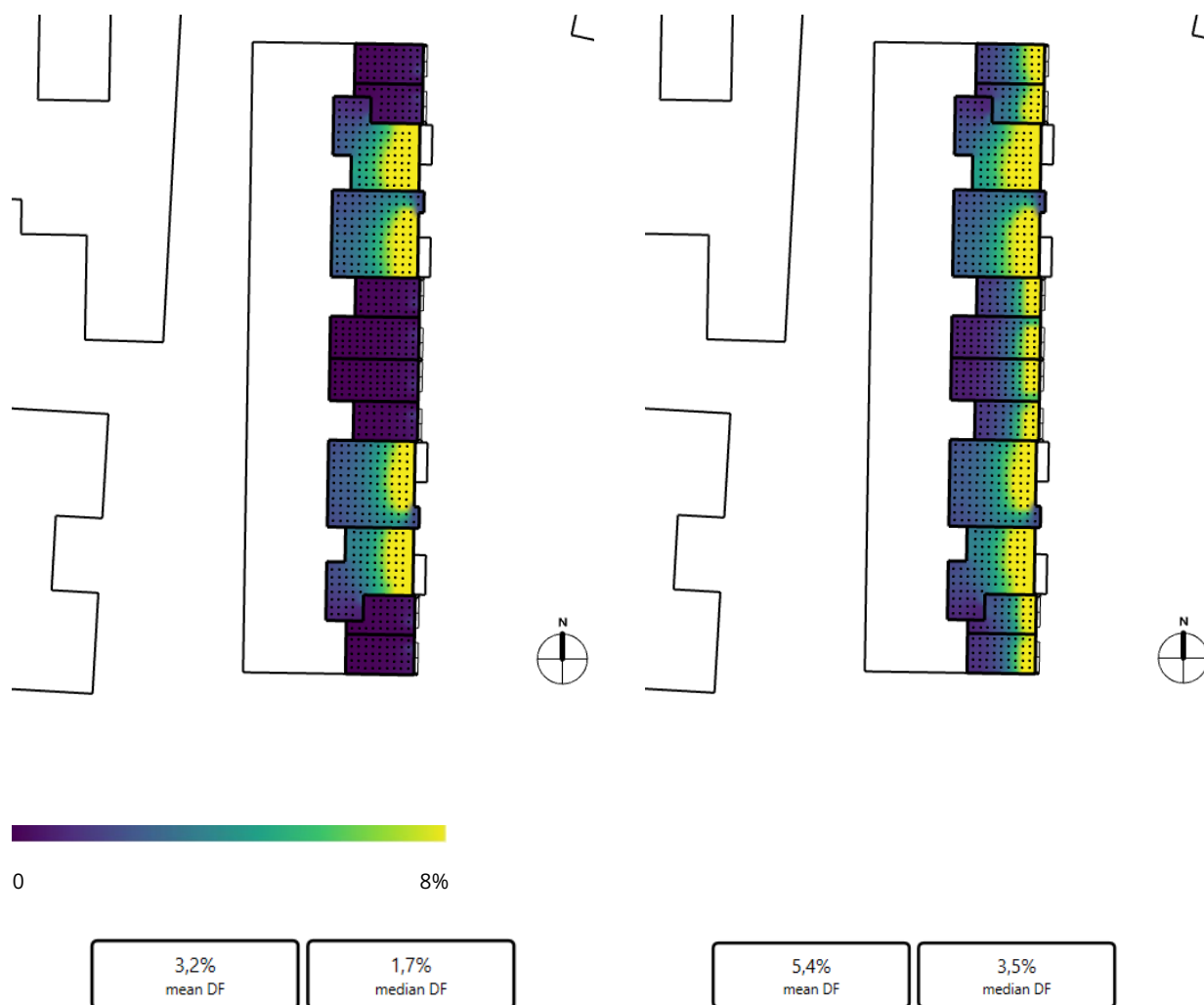


Figura 132 – FLD anual com e sem mascaramento para os cômodos da Fachada Leste do Edifício Juriti, respectivamente, com FLD média e mediana

O FD dos ambientes da fachada Leste do edifício Juriti atingem um desempenho superior de acordo com a classificação da NBR15575 em regiões próximas às janelas. Em particular, há um bom desempenho na sala, na medida em que a distribuição do FD é mais uniforme.

## Ofuscamento

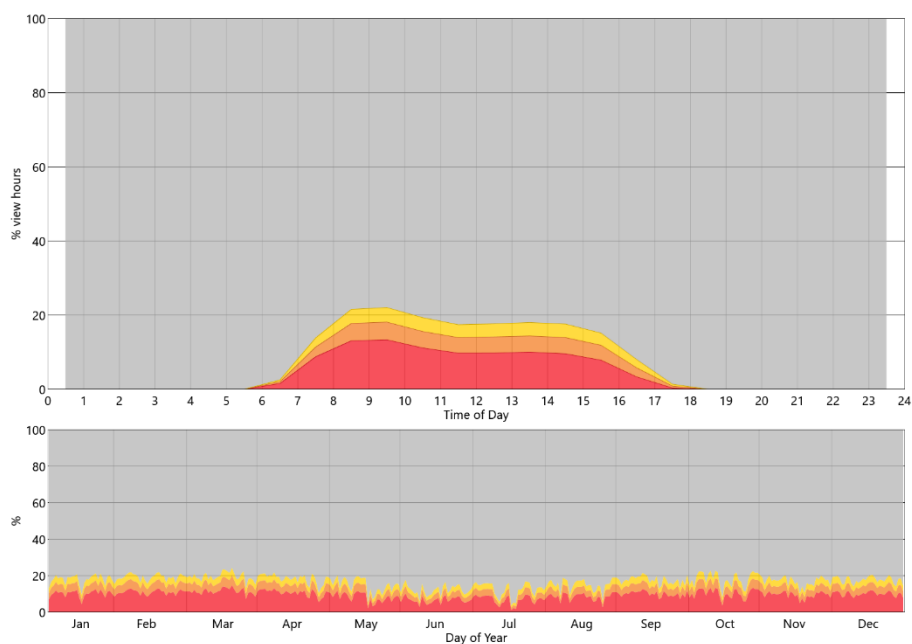


Figura 133 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Juriti, com mascaramento do projeto original

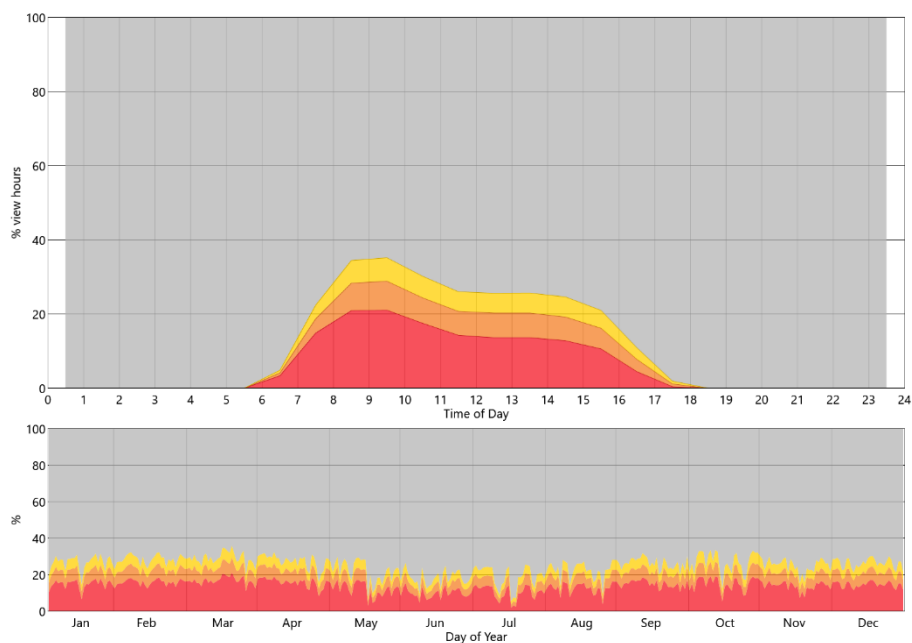


Figura 134 - Ofuscamento anual calculado para os cômodos junto à fachada Leste do Edifício Juriti, sem qualquer proteção solar



0

5% (% horas em que há desconforto)

## Análise das simulações e requisitos de design

De acordo com as análises desenvolvidas, de forma geral, é possível assinalar como suficiente a radiação e a iluminação diurna disponível dos três estudos de caso de acordo com as referências de desempenho adotadas. Entretanto, é imprescindível a adoção de estratégias de controle solar para garantir o conforto do usuário e o aproveitamento desse potencial. De fato, as orientações das fachadas principais dos dois primeiros casos para Norte contribuem para essa performance superior quando comparadas à orientação Leste.

Em particular, o Edifício Lausanne não possui obstruções externas na fachada Norte, conferindo-lhe incidências de radiações mais uniformes em toda sua superfície. Além disso, a incidência de radiação direta ocorre com maior frequência no inverno, o que é desejável para edificações do hemisfério Sul. Em contrapartida, o bloco A do Louveira, cujos dormitórios e salas também possuem orientação Norte, também recebem maiores insolações durante o período de inverno e início da primavera, mas com mais obstruções em relação ao Lausanne, ainda que suas orientações sejam praticamente idênticas.

Enquanto isso, o Juriti é o caso mais afetado dos três pela volumetria do entorno, havendo incidência de radiação globais menores e heterogêneas na superfície da fachada principal, orientada para Leste. Mesmo assim, recebe raios solares potencialmente incômodos entre outubro e março. Considerando a verticalização de bairros centrais São Paulo, este último caso corresponde a situação relevante para dimensionamento de elementos posicionados junto às aberturas.

Assim, além dos edifícios preexistentes, é preciso cogitar a construção posterior de edificações com alto gabarito que eventualmente impeçam a radiação direta nas superfícies desejadas no dimensionamento de elementos localizados nas aberturas. É desejável, portanto, que ele também possa contribuir para a melhor dispersão da luz caso seja solicitado.

No geral, os resultados obtidos atenderam às demandas de iluminação no que concerne à quantidade de luz diurna disponível ao longo do ano. Entretanto, nos casos avaliados, os pontos críticos dizem respeito à qualidade da luz diurna. Assim, constituem pontos críticos o ofuscamento e a distribuição de luz solar, sobretudo entre o período de 10h-14h para todos os casos, que devem ser regulados segundo as necessidades do usuário. Além disso, há grande potencial para aproveitamento da luz diurna em todos os edifícios, embora o incômodo gerado pelo ofuscamento seja particularmente crítica.

No que diz respeito aos elementos de bloqueio solar adotados nos projetos, o aplicado no Juriti se mostrou bastante eficiente mesmo na configuração aberta e angulada, constituindo uma solução interessante na medida em que também permite que o vão da janela seja desobstruído totalmente. Já para o Louveira propõe-se uma regulação na qual o elemento desliza verticalmente, o que pode ser interessante para permitir a entrada de luz na porção superior da janela, ao mesmo tempo em que a inferior pode ser mantida na posição fechada de forma a contribuir para a privacidade do ambiente.

Entretanto, ele não é munido de elementos que possam ser regulados de forma basculante, de modo a graduar a luz do ambiente.

Enquanto isso, o brise do Lausanne permite a entrada de luz quando as aletas estão na posição aberta, bloqueando parte da luz incidente sem que a vista seja totalmente bloqueada. Assim como os elementos adotados no Louveira e no Juriti, Ele também permite a desobstrução total da janela e se trata de um notável elemento arquitetônico, constituindo a fachada de forma notória.

De forma sintética, foram levantados os seguintes diagnósticos sobre os estudos de caso e requisitos para o sistema a ser projetado:

- Há disponibilidade de luz diurna e ela está distribuída ao longo do ano, mas o ponto crítico diz respeito à qualidade dessa luz dentro do ambiente;
- Assim, há grande potencial para o aproveitamento da luz diurna;
- Há momentos críticos do ano em que o bloqueio solar é desejável, tanto do ponto de vista de controle de ofuscamento quando de controle térmico;
- No inverno, é interessante que haja aquecimento por radiação solar em SP;
- Em zonas urbanas densamente ocupadas, a interferência do entorno pode ser um fator impactante para o conforto do ambiente interno;
- O conjunto deve ser adaptável a diferentes orientações de fachadas;
- É importante garantir que a vista exterior esteja desobstruída caso o usuário deseje, visto que é um fator importante para o conforto visual e psicológico;
- O dispositivo deve ser adaptável para diferentes tipos de edificação e deve resistir a intempéries;
- A escolha de materiais deve ser compatível com os requisitos térmicos e visuais;
- Os componentes devem manter a estanqueidade da fachada e do interior do ambiente;
- O dispositivo deve ser replicável (industrializável), de modo a viabilizar uma eventual produção futura.

## Concepção do produto

Considerando os requisitos levantados anteriormente e a fase de benchmarking realizada, um sistema que permita não apenas o bloqueio solar, mas que também contribua para a qualidade da luz e de sua dispersão no ambiente, seria favorável para contribuir positivamente para o conforto em unidades habitacionais em São Paulo-SP.

Tendo como referência o sistema LightLouver (ver seção *Sistema LightLouver*), considerou-se que a divisão da janela em duas áreas (uma inferior, na qual a opção de bloqueio solar é possível e é independente da superior, na qual a luz pode ser rebatida para o forro, contribuindo para a iluminância sem causar desconforto visual) é uma estratégia particularmente interessante.

Além disso, observou-se que elementos basculantes contribuem para a eficiência e adaptabilidade desses elementos. A opção de poder desobstruir a janela totalmente, por sua vez, é importante para estabelecer uma conexão dos ambientes internos com o exterior.

Assim, é desejável que o um sistema de controle de luz diurna possua alta adaptabilidade e permita alta personalização pelo usuário em sua operação. Além disso, o ideal é que ele possa ser instalado em diferentes orientações conforme requisitos específicos, ao mesmo tempo em que se possa manter a homogeneidade da fachada, caso desejado. Há a possibilidade, também, de tirar proveito de propriedades de diferentes tipos de acabamentos, a fim de potencializar a eficiência da solução.

Um outro aspecto que foi levado em consideração foi a possibilidade de instalar o sistema em edificações pré-existentes, com vistas a requalificação de edificações de modo que elas atendam às normas de requisitos ligadas ao conforto, dentro do entendimento que deve se ampliar o acesso e a possibilidade de adoção de soluções ligadas à arquitetura bioclimática.

Com base nessas premissas, foram elaborados alguns croquis iniciais durante a fase de concepção do sistema. Partiu-se da ideia de conceber painéis independentes, segundo uma divisão do vão em duas porções:

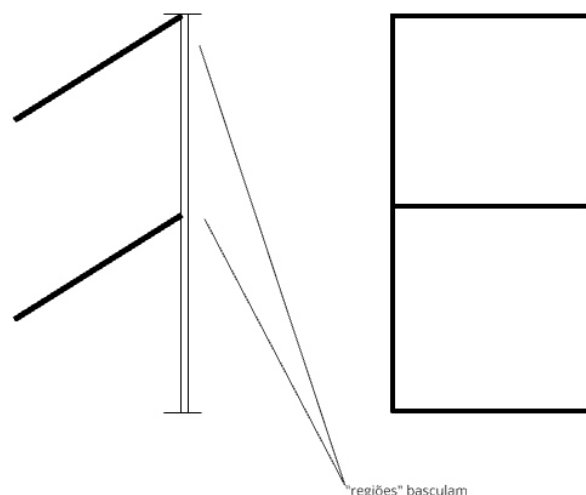


Figura 135 - Croquis iniciais e desenvolvimento do sistema

Levando em conta o desejo de conceber uma solução homogênea e adaptável, foram cogitados alguns elementos modulares (em roxo, abaixo) que pudessem ser controlados individualmente, conforme croqui abaixo:

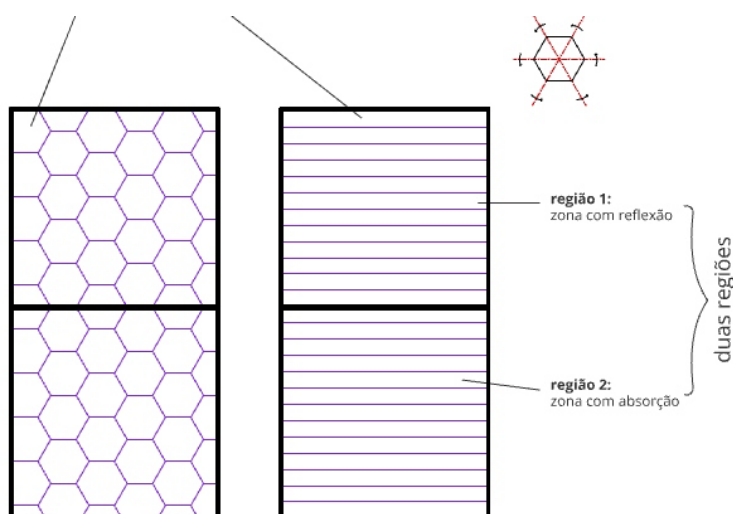


Figura 136 - Croquis iniciais e desenvolvimento do sistema. Desenho da autora

Com o avanço da reflexão sobre a solução, foi concluído que uma modulação hexagonal não favoreceria a instalação e a fabricação do elemento em diferentes dimensões como ilustrado acima. Além disso, alas retangulares possuem alguma restrição na sua operação e sua orientação indicada também diverge segundo orientação de fachada (de forma geral, brises horizontais são instalados em fachadas Norte e Sul, enquanto brises verticais são instalados em fachadas Leste e Oeste).

Dessa forma, entendeu-se que um módulo ajustável quadrado poderia ser rotacionado tanto vertical quanto horizontalmente, mantendo a homogeneidade da fachada. Além disso, esse formato favorece que painéis retangulares de diferentes dimensões possam ser subdivididos em elementos modulares menores. A rotação desses elementos também seria interessante para alternar os acabamentos em cada face, de acordo com a premissa de combinação de diferentes propriedades de materiais. Dessa forma, um croqui inicial que reúne essas reflexões foi produzido:

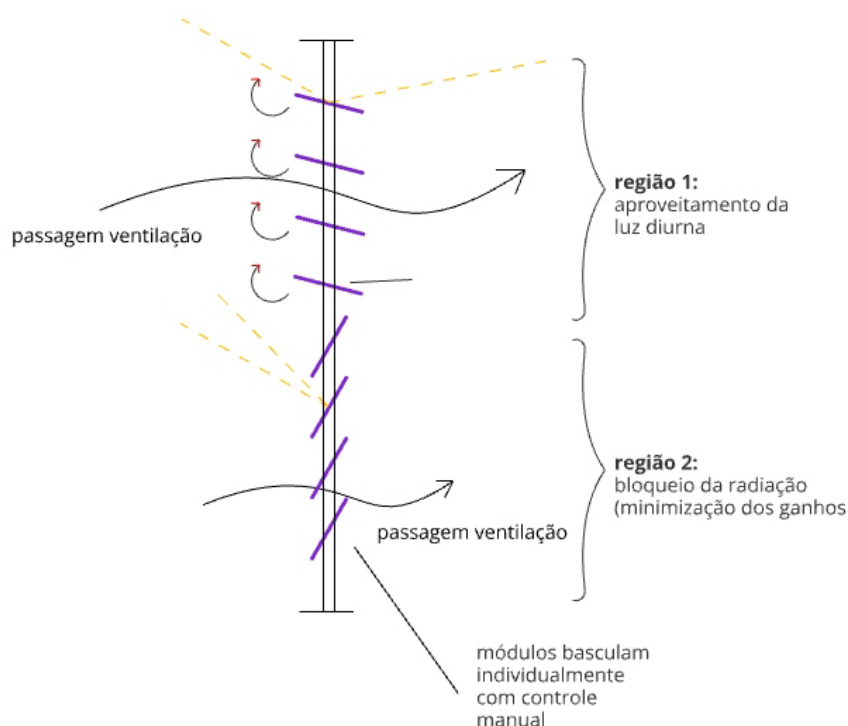


Figura 137 - Croqui inicial reunindo as principais ideias para a solução a se projetada, Desenho da autora

Além disso, dentro da perspectiva que é importante garantir a opção de que a janela possa ser desobstruída caso desejado, foi desenvolvida a ideia de que esse sistema básico de painel fosse comportado por uma porta camarão.

Essas ideias iniciais foram, assim, desenvolvidas por meio de desenhos e testes posteriores, os quais estão descritos a seguir.

### Protótipo parametrizado: grasshopper

Após a primeira abordagem para concepção da porta camarão anteriormente descrita, elaborou-se um modelo parametrizado nos softwares Rhino e Grasshopper de forma que diferentes posições e dimensões para o elemento de sombreamento pudessem ser testadas de forma ágil com os recursos do ClimateStudio. Tendo em vista que adaptabilidade constituiu uma diretriz importante para o desenvolvimento do trabalho, a adoção do desenho paramétrico foi considerada especialmente vantajosa nesse sentido. Dessa forma, o modelo parametrizado foi concebido de forma que fosse possível variar os seguintes dados de entrada:

Parâmetros ( <i>inputs</i> )	
Vão total	Espessura da moldura
Abertura dos painéis	Espessura dos perfis
Número de aletas	Altura total
Ângulo de rotação das aletas	Posição da porta camarão

Tabela 13 - parâmetros de input para o modelo inicial

Inicialmente, desenhou-se dois arcos com raios variáveis (controlados pelo parâmetro P1x (vão total) de acordo com a Figura 139. Assim, com o deslocamento do arco 2, calculou-se a intersecção entre eles, de forma que, ao conectá-lo respectivamente aos centros dos arcos, se obtivesse as linhas base da porta camarão (Figura 140).

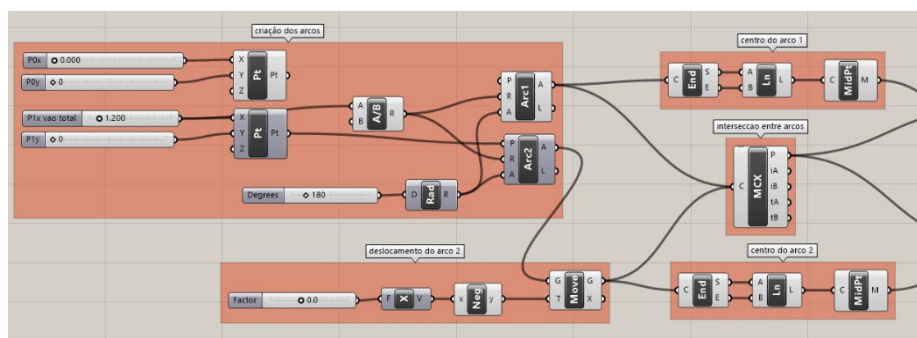


Figura 138 - Parte da rotina feita para desenho da porta camarão parametrizada

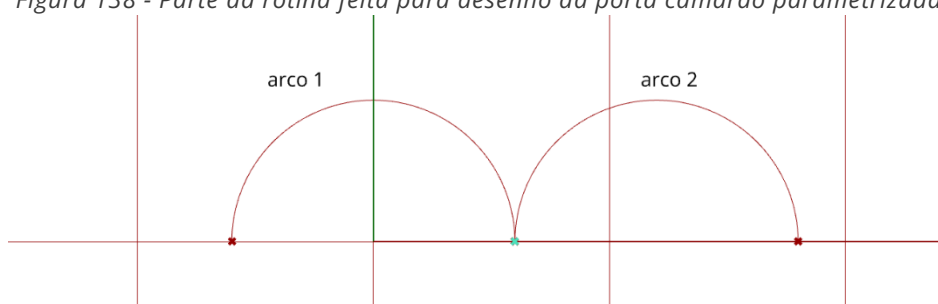


Figura 139 - Posição inicial da porta camarão

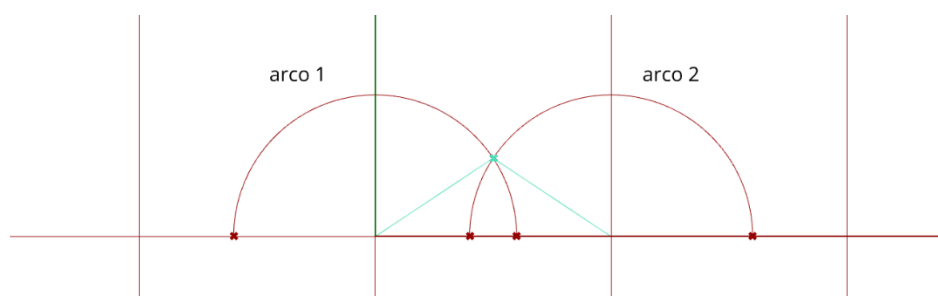


Figura 140 - Disposição após deslocamento do arco 2

Em seguida, procedeu-se de forma a extrudar a superfície obtida a partir das linhas base. Em seguida, foram realizadas uma série de operações booleanas de adição e subtração de volumes de forma a obter a volumetria pretendida:

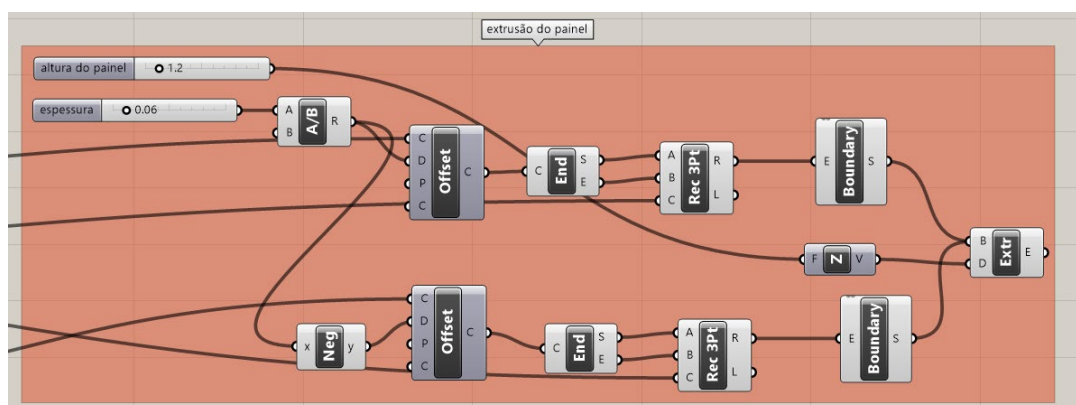


Figura 141 - Rotina grasshopper para criação da extrusão do painel

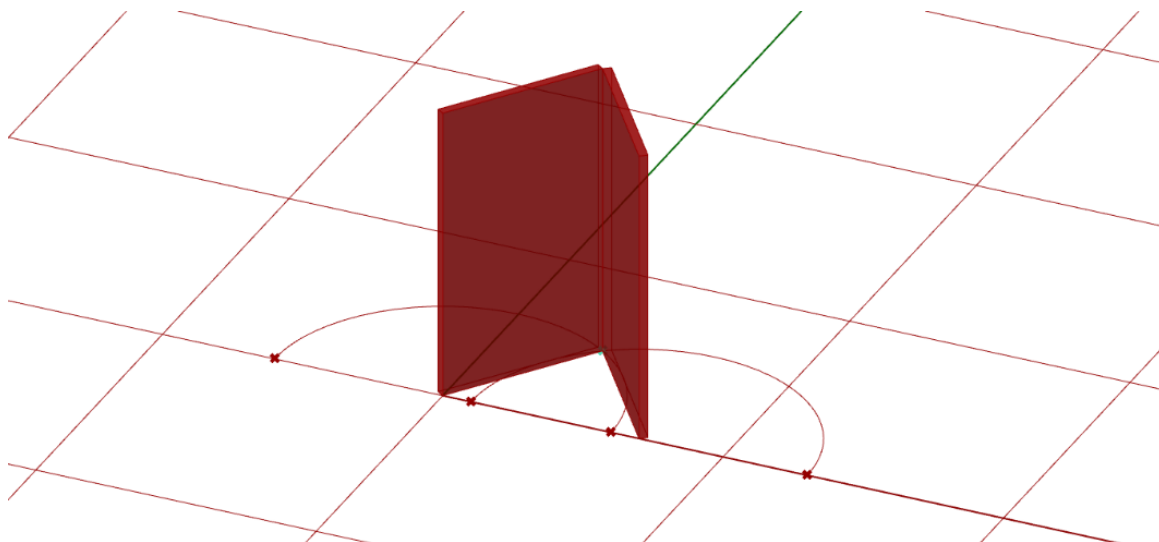


Figura 142 - Resultado da extrusão

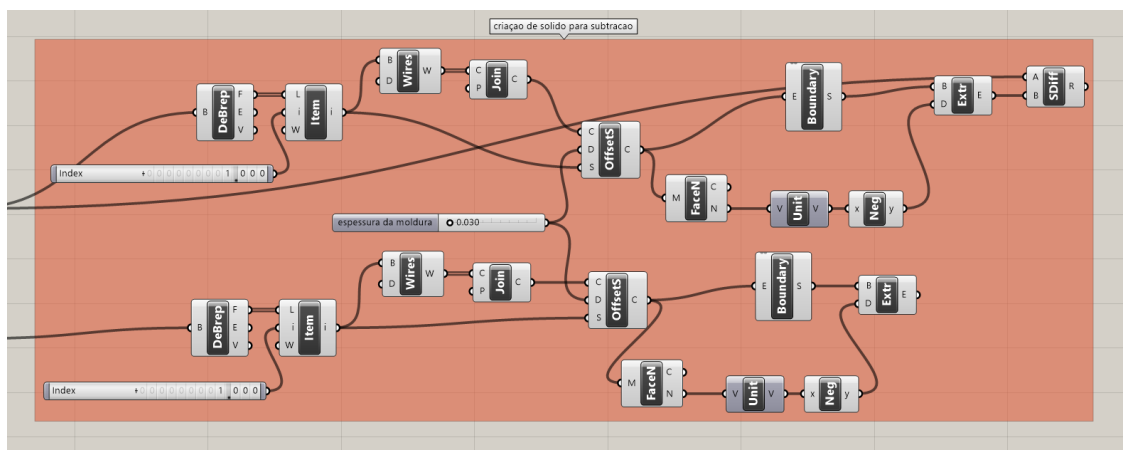


Figura 143 - Rotina grasshopper para criação do sólido de subtração

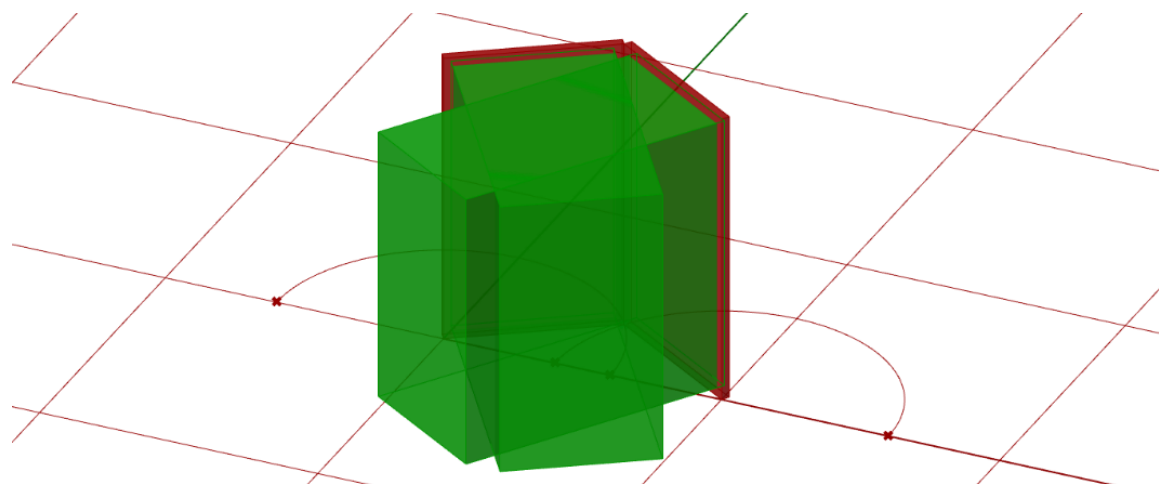


Figura 144 - Sólidos de subtração (em verde) para criação da moldura

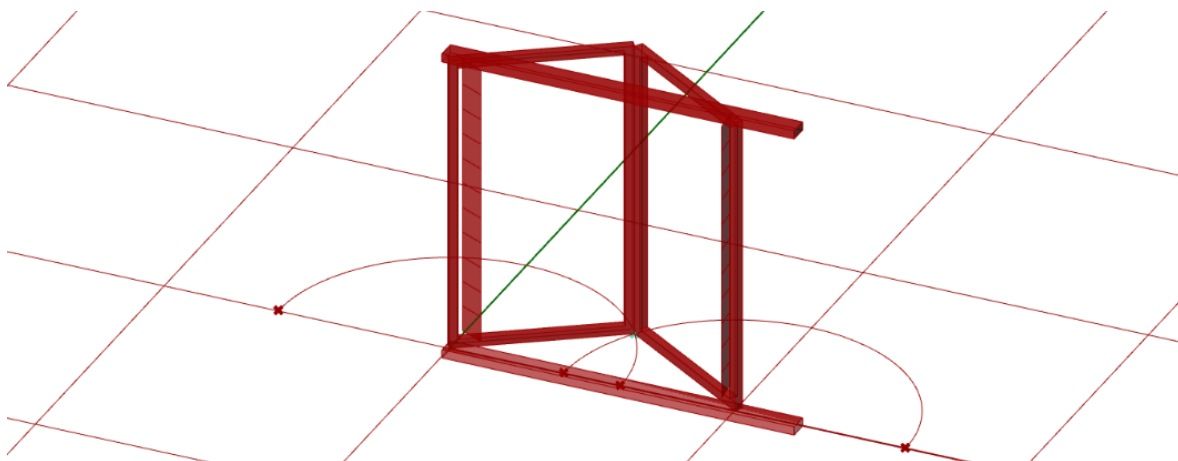


Figura 145 - Modelo com inclusão dos perfis inferiores e superiores, bem como as primeiras fileiras de aletas

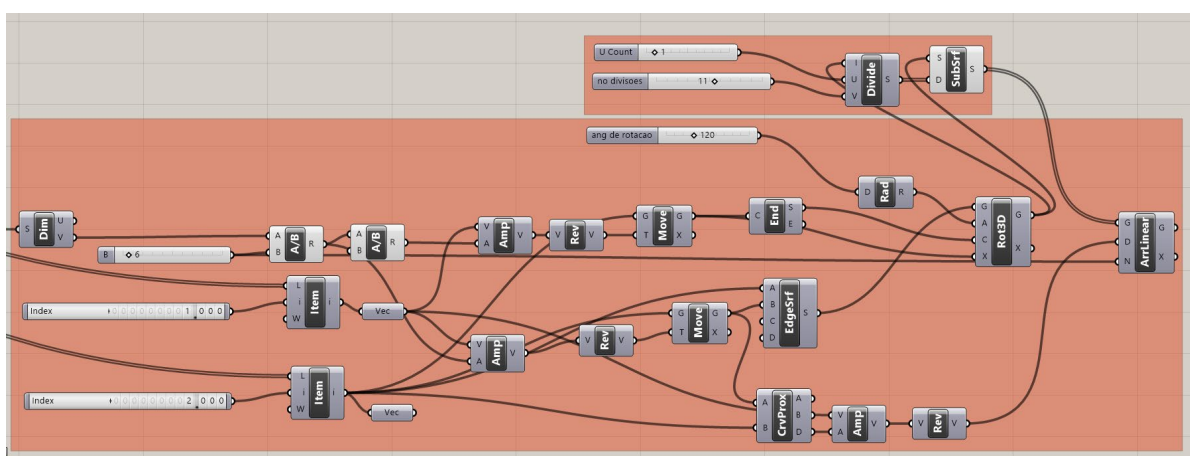
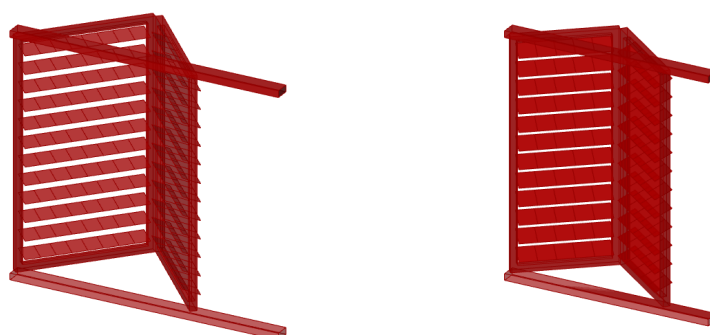


Figura 146 - Trecho da rotina grasshopper para criação das aletas e do array subsequente

Dessa forma, foi possível obter de forma dinâmica uma série de diferentes configurações para os testes iniciais, conforme exemplos a seguir:



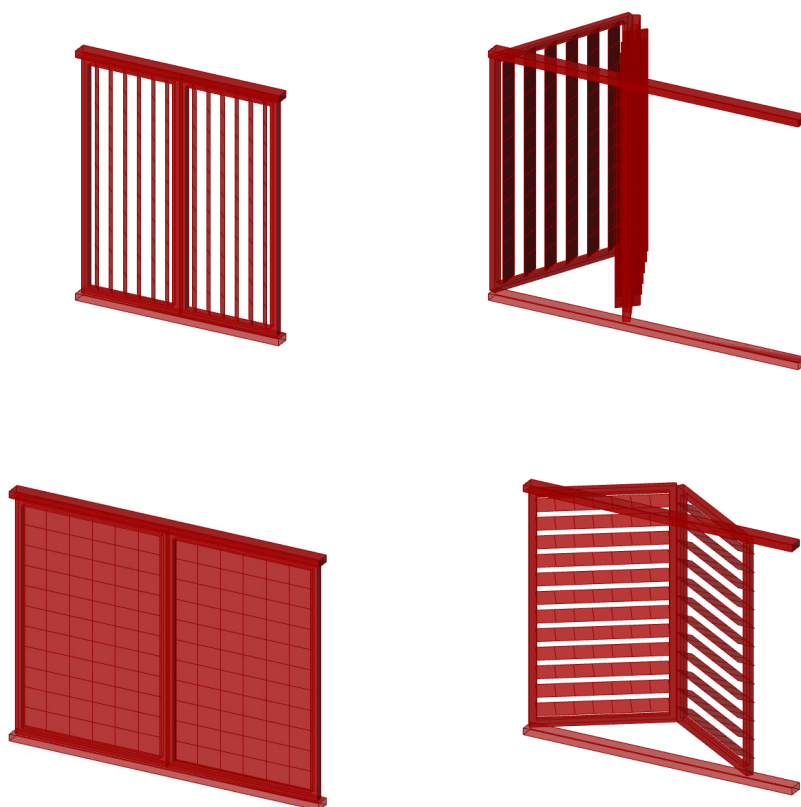


Figura 147 - Exemplos de disposições possíveis obtidas a partir da rotina grasshopper desenvolvida

## Escolha de materiais

Um aspecto importante em relação ao funcionamento do sistema proposto diz respeito aos materiais e tratamentos dos materiais empregados. Para o tipo de aplicação intendida para as aletas, duas importantes propriedades, albedo e SRI, devem ser observadas. Segundo definição de (CASINI, 2016, p. 221, tradução própria):

*“Albedo (ou SR) mede a capacidade de um material para refletir a radiação solar incidente sem absorvê-lo. Para ser classificado como telhado frio, um material deve ter um mínimo de Valor SR de 0,65. O SRI, em contrapartida, mede a capacidade de uma superfície de se manter fresca ao sol, refletindo radiação solar e emissão de radiação térmica”.*

O SRI utiliza como referência uma superfície preta (SRI = 0) e uma perfeitamente branca (SRI = 100) como referência para definição de sua escala. Dessa forma, altos índices de SRI são favoráveis do ponto de vista térmico. Trata-se de um aspecto importante a ser observado no projeto de edificações, visto que, ainda segundo CASINI (CASINI, 2016, p. 155, tradução própria):

*“Superfícies com baixa refletância solar (ou albedo) absorvem uma grande quantidade de energia solar incidente. A aplicação disseminada de materiais com alto albedo e emitância térmica, conhecidos como “materiais frios”, podem reduzir a temperatura urbana em um dia de verão em cerca de 1 a 2°C”.*

Tendo em vista essas observações, utilizou-se como referência tabelas também presentes em (CASINI, 2016) para estabelecer diretrizes para os materiais a serem aplicados nas aletas.

Segundo (TAHA, SAILOR, AKBARI, 1992), uma combinação de valores altos de emissividade  $\epsilon$  (capacidade de um objeto emitir radiação eletromagnética) constituem boas escolhas de materiais de superfícies expostas em climas quentes.

Table 11. Albedo and emissivity for selected surfaces.* Based on data from Wechsler and Glaser [1966]. Refer to this source for chemical composition of paints/coatings.		
	$\alpha$	$\epsilon$
Concrete	0.30	0.94
Red brick	0.30	0.90
Wood (freshly planed)	0.40	0.90
White paper**	0.75	0.95
Tar paper	0.05	0.93
White plaster**	0.93	0.91
Bright galvanized iron	0.35	0.13
Bright aluminum foil	0.85	0.04
White pigment**	0.85	0.96
Grey pigment	0.03	0.87
Green pigment**	0.73	0.95
White paint on Al	0.80	0.91
Black paint on Al	0.04	0.88
Aluminum paint	0.80	0.40
Water	0.05	0.95
Ice	0.69	0.90
Gravel	0.72	0.28
Dry, plowed ground	0.10	0.80
Sand	0.24	0.76
Vegetated fields	0.10	0.76
Forests	0.10	0.85

\*Note that  $\epsilon$  is a characteristic of the surface for long wave radiation whereas albedo covers the entire solar spectrum.

\*\*These are examples for good  $\alpha$  and  $\epsilon$  combinations.

*Tabela 14 - Albedo e emissividade para superfícies selecionadas.  
Extraído de (TAHA, SAILOR, AKBARI, 1992, p. 23)*

Assim, de acordo com a tabela reproduzida acima, pigmentos verdes e brancos correspondem a materiais interessantes para essa aplicação. Entretanto, é necessário ressaltar que isso indica apenas uma diretriz de material a ser empregado, e seria necessário aprofundar esse aspecto no caso de uma fabricação efetiva do sistema em questão.

## Protótipo físico 1: elementos articulados

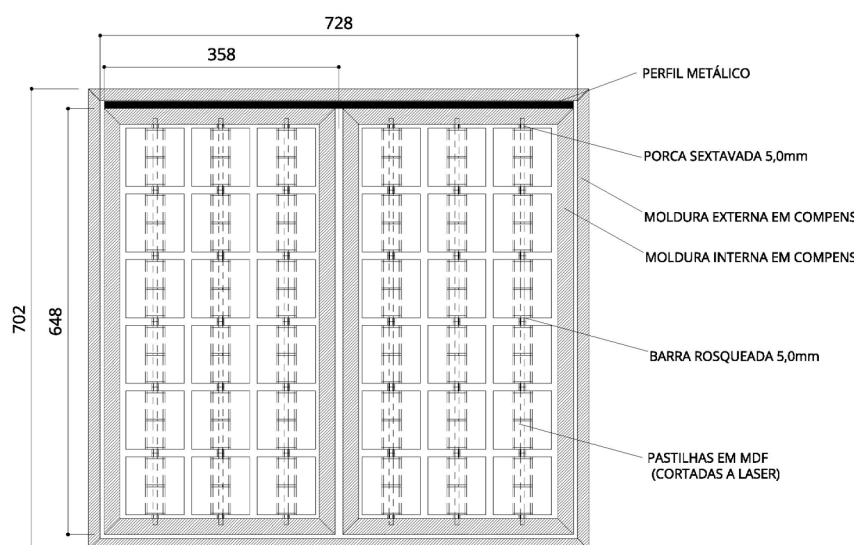
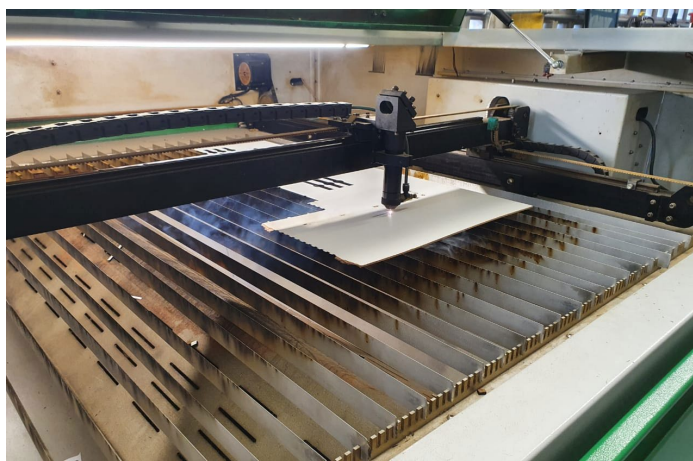


Figura 148 - Elevação do protótipo, versão preliminar

Com o avanço da solução pretendida, foi concebido um protótipo com peças em tamanho real, mas para um vão de aproximadamente 700mm (o produto real foi pensado para um vão idealizado de 1200mm), cujo objetivo central seria testar questões geométricas, dimensionais, de usabilidade e funcionamento dos mecanismos pretendidos para o dispositivo de sombreamento e distribuição solar.

Entretanto, é importante ressaltar as suas limitações. Ele foi pensado para ser executado predominantemente em madeira, devido a maior facilidade de usinagem também devido às ferramentas e apoio técnico disponível no STMEEC (Seção Técnica de Modelos, Ensaios e Experimentações Construtivas da FAUUSP). Assim, seus objetivos centrais estão restritos ao teste conceitual e geométrico do produto desenvolvido, e é preciso levar em consideração que os materiais utilizados não correspondem aos que seriam empregados de fato. Trata-se, assim, de um protótipo físico para investigação dos conceitos propostos durante a fase de prototipagem digital.

Uma vez desenvolvido o projeto preliminar (Figura 148), os técnicos e professores ligados ao STMEEC foram consultados para determinação dos métodos de fabricação mais adequados. Enquanto a moldura externa e interna foram feitas com marcenaria tradicional a partir de uma única peça de compensado, as aletas foram cortadas a laser em MDF 3mm. A opção pela fabricação digital nesse último caso se justificou pela necessidade de manter um alinhamento rigoroso entre as aletas para passagem do eixo (que consiste de uma barra roscada 5mm). Essa necessidade de haver uma pequena tolerância dimensional também se estende para as dimensões da aleta. Além disso, um número relativamente grande número de peças foi fabricado (cerca de 40 unidades). O emprego da fabricação digital (Figura 149), nesse sentido, mostrou-se efetiva para cumprir esses requisitos e garantir uniformidade entre as peças.



*Figura 149 - Corte das peças em mdf 3mm na cortadora a laser disponível na FAUUSP*

A aleta foi, assim, montada conforme exemplificado abaixo, utilizando os encaixes previstos em projeto e reforçadas com cola de madeira. A porção central permite a estruturação para passagem da barra roscada, ao mesmo tempo em que permite a confecção de uma peça não maciça, de forma a deixá-la mais leve:



*Figura 150 - Montagem da aleta*

Já para o mecanismo da articulação entre as portas, foram adotados um “kit de porta camarão” comum (com trilho, carros deslizantes e eixo, Figura 151), além de dobradiças e puxadores comuns.



*Figura 151 - kit porta camarão, disponível em <https://bit.ly/3aiQvtS>*

A moldura foi executada utilizando-se métodos tradicionais de marcenaria, no qual o apoio técnico do profissional Elenilton Alves, responsável pela operação das serras de bancada e instalação dos elementos para o funcionamento da porta deslizante, foi essencial (Figura 152 e Figura 153).



*Figura 152 - Confeção das molduras utilizando serra de bancada*



*Figura 153 - Furação da peça para passagem da barra rosca*

Uma vez fabricada as molduras, prosseguiu-se com a montagem da peça. As aletas foram empilhadas e separadas com uma porca 5mm, que serviram de elemento separador e limitador para o movimento.



*Figura 154 - Moldura com eixos (sem aletas)*



*Figura 155 - Protótipo 1 finalizado, com revestimentos de mdf alternados de forma a sinalizar a aplicação de diferentes materiais nas aletas. Foto da autora*



*Figura 156 - Protótipo 1 finalizado com aletas rotacionadas. Foto da autora*

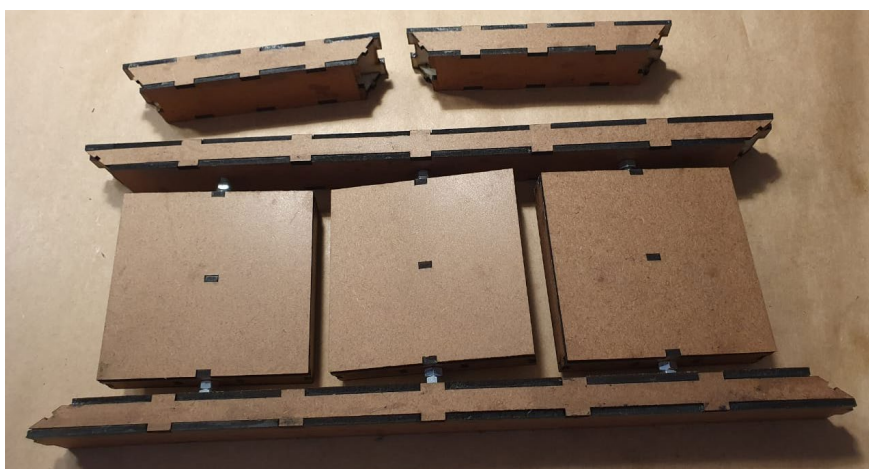


*Figura 157 - Protótipo 1 finalizado, demonstrando a abertura da porta camarão. Foto da autora*

### **Protótipo físico 2: avaliação do desempenho aletas móveis**

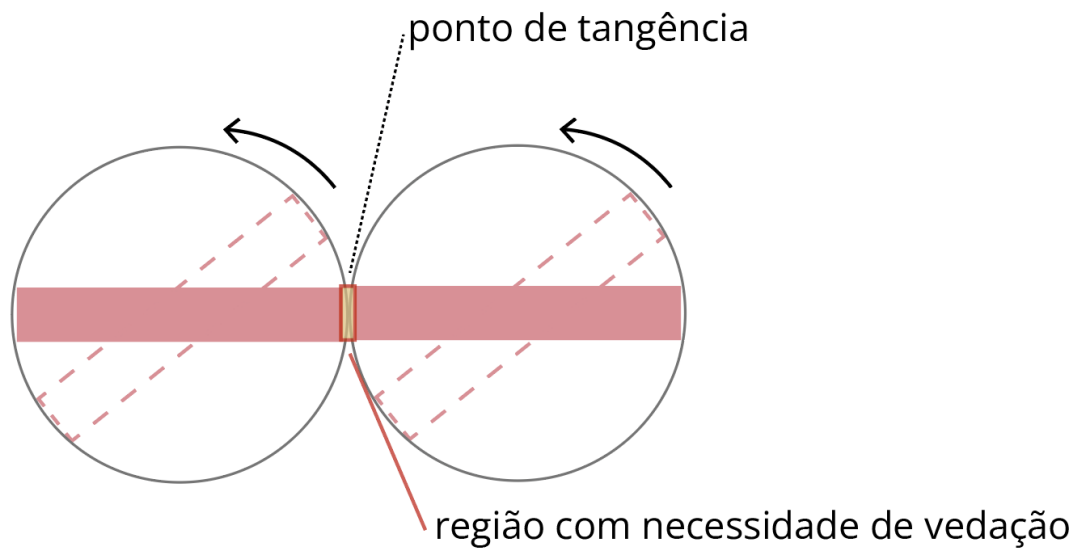
Com a execução do protótipo 1, foi identificada a necessidade de se testar em maior nível de detalhe a interface entre duas aletas adjacentes, uma vez que a viabilidade de rotacioná-las individualmente contribuiria para a maior adaptabilidade do produto. Entretanto, isso deve ser feito sem prescindir da vedação apropriada para garantir sua eficiência quando o bloqueio solar é desejado. Além disso, um modelo parcial habilitaria uma maior facilidade para simular a incidência de luz na maquete, de modo que alguns aspectos funcionais também pudessem ser testados, sobretudo no que diz respeito aos fenômenos de refração, reflexão e bloqueio solar.

As aletas anteriormente fabricadas foram utilizadas para este segundo protótipo, mantidas as mesmas dimensões. Entretanto, a moldura (também cortada a laser, por praticidade) foi dimensionada para comportar três aletas, atravessadas pelas barras roscadas (Figura 158).

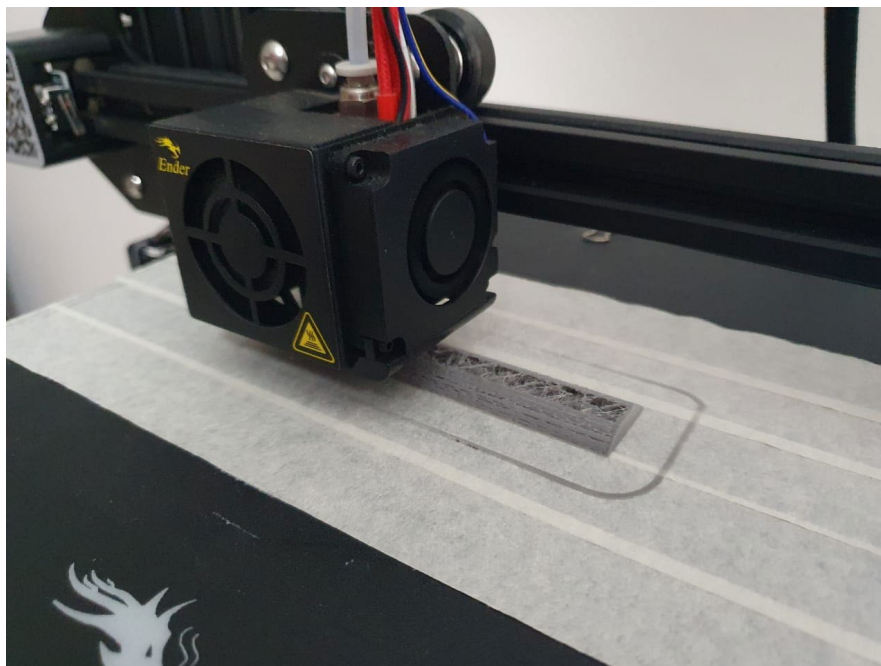


*Figura 158 - Montagem do protótipo 2*

Assim, foi proposta a utilização de uma borracha semicircular que permitisse que as peças se tangenciassem durante a rotação (Figura 159). Para emulação desse elemento, foi empregada a impressão 3D com filamento de PLA (Figura 160). Entretanto, é preciso levar em conta que se trata de um material rígido- o emprego da borracha, por sua vez, habilitaria a sobreposição quando se opta pelo alinhamento das aletas, potencializando assim a vedação entre as peças.



*Figura 159 - Croqui identificando necessidade de vedação entre as aletas. Desenho da autora*

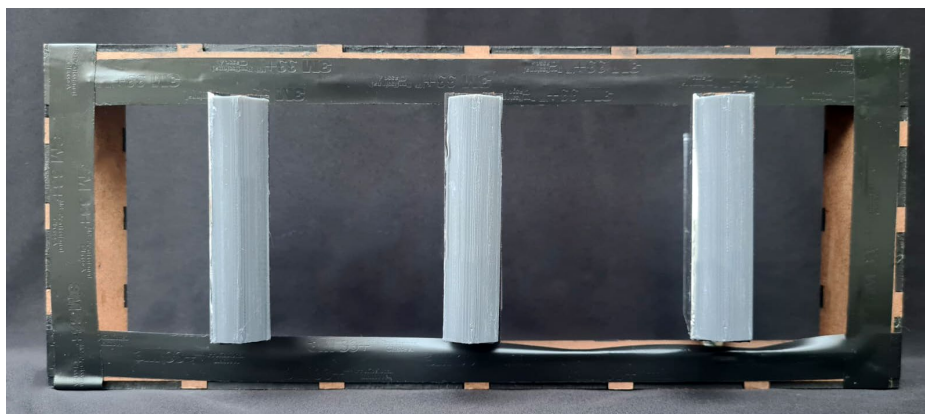


*Figura 160 - Impressão do elemento em PLA que simula o formato da borracha. Foto da autora*

Além disso, de forma que fosse possível testar os fenômenos de bloqueio e reflexão da luz, revestiu-se uma das faces com papel alumínio (devido a sua fácil manuseabilidade e alta refletância) de forma a simular a aplicação de diferentes revestimentos a faces opostas da aleta. Para reforçar a vedação, foi utilizada fita isolante. Os procedimentos para esses testes estão descritos a seguir.



*Figura 161 - Protótipo 2 finalizado. Foto da autora*

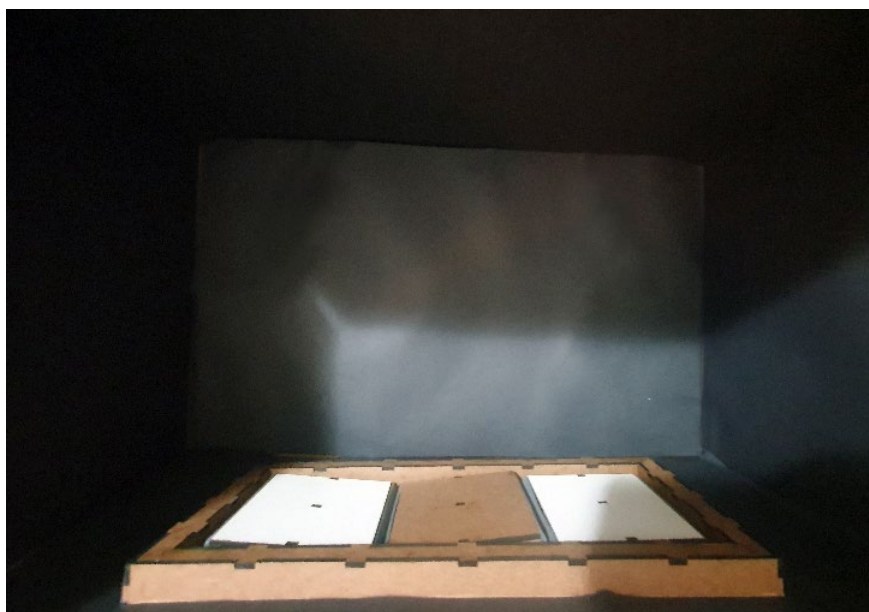


*Figura 162 - Protótipo 2 finalizado. Foto da autora*

### Validação: Heliodon

Utilizando o protótipo físico 2, empregou-se o Heliodon, “um dispositivo que consiste em uma mesa pivotante e uma luz em um trilho vertical, de modo que se possa simular posições de sol e sombra para qualquer latitude e dia do ano, para um determinado edifício” (“Heliodon Definition & Meaning - Merriam-Webster,” [S.d.], tradução própria) – disponível no Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética da FAUUSP (LABAUT).

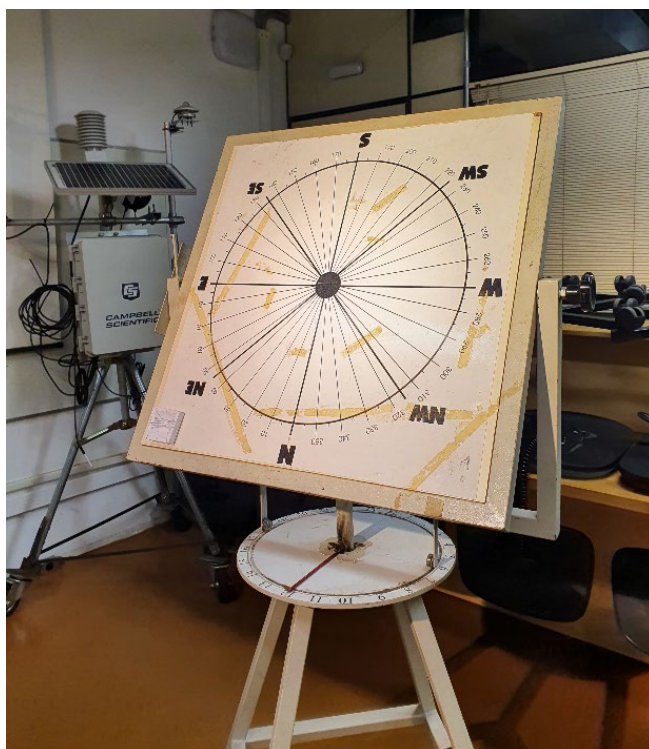
A fim de adequar o protótipo inicial ao equipamento do Heliodon, uma caixa de papelão foi revestida de cartolina preta a fim de isolar o mecanismo de sombreamento e minimizar interferências externas, de modo que o efeito na distribuição e mascaramento por ele implicados pudesse ser analisado (Figura 163 e Figura 164). Além disso, foram previstas aberturas em duas faces (as quais podem ser fechadas com cartolina quando não estão sendo utilizadas) para que o interior pudesse ser fotografado.



*Figura 163 - Interior da caixa utilizada para o teste do Heliodon*



*Figura 164 - Exterior da caixa utilizada para o teste do Heliodon*



*Figura 165 - Heliodon disponível no LABAUT da FAUUSP*

Para a realização desse teste, é necessário fixar o modelo a ser analisado sobre a superfície, e incliná-la de acordo com a latitude do local pretendido. O trilho de luz, fixo, permite o deslocamento vertical de um ponto de luz para simular o deslocamento aparente do sol durante o ano. Além disso, a superfície é rotacionada durante o experimento para emular diferentes horários.



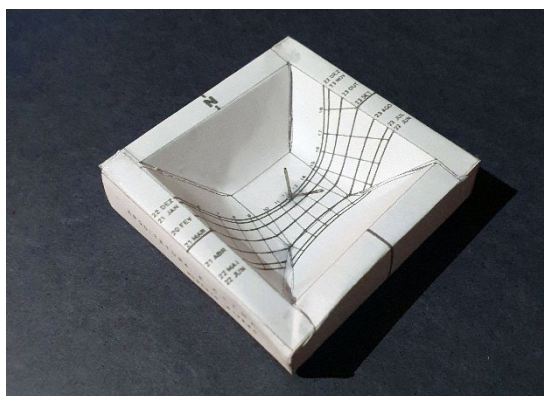
*Figura 166 - Caixa posicionada simulando fachada orientada para oeste, com brises rotacionando ao redor de um eixo horizontal*



*Figura 167 - Caixa posicionada simulando fachada orientada para leste, com brises rotacionando ao redor de um eixo vertical*

A base de fixação do Heliodon, entretanto, é mantida fixa (Figura 165). Dessa forma, para analisar diferentes fachadas, é preciso reposicionar o modelo sobre a superfície a cada orientação analisada. Assim, a caixa com o protótipo reduzido foi fixada com fita e sua posição foi alterada à medida que se avançou com os testes. Além disso, a posição da caixa também foi variada de forma que se pudesse testar as aletas girando ao redor de um eixo horizontal (Figura 166) e vertical (Figura 167).

Como referência para as fotos e a posição solar simulada, foi utilizado como referência o relógio de sol para Latitude  $23^{\circ}27'$  (correspondente a São Paulo- SP) disponível RIVERO, 1985 (Figura 168).



*Figura 168 - Relógio de sol para latitude  $23^{\circ}27'$  utilizado como referência, confeccionado com base em modelo disponível em RIVERO, 1985*

Assim, foram realizados os testes para as mesmas condições observadas para as simulações dos estudos de caso: equinócio, solstício de verão, solstício de inverno, às 9h, 12h e 15h.

O princípio do teste e leitura dos resultados podem ser sintetizados graficamente de acordo com a figura abaixo.

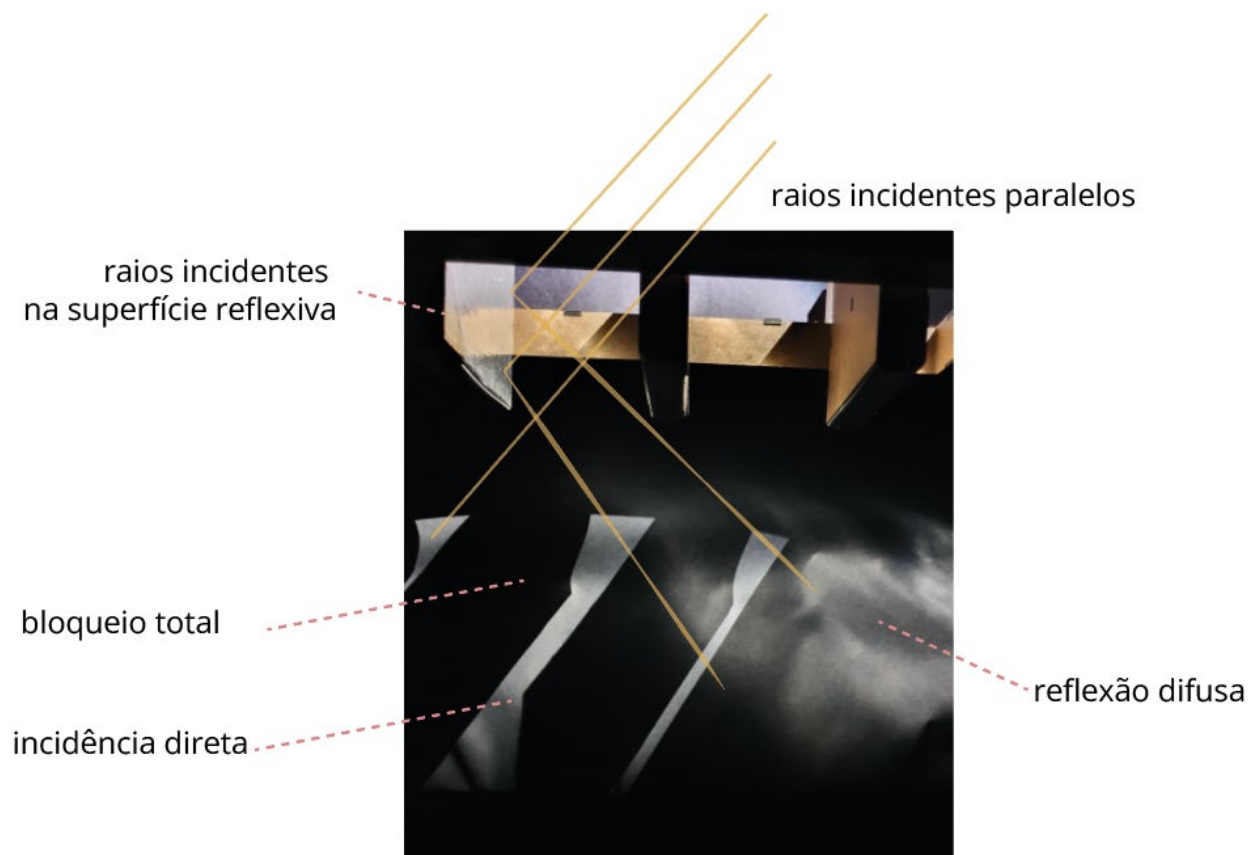
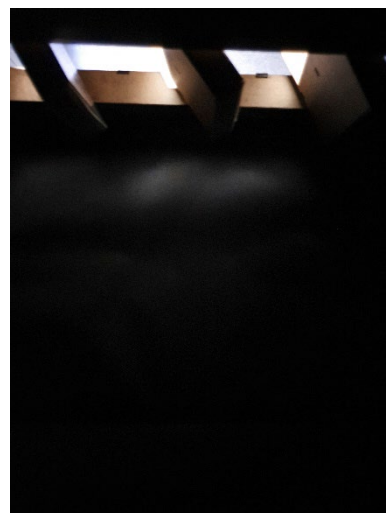
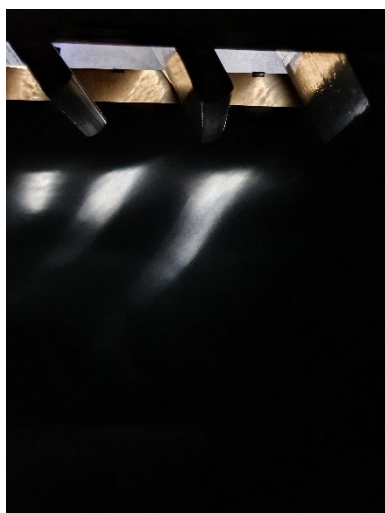


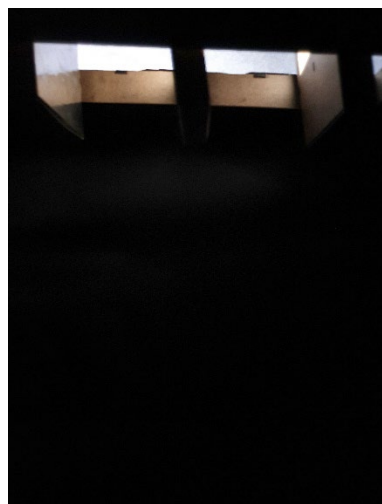
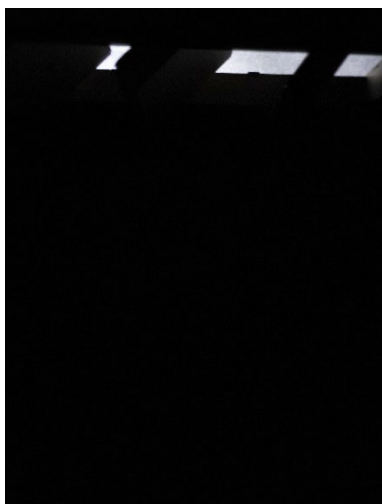
Figura 169 - Princípio do teste do Heliodon

A seguir, apresentam-se situações selecionadas dos testes de luz e sombra realizados.

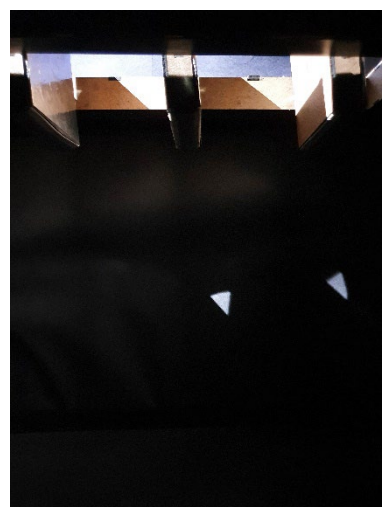
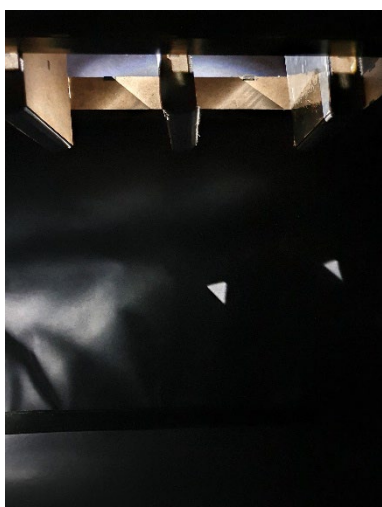
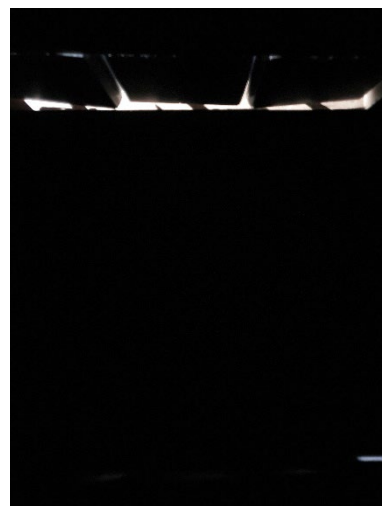
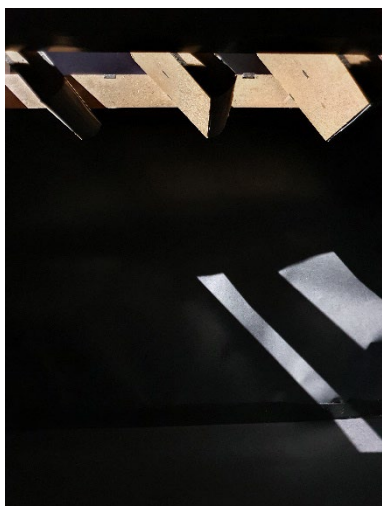
### Aletas verticais

Aleta vertical: Fachada Leste – equinócio, 12h

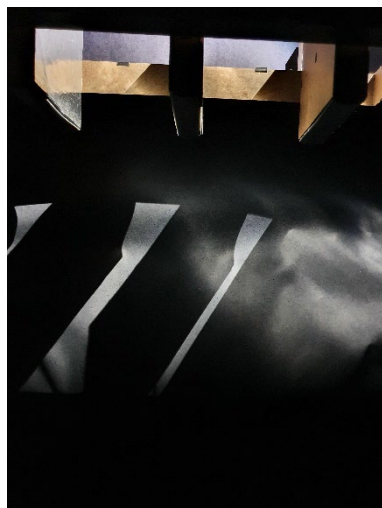
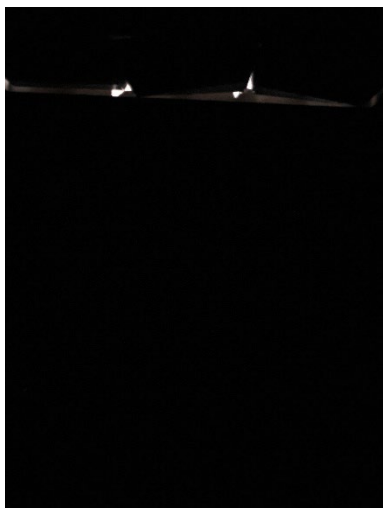
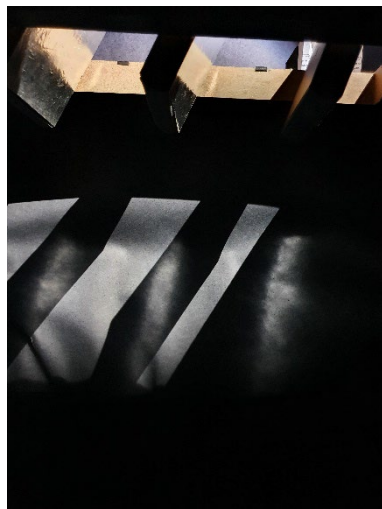
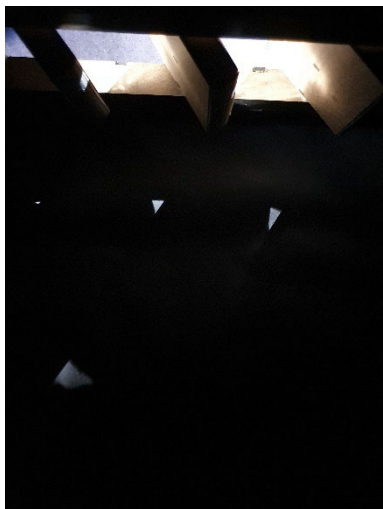




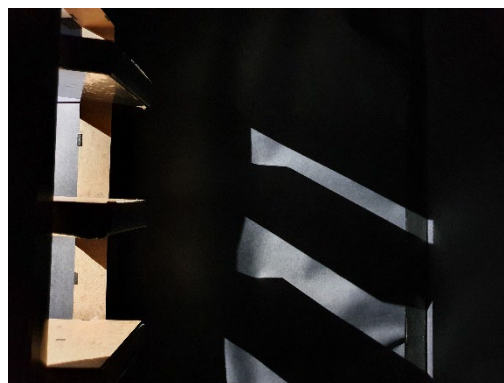
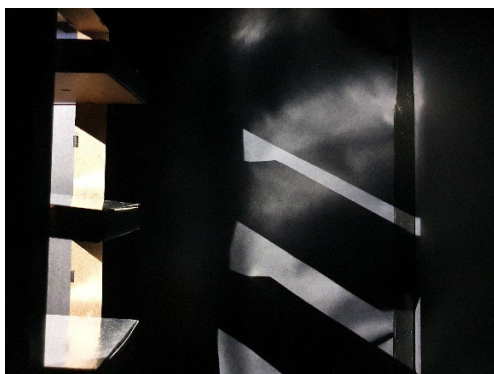
Aleta vertical: Fachada Leste – solstício de inverno, 9h



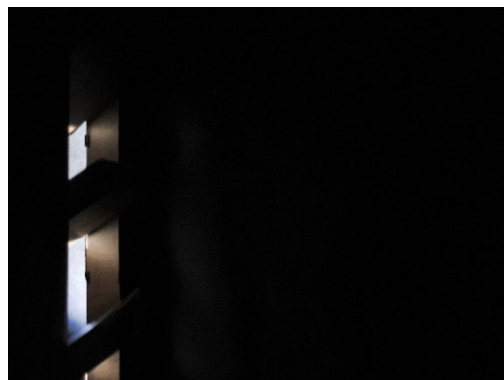
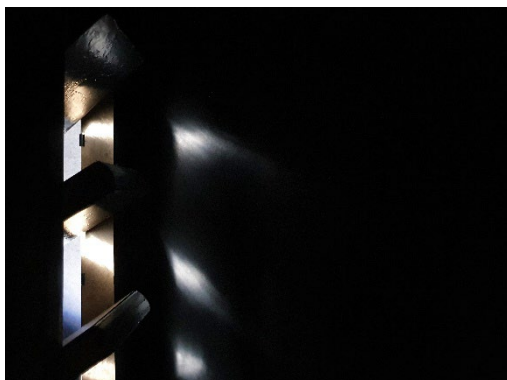
Aleta vertical: Fachada Norte – solstício de inverno, 9h



Aleta vertical: Fachada Oeste – equinócio, 15h

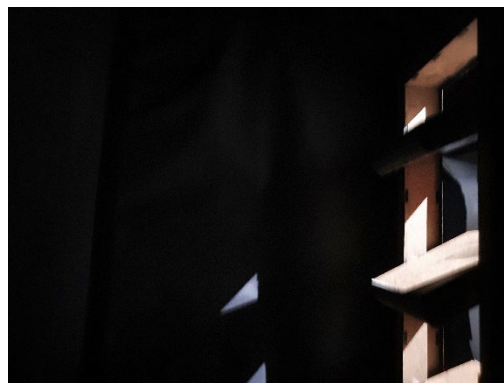
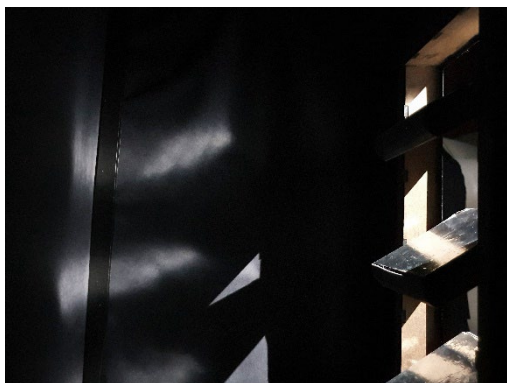


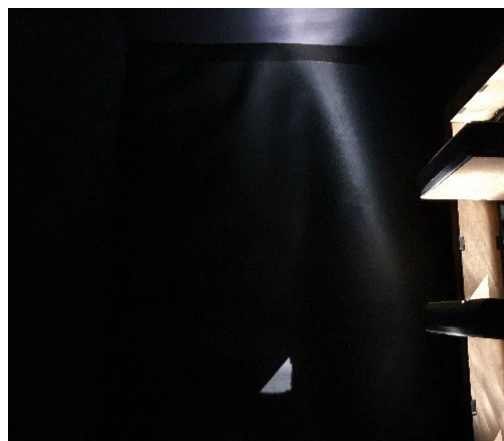
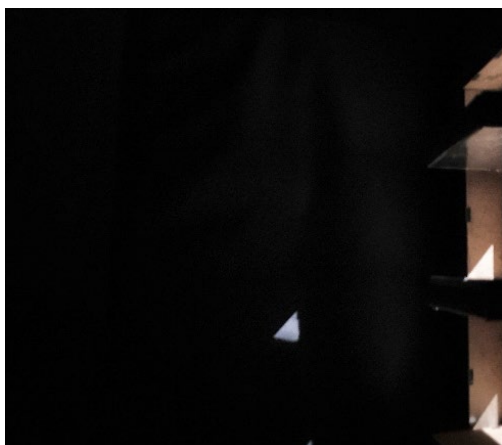
Aleta vertical: Fachada sul – solstício de verão, 9h



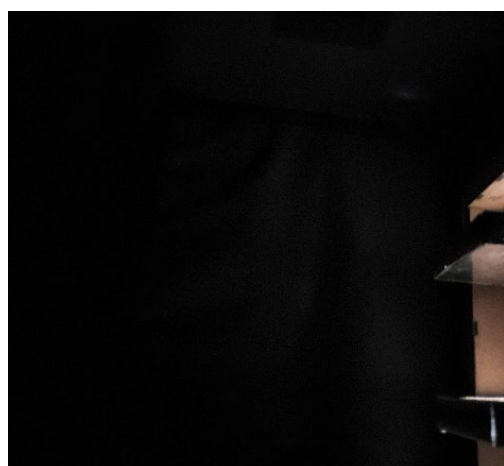
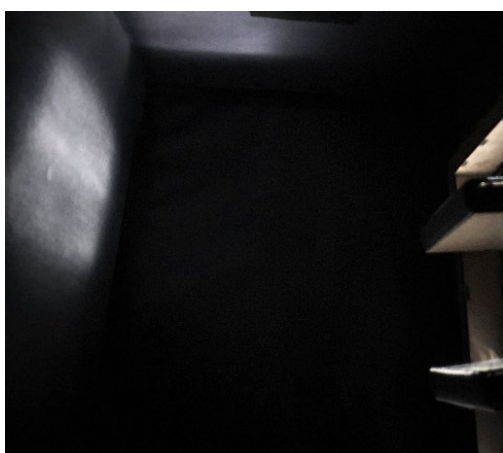
Aletas horizontais

Aletas horizontais: Fachada oeste – equinócio, 15h

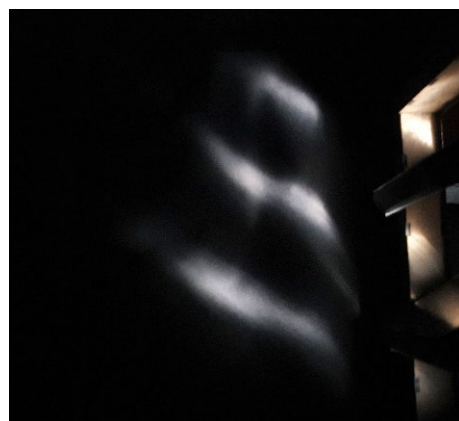
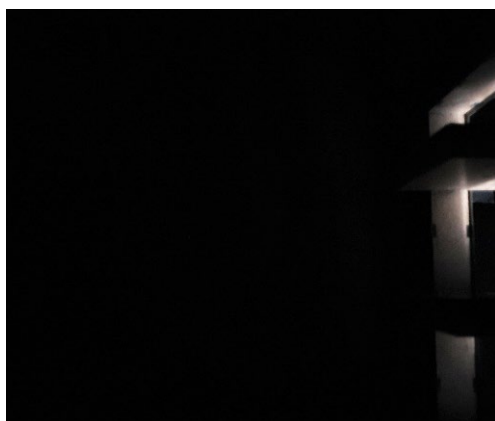




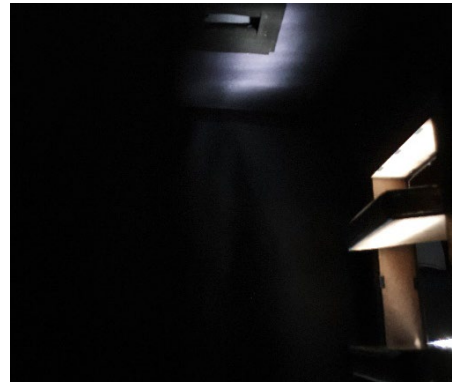
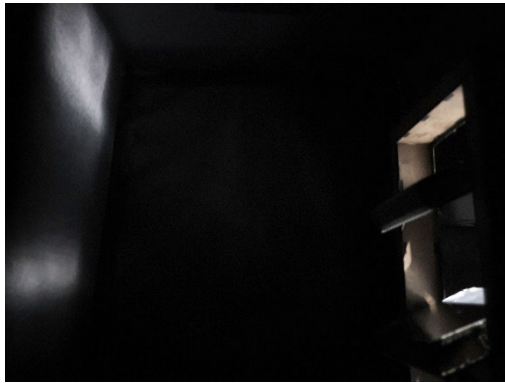
Aletas horizontais: Fachada norte – solstício de inverno, 12h



Aletas horizontais: Fachada sul – solstício de verão, 15h



#### Aletas horizontais: Fachada norte – equinócio, 12h



Os testes acima validaram o funcionamento básico do sistema- assim, é possível conceber e combinar orientações, materiais e disposições variadas de forma a contribuir para o bloqueio/distribuição solar para o interior. Além de oferecer um mecanismo de regulação da luz diurna de modo a garantir conforto visual no ambiente, esse sistema pode auxiliar nos aquecimento solar passivo.

Combinada às questões de conforto, esses mecanismos habilitam o controle da visualização da cena externa, regulando a vista/privacidade conforme desejado.

## Design final e modelo BIM

Para o desenho final, foi utilizado o Autodesk Revit, uma plataforma BIM (*Building Information Modeling*) para elaboração de modelos, devido à possibilidade de executá-lo de forma detalhada sem prescindir da parametrização, a qual permite ao usuário uma maior interação com o modelo e obtenção das configurações pensadas para o sistema concebido. Além disso, através do uso de plataformas BIM, a inserção em projetos arquitetônicos e os respectivos detalhamentos são facilitados.

Seguindo a metodologia do software utilizado, o modelo final foi pensado em “famílias”, isto é, grupos de componentes a serem utilizados no modelo BIM. Eles são a base dos modelos do Revit, assemelhando-se a blocos do Autodesk AutoCAD. Essas famílias, por sua vez, possuem “Tipos” com determinadas configurações. É possível, por exemplo, inserir (“ou aninhar”) famílias dentro de outras, criando componentes em várias “camadas” individuais. Essa estratégia foi adotada para a modelagem e será explicada a seguir.

### Família 1: aleta básica

As aletas foram pensadas como um perfil extrudado de alumínio e foram previstos sulcos e conexões para permitir o escoamento da água e a rigidez do elemento. Além disso, um furo central para inserção do eixo de rotação foi previsto e um sulco adicional foi pensado nas extremidades para permitir a inserção da borracha da aleta.

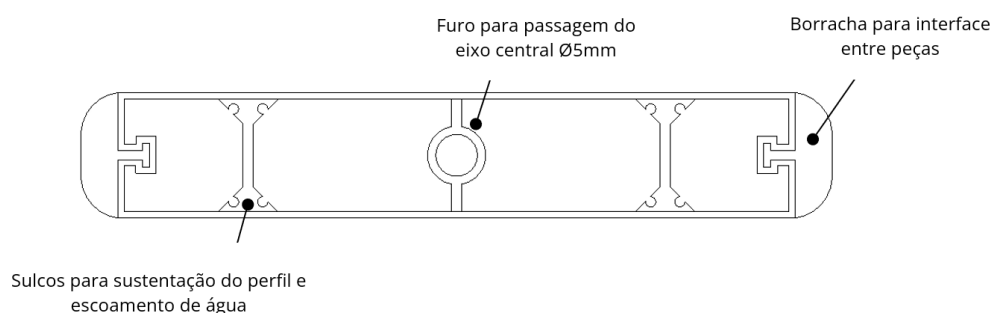


Figura 170 - Perfil extrudado em alumínio final proposto para as aletas. Desenho da autora

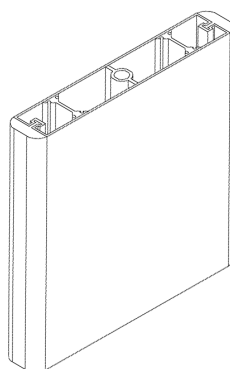
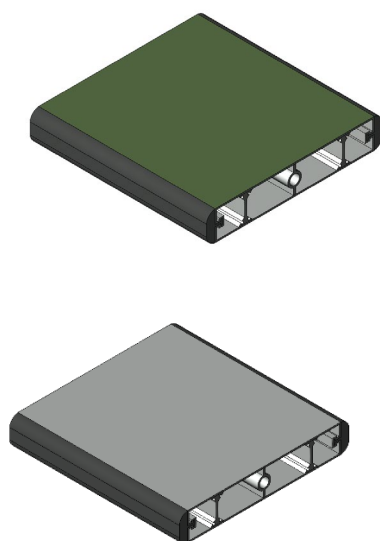


Figura 171 - Isometria do modelo 3D da aleta. Desenho da autora

Vale destacar que o modelo Revit criado possui opção de personalização dos materiais aplicados à borracha, perfil extrudado e faces opostas, além das medidas de largura e altura da peça. A seguir, é possível conferir um exemplo de aplicação de diferentes materiais à aleta, os quais serão transmitidos aos demais componentes (os quais serão detalhados adiante):



Tipos de famílias

Digite o nome:

Parâmetros de pesquisa

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
<b>Restrições</b>			
Elevação-padrão	1219,20	=	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Materiais e acabamentos</b>			
borracha	borracha	=	
pastilha	alumínio	=	
tratamento 1	alumínio	=	
tratamento 2	pintura verde oliva	=	
<b>Cotas</b>			
H	90,00	=	<input type="checkbox"/>
<b>Dados de identidade</b>			

Gerenciar tabelas de pesquisa...

[Como posso gerenciar meus tipos de família?](#)

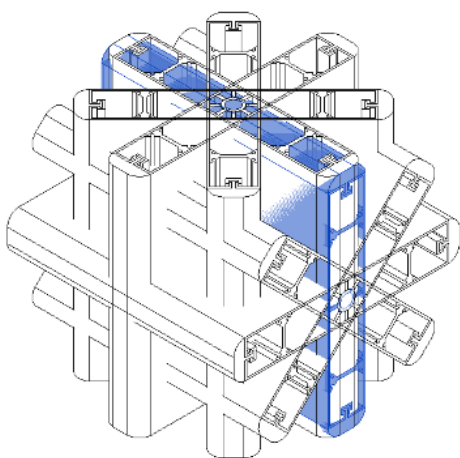
OK Cancelar Aplicar

Figura 172 - Modelo da família Revit das aletas individuais e respectivos parâmetros. Desenho da autora

## Família 2: aleta rotacionada

Para permitir o controle da rotação das aletas, foi criada uma família do Revit exclusivamente para controlar sua visibilidade dependendo de sua posição. Assim, rotacionou-se ao redor do eixo z e y o componente básico (família 1) e foi inserido um parâmetro de visibilidade para controlá-lo de acordo com o desejo do usuário. Cada tipo de família está associado à ativação de apenas um parâmetro de visibilidade, e este, por sua vez, é atribuído apenas a uma das aletas.

No exemplo abaixo, por exemplo, o tipo B90 só deixaria visível para o usuário o elemento destacado em azul. É preciso esclarecer que, apesar de se tratar de uma representação poluída, esta configuração não estará visível durante a utilização do componente completo, e é acessível ao usuário apenas se uma personalização mais avançada for desejada.



Tipos de famílias

Digite o nome: B 90

Parâmetros de pesquisa

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
Elevação padrão	0,0	=	<input type="checkbox"/>
<b>Materiais e acabamentos</b>			
p_borracha	<Por categoria>	=	
p_pastilha	<Por categoria>	=	
p_trat 1	<Por categoria>	=	
p_trat 2	<Por categoria>	=	
<b>Outros</b>			
A_45	<input type="checkbox"/>	=	
A_180	<input type="checkbox"/>	=	
A_45	<input type="checkbox"/>	=	
A_90	<input type="checkbox"/>	=	
B_45	<input type="checkbox"/>	=	
B_180	<input type="checkbox"/>	=	
B_45	<input type="checkbox"/>	=	
B_90	<input checked="" type="checkbox"/>	=	
<b>Dados de identidade</b>			

Gerenciar tabelas de pesquisa...

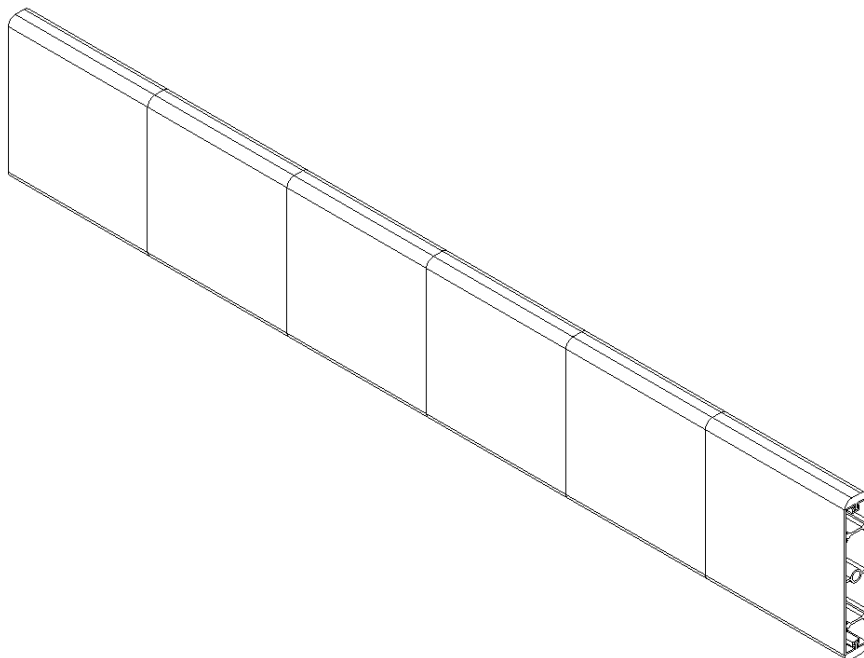
[Como posso gerenciar meus tipos de família?](#)

OK Cancelar Aplicar

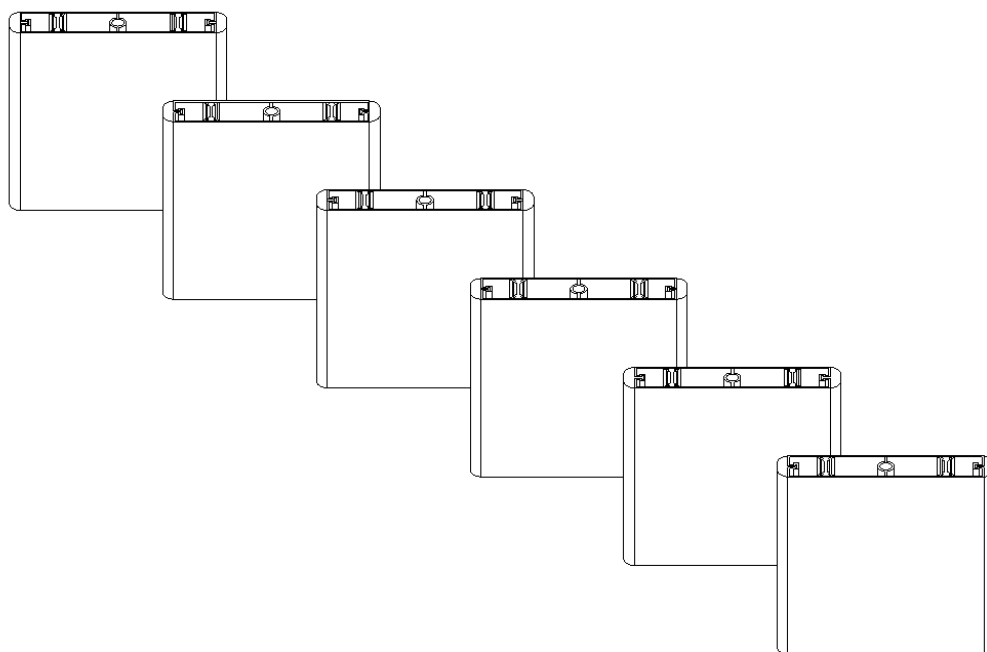
Figura 173 - Modelo da família Revit das aletas rotacionadas e respectivos parâmetros. Desenho da autora.

### Família 3: *array* de aletas

De forma análoga à estratégia utilizada para rotacionar as aletas, uma terceira família foi criada apenas para controlar o *array* (ou sequência) de elementos. Assim, é possível obter um arranjo linear das aletas tanto para eixos verticais ou horizontais. Para o controle dessa família, foi previsto o controle do número de elementos e espaçamento de acordo com as dimensões da peça básica.



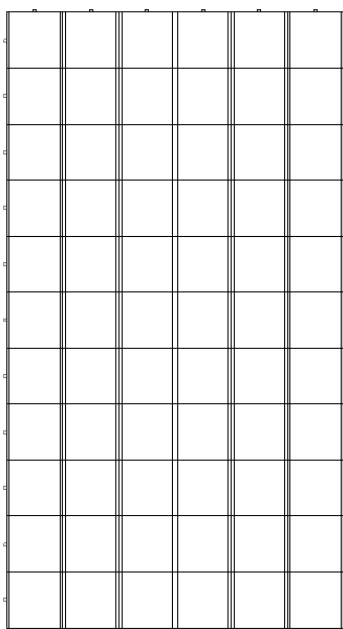
*Figura 174- Array de aletas para passagem de um eixo horizontal*



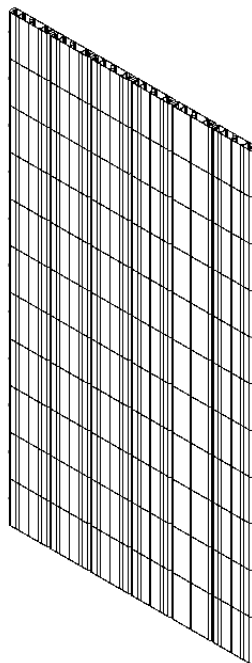
*Figura 175 - array de aletas rotacionadas para passagem de um eixo vertical*

#### Família 4: eixos e grid de aletas

Dando prosseguimento à lógica aplicada à rotação e ao arranjo linear das aletas, a família seguinte controla a visibilidade dos eixos (que serão horizontais ou verticais, de acordo com a escolha do usuário) e realiza um segundo array da família 3, criando um grid básico (Figura 176).



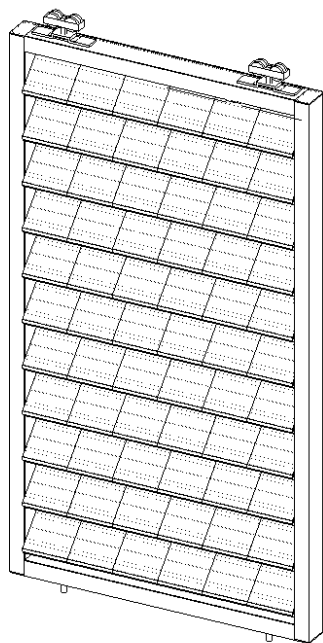
*Figura 176 - Elevação do grid das aletas, com duas opções para os sentidos dos eixos*



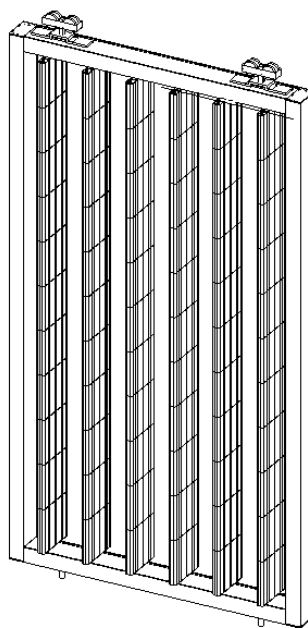
*Figura 177 - Isometria do grid das aletas gerado neste nível de modelagem*

#### Família 5: painel

No nível de modelagem seguinte, foram incluídos os perfis de sustentação do painel (os quais serão detalhados adiante), bem como elementos auxiliares do mecanismo da porta deslizante, a exemplo dos eixos e rodas, os quais também são controlados a partir de parâmetros de visibilidade. Neste nível, é possível controlar de forma retangular o número de aletas em cada sentido (e, por consequência, o tamanho do painel), assim como os parâmetros ligados ao tamanho da aleta e do material, uma vez que eles foram vinculados aos parâmetros inseridos nos elementos mais básicos.



*Figura 178 - Exemplo de painel com eixos horizontais, com aletas rotacionadas a 45 graus*



*Figura 179 - Exemplo de painel com eixos verticais, com aletas rotacionadas a 90 graus*

### **Família 6: componente final - portas deslizantes**

O componente final, que será efetivamente utilizado no modelo BIM, corresponde à montagem das portas (família 5) com os perfis que realizam a interface entre os painéis e o vão. Efetivamente, esse resultado final se desdobrou em três famílias individuais, separadas para organizar a grande variedade de configurações possíveis e também devido a especificidade de algumas configurações.

Dessa forma, foram modeladas três famílias:

- Janelas deslizantes com aletas que giram verticalmente;
- Janelas deslizantes com aletas que giram horizontalmente;
- Janelas deslizantes com aletas que giram horizontalmente na porção superior da janela (chamada de *daylight window*) e que giram verticalmente na seção inferior.

No que diz respeito aos parâmetros customizáveis desta família, é possível controlar o tamanho das aletas, as dimensões do vão (e, conseqüentemente, o número de aletas do componente), o tamanho dos eixos e dos perfis, como pode ser conferido na Figura 180.

Propriedades de tipo

Família: 5\_portacamaraao\_daylightwindow\_2021 Carregar...

Tipo: vertical 45 Duplicar...

Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor	=	^
<b>Construção</b>			
Fechamento da parede	Por hospedeiro		
Tipo de construção			
<b>Cotas</b>			
L vao	0,5440		
e moldura superior	0,0560		
e moldura y	0,0280		
folga inferior	0,0890		
folga pastilha	0,0020		
H pastilhas	0,0910		
H total pastilhas	1,0010		
Altura	1,2000		
L pastilhas	0,0900		
L posicionamento pastilhas	0,3000		
L total pastilhas	0,5400		
L total pastilhas METADE	0,2700		
Largura	1,2000		
Largura bruta			
Altura bruta			
e moldura x	0,0500		
e trilho inferior	0,0320		
<b>Propriedades analíticas</b>			
Construção analítica	<Nenhum>		
Definir propriedades térmicas	Tipo esquemático		
Transmissão de luz visual			
Coeficiente de ganho de calor			

[O que fazem estas propriedades?](#)

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Figura 180 - Propriedades de tipo da família 6 desenvolvida no Revit

Para a acomodação do sistema projetado no vão da janela, adotou-se como referência perfis de alumínio para esquadrias disponíveis no mercado. Tendo em vista a alta especificidade, por projeto, do tamanho dos perfis das esquadrias e de seu dimensionamento segundo carga de vento e outras demandas, aspectos ligados ao conforto térmico e visual foram priorizados considerando o escopo deste trabalho. Entretanto, para que o produto concebido fosse viável do ponto de vista dimensional e também de exequibilidade, buscou-se como referência soluções adotadas em produtos similares.

Em particular, os perfis reproduzidos a seguir foram extraídos dos catálogos da Hawa: Sliding Solutions e Hunter Douglas Architectural foram utilizados como referência.

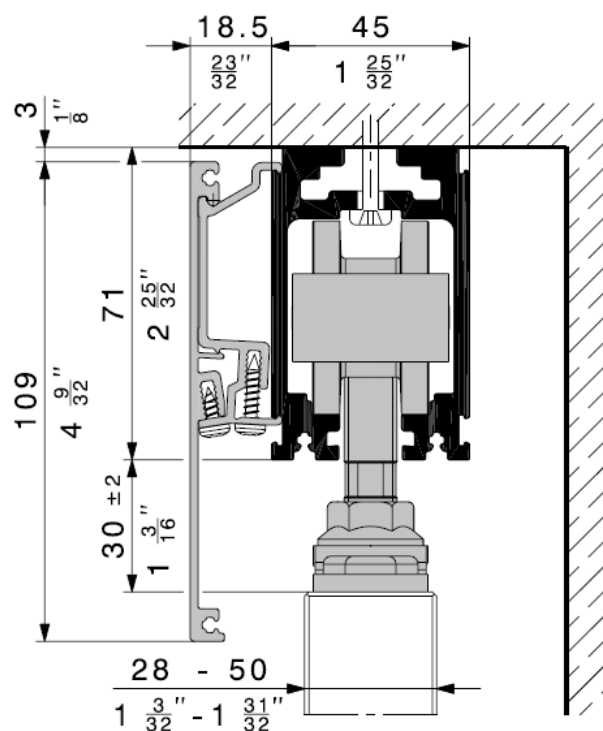
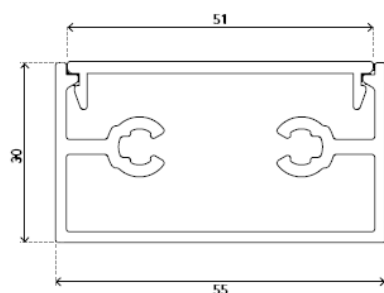
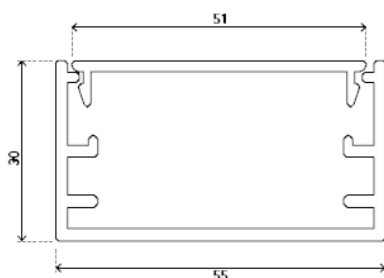


Figura 181 - Referência de mecanismo para portas deslizantes (Patente Hawa, Frontslide 140). Extraído de (HAWA SLIDING SOLUTIONS, [S.d.], p. 41)



PERFIL HORIZONTAL  
SUPERIOR E INFERIOR

- **Matéria-prima padrão:** alumínio
- **Acabamento:** anodizado ou pintado a pó



PERFIL VERTICAL  
MODELO HEAVY DUTY  
(altura até 4.000 mm)

- **Matéria-prima padrão:** alumínio
- **Acabamento:** anodizado ou pintado a pó

Figura 182 - Perfis aplicados para comportar os painéis deslizantes (Hunter Douglas Architectural). Extraído de (HUNTER DOUGLAS ARCHITECTURAL: BRASIL, [S.d.], p. 31)

Assim, os resultados obtidos para o design podem ser conferidos a seguir.

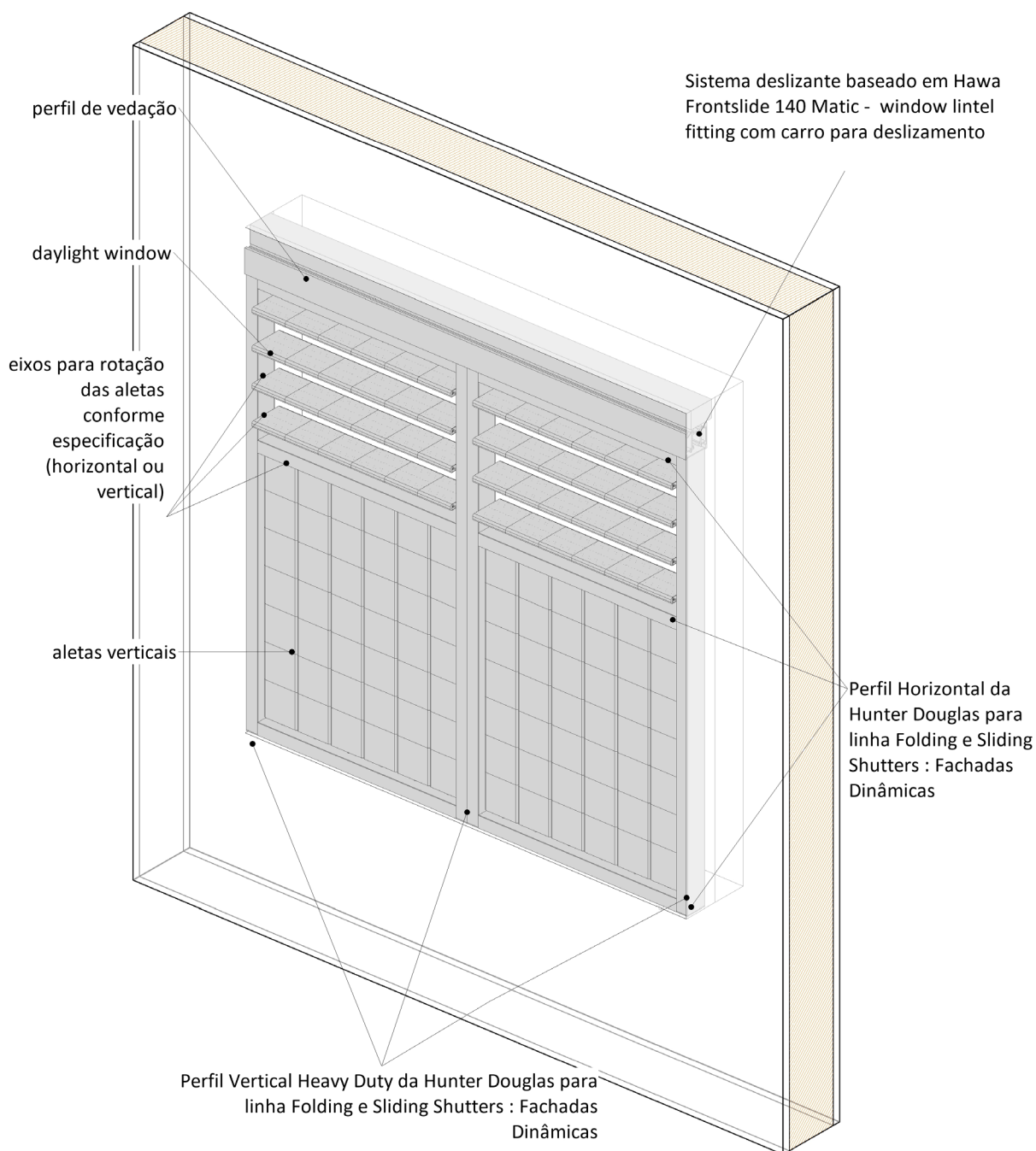


Figura 183 - Vista 3D do modelo final, com exemplo de uma configuração do produto com daylight window. Sem escala. Desenho da autora.

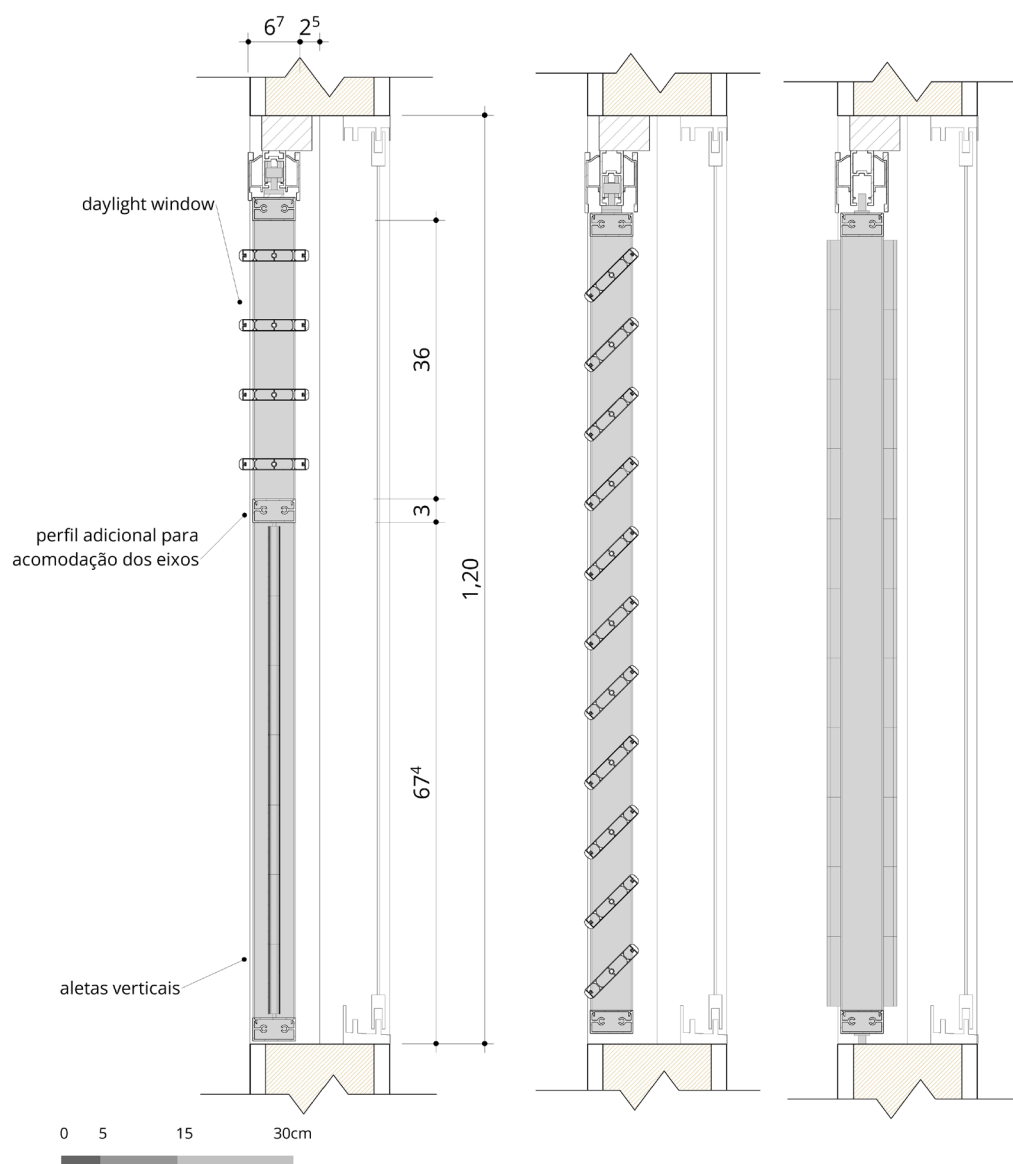
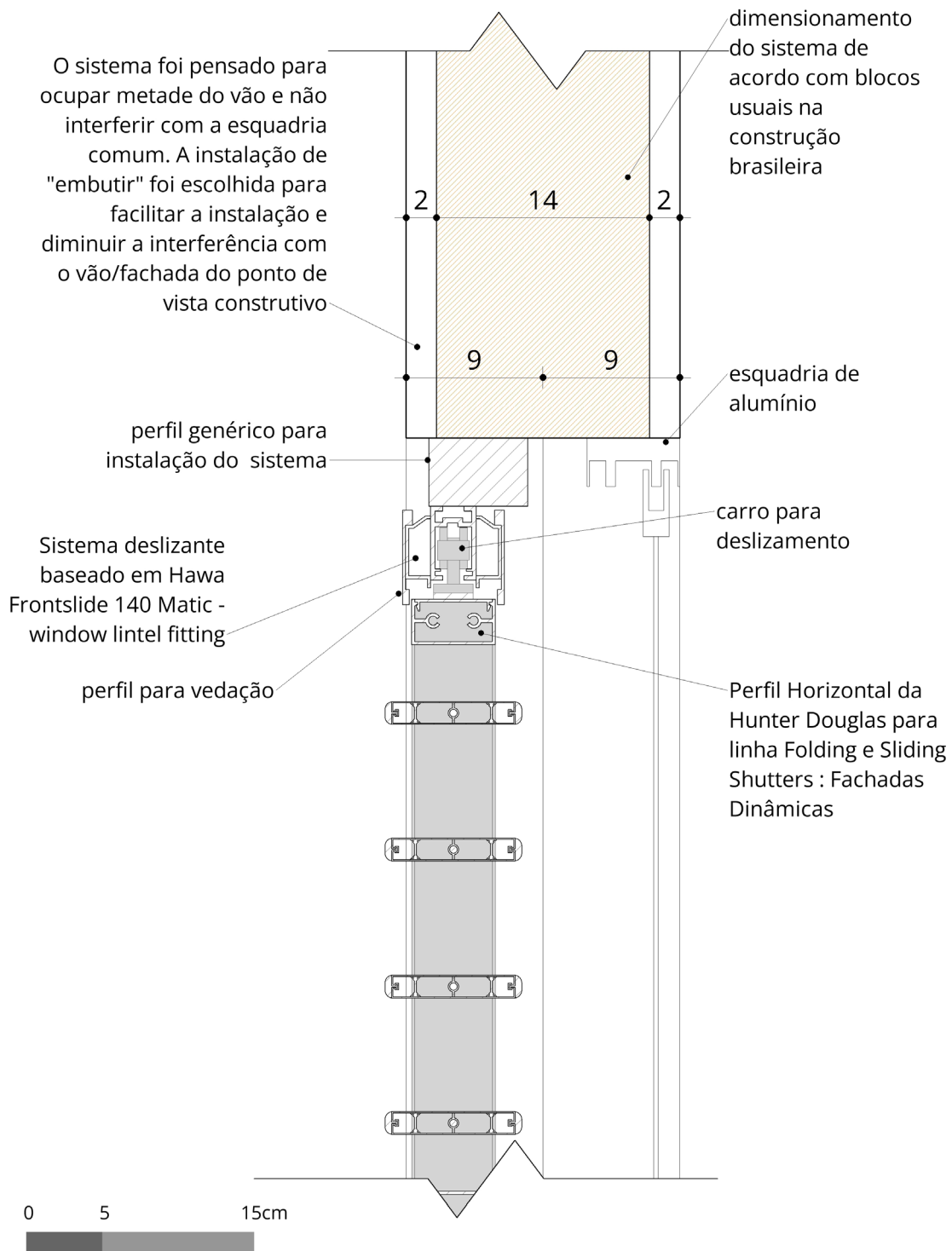
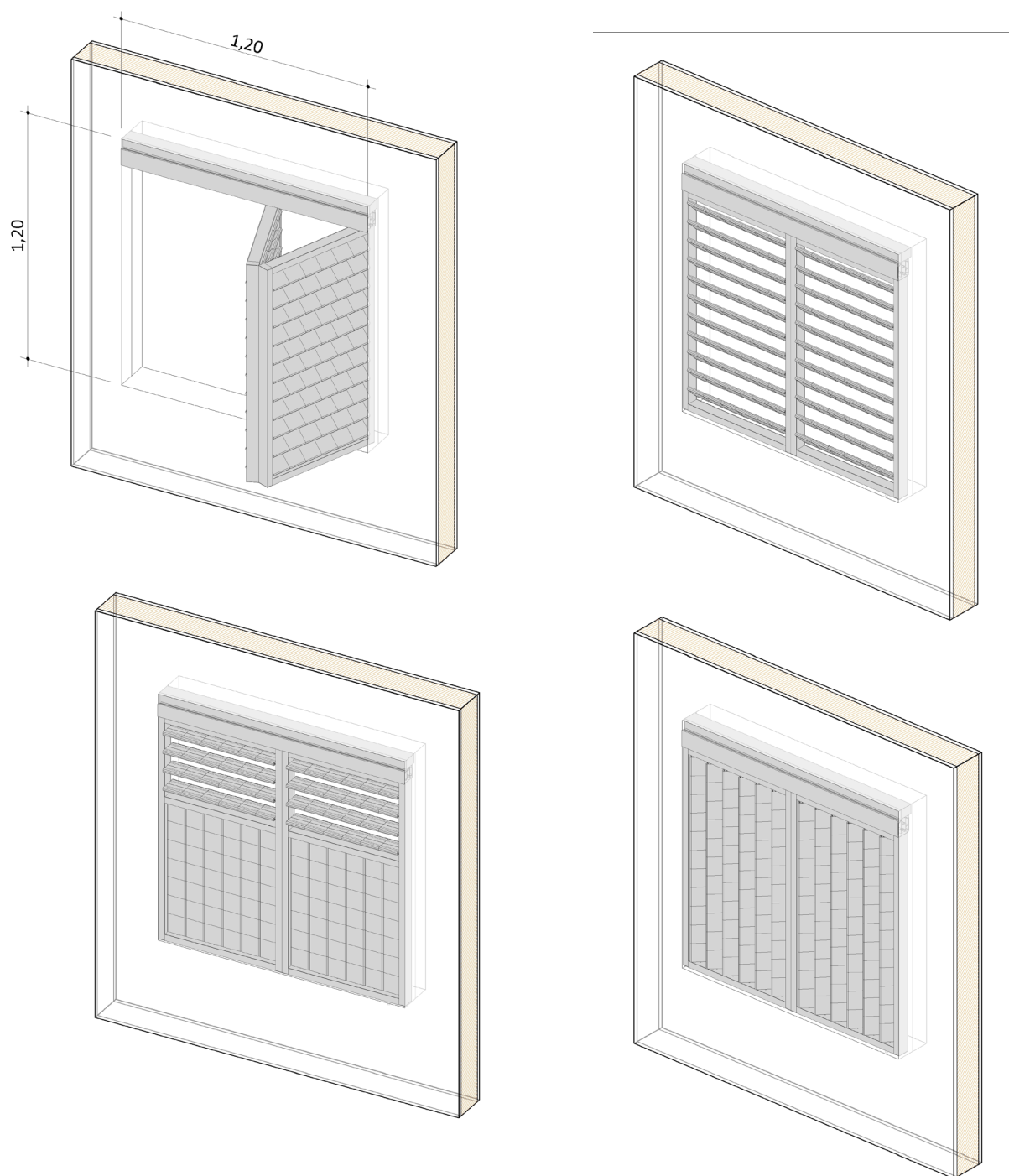


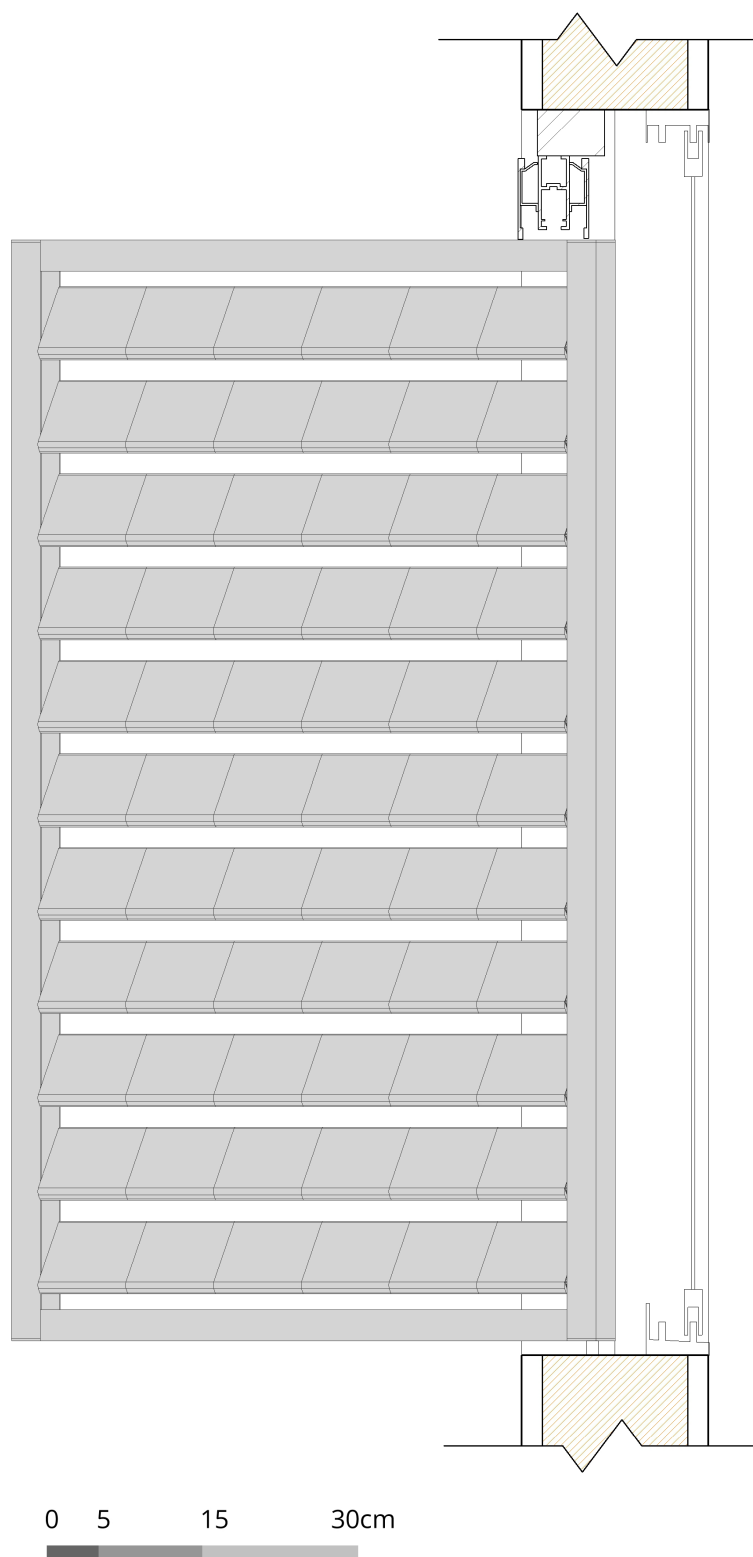
Figura 184 - Corte do resultado final, com diferentes exemplos de configurações e posições de aletas  
Desenho da autora



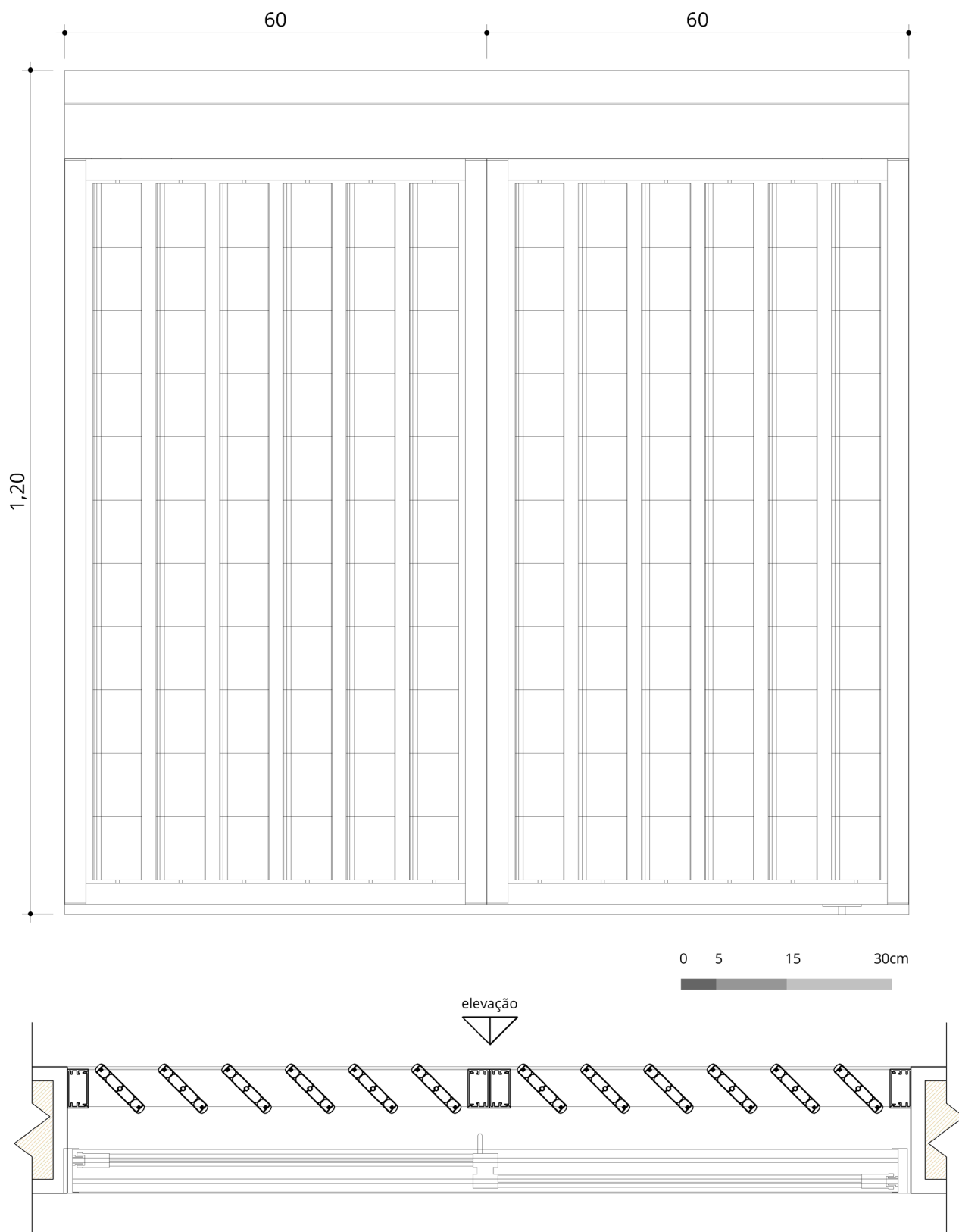
*Figura 185 - Ampliação do corte do modelo final.  
Desenho da autora*



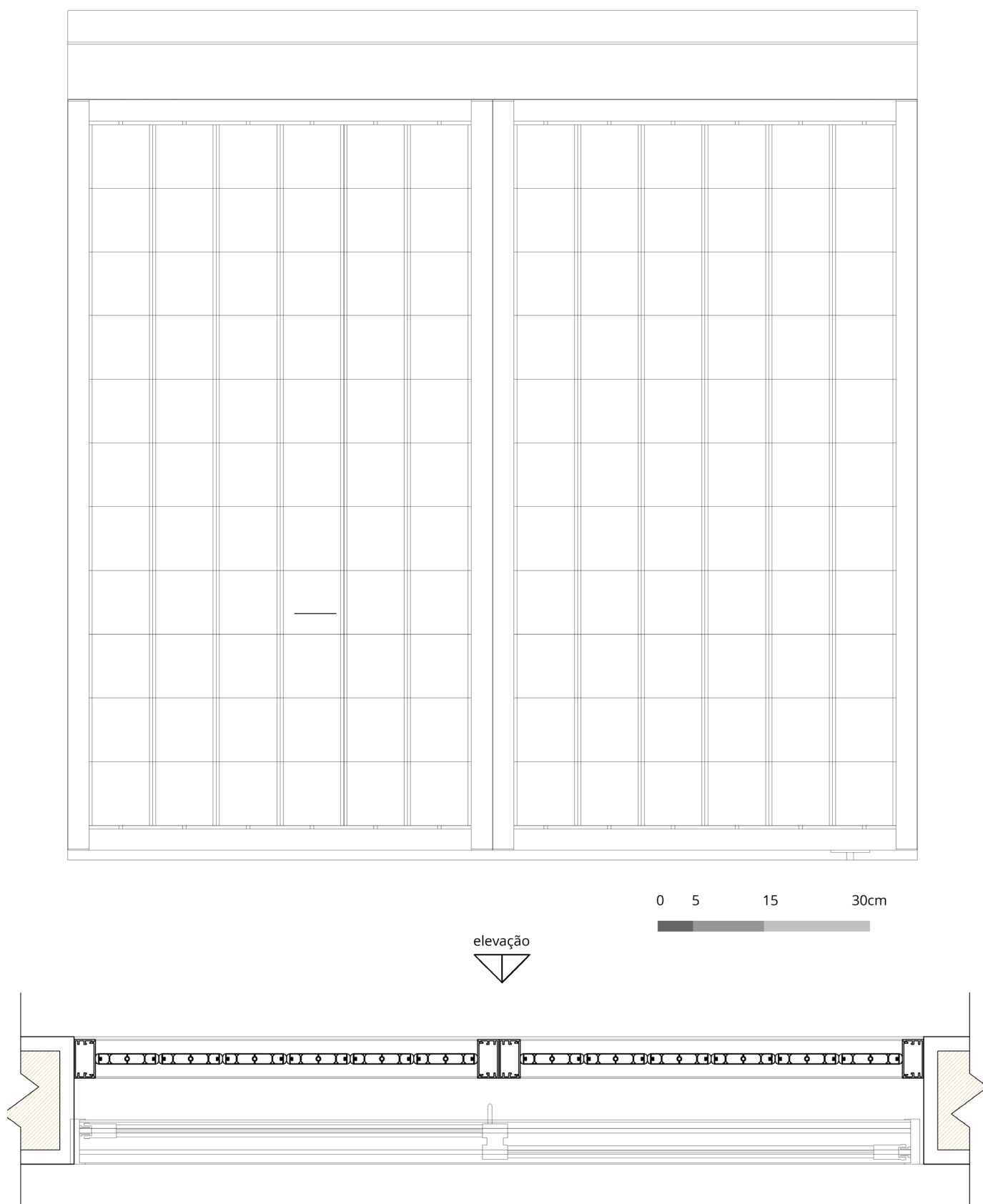
*Figura 186 - Vistas em 3D com outros exemplos de configurações obtidas com o sistema.  
Sem escala. Desenhos da autora*



*Figura 187 - Vista em corte dos painéis na configuração aberta.  
Desenho da autora.*



*Figura 188 - Planta e elevação de uma das configurações possíveis, com aletas rotacionadas.  
Sem escala. Desenho da autora*



*Figura 189- Planta e elevação de uma das configurações possíveis, com aletas na posição inicial.  
Desenho da autora*

## Simulações do produto final:

Como forma de simular um aplicação do sistema final obtido e os objetivos adotados, propôs-se sua aplicação em um edifício pré-existente. Para isso, referiu-se ao Caderno de Tipologias da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU) em busca de uma base arquitetônica bastante disseminada e construída. Para garantir padrão das análises realizadas, foram pesquisadas bases de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos e decidiu-se pela tipologia VIIF-V2, cujo detalhamento está a seguir.

### Base arquitetônica e urbanística utilizada

Para o desenho do conjunto edificado, foi utilizado as normativas e desenhos contidos em CDHU, 1997 para o padrão escolhido (VI22F-V2), para o qual está indicado a adoção de fundação direta ou profunda, estrutura de blocos estruturais, revestimento externo, cobertura de telhas cerâmicas e pintura em látex (CDHU, 1997, p.9).

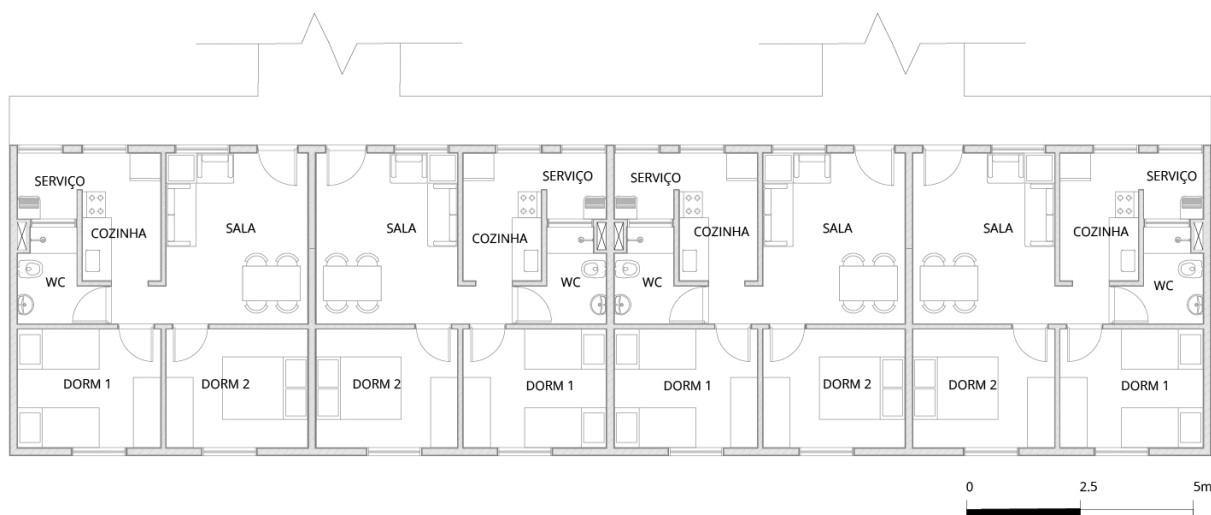


Figura 190 - Planta do pavimento tipo desenhada segundo desenhos e indicações do caderno de tipologias do CDHU. Redesenho da autora

Em complemento à base arquitetônica, pesquisou-se um exemplo desta tipologia construído em São Paulo-SP para utilização de sua implantação como base. O conjunto escolhido fica na Rua Barão de Almeida Galeão, em Itaim Paulista, e é adequado ao teste considerando que sua implantação conta com blocos orientados de diferentes maneiras.

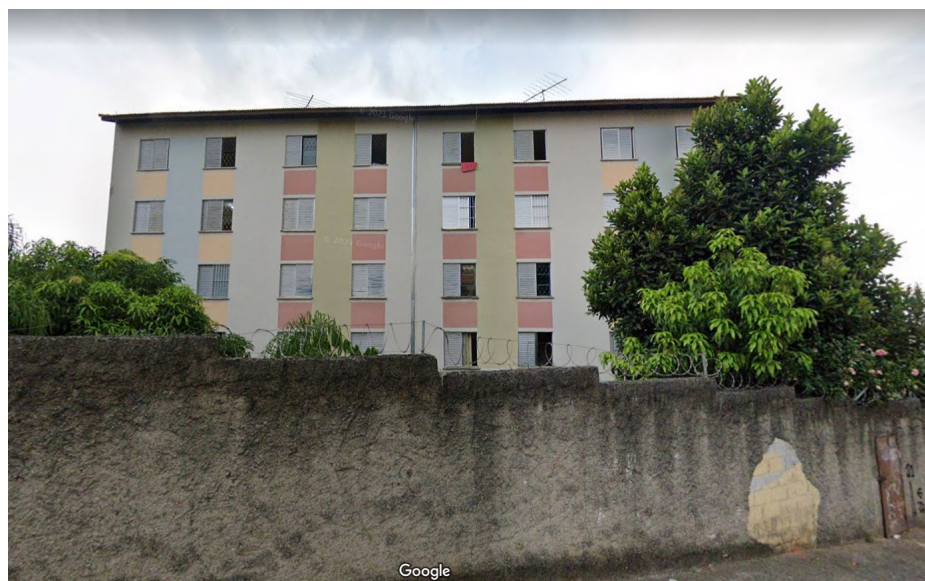


Figura 191 - Foto do Conjunto Habitacional São Miguel Paulista, que possui a mesma tipologia escolhida para estudo de aplicação do sistema. Foto: Google Street View

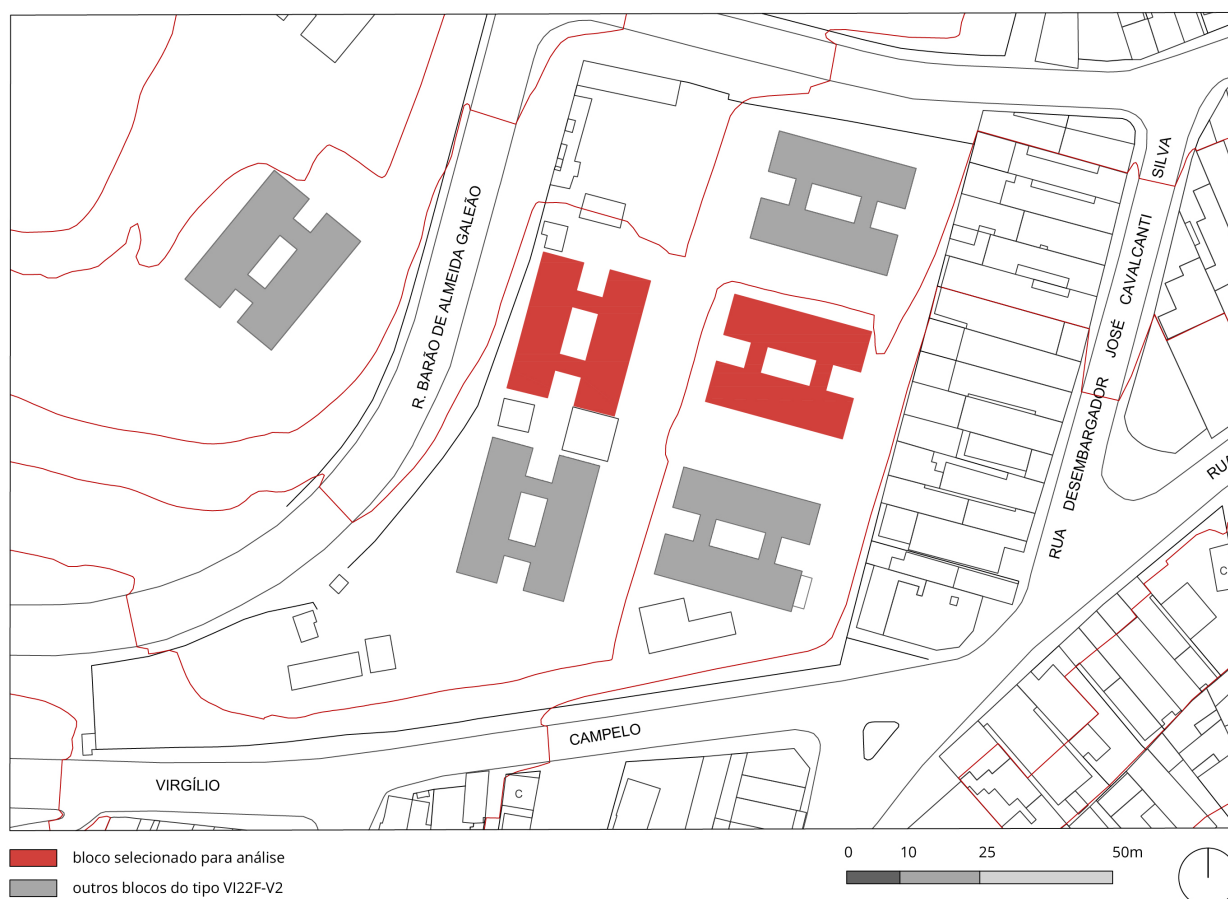
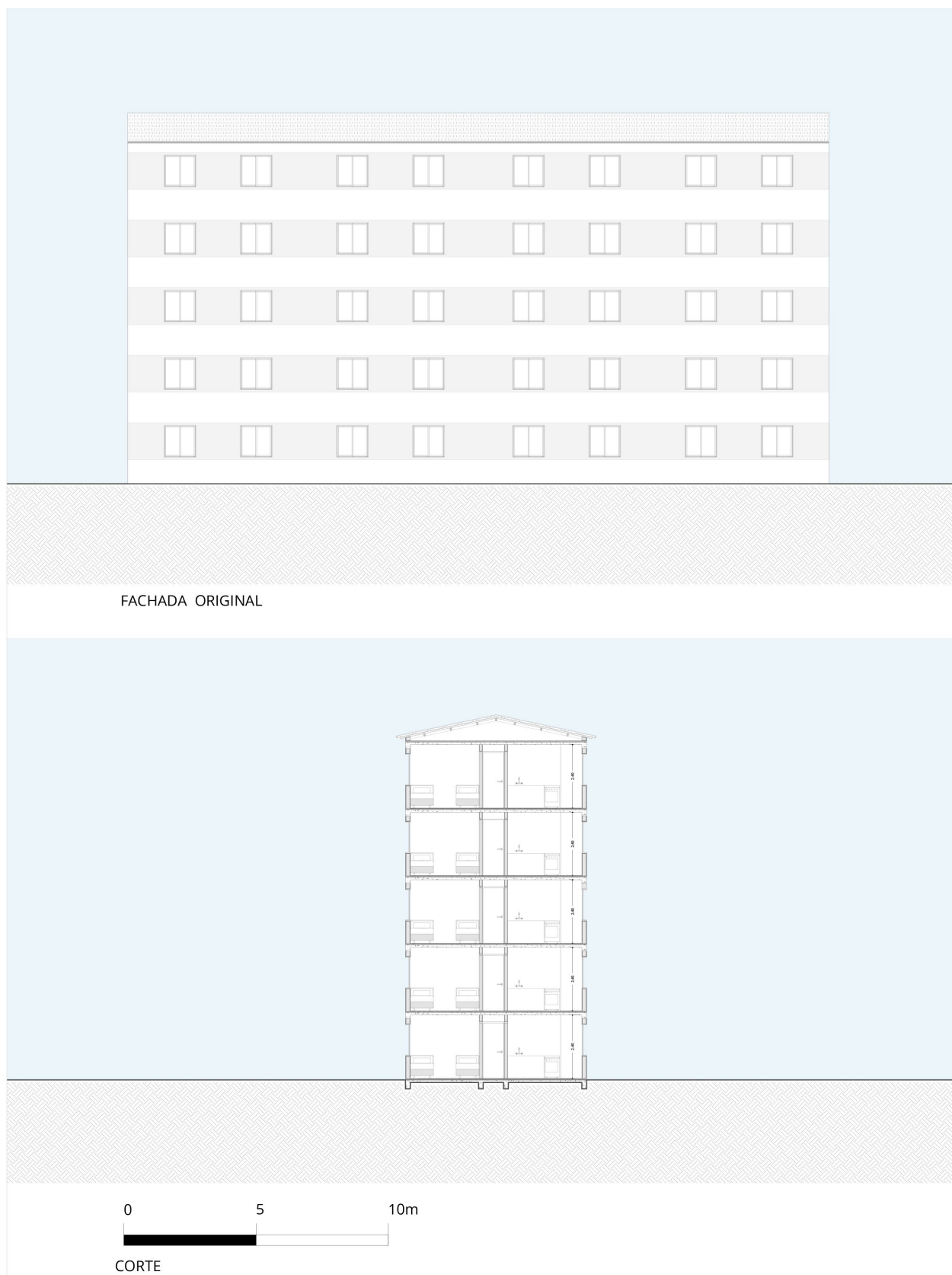


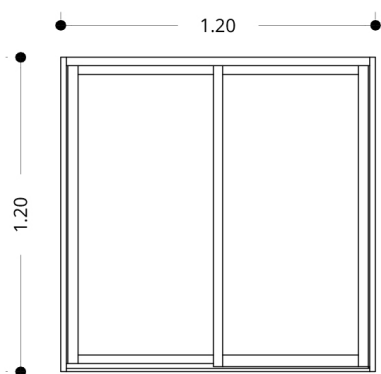
Figura 192 - Implantação do conjunto residencial estudado, com blocos analisados em destaque (Fonte: Geosampa)



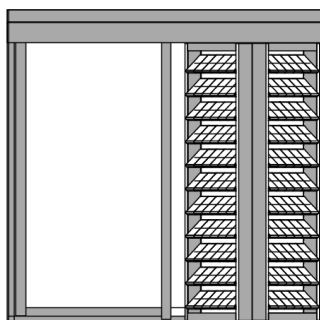
*Figura 193 - Fachada original e corte. Desenho da autora*

## Proposta de aplicação do sistema

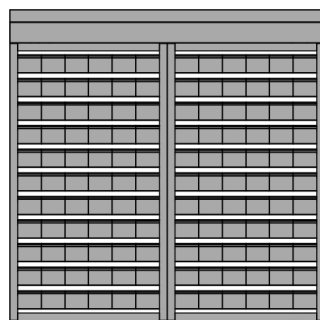
Tendo em vista os resultados obtidos com os testes no Heliodon e os requisitos identificados para cada fachada na latitude de São Paulo (23° 27' Sul), elaborou-se uma proposta de aplicação do sistema concebido no conjunto habitacional em questão. Considerando que aletas horizontais são normalmente indicados para fachadas Norte e Sul, e que essa configuração permite também a utilização das aletas para distribuição da luz diurna, foi indicado o uso apenas de elementos horizontais para essas fachadas. De forma análoga, foi indicado o uso de aletas mistas para as fachadas Leste e Oeste, como indicado no desenho a seguir.



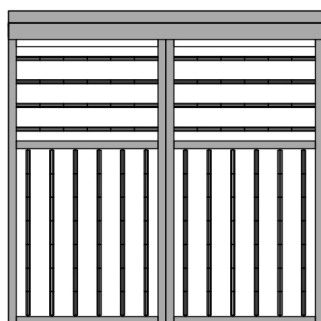
esquadria de alumínio original



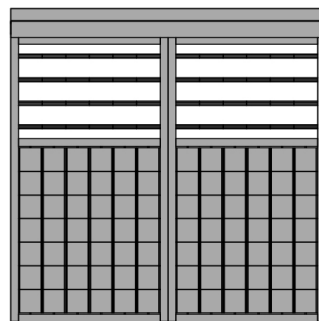
proposta para fachada sul



proposta para fachada norte

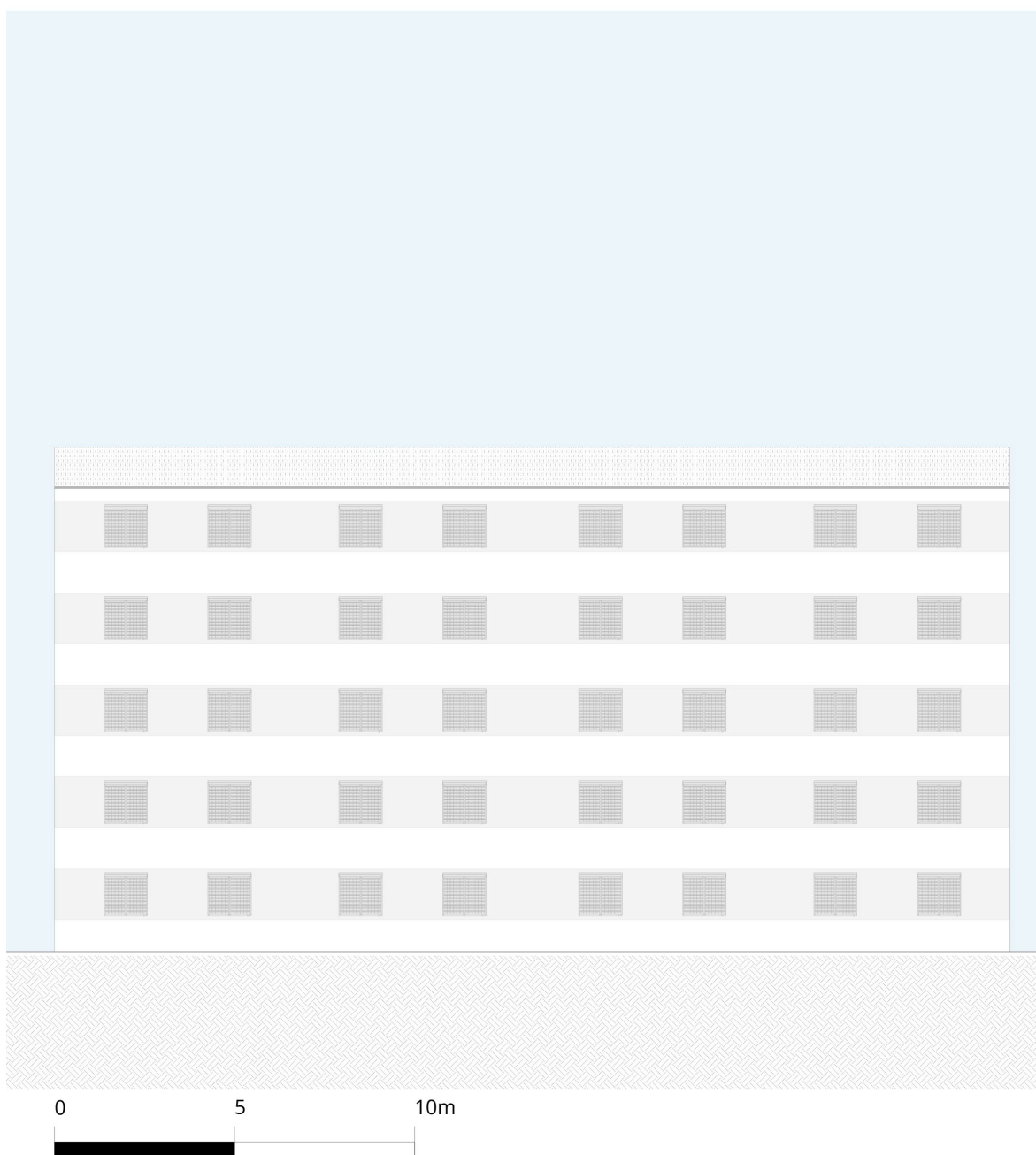


proposta para fachada leste



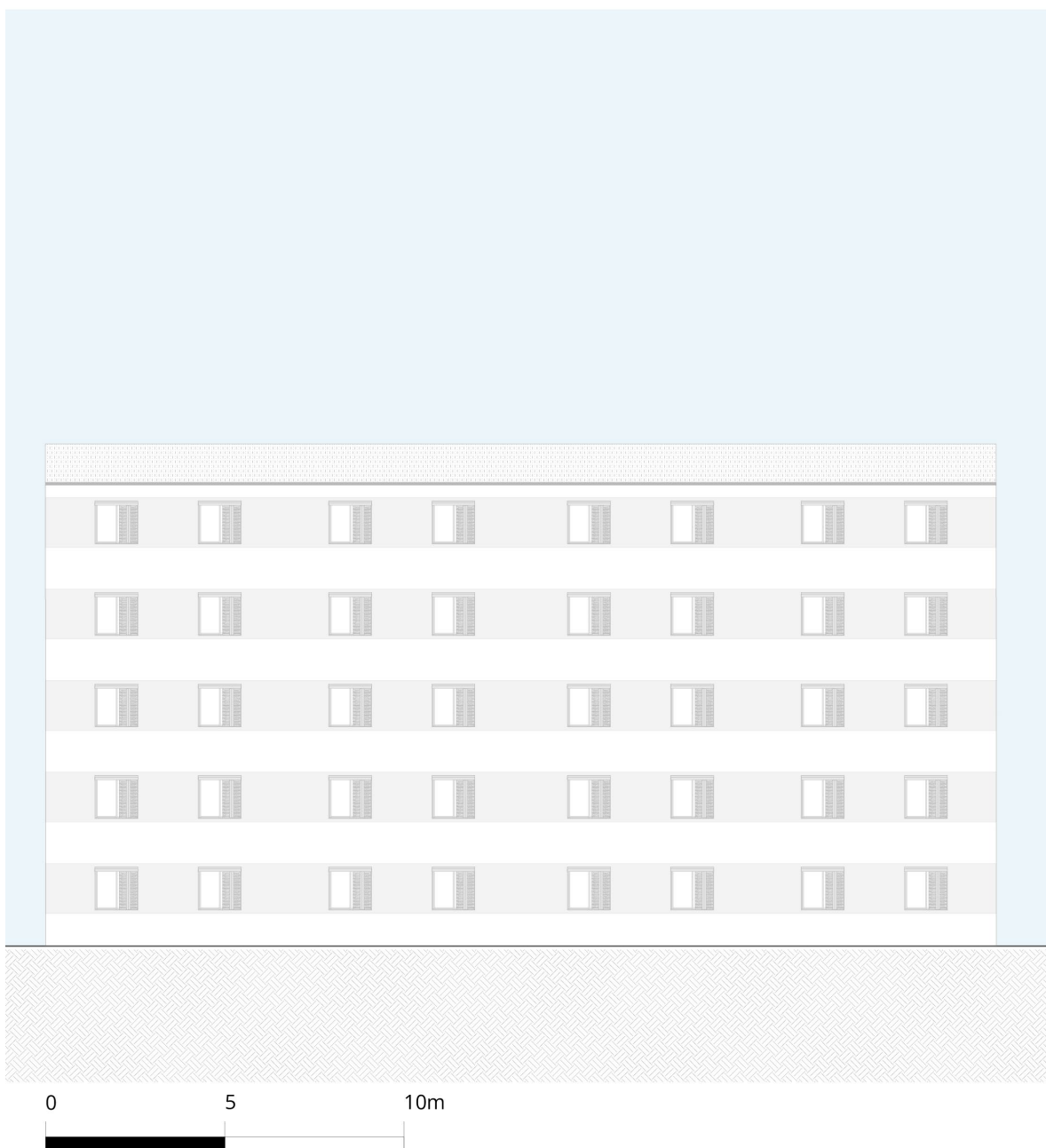
proposta para fachada oeste

Figura 194 - Configurações aplicadas no conjunto CDHU em São Paulo – SP conforme reflexões dos testes realizados



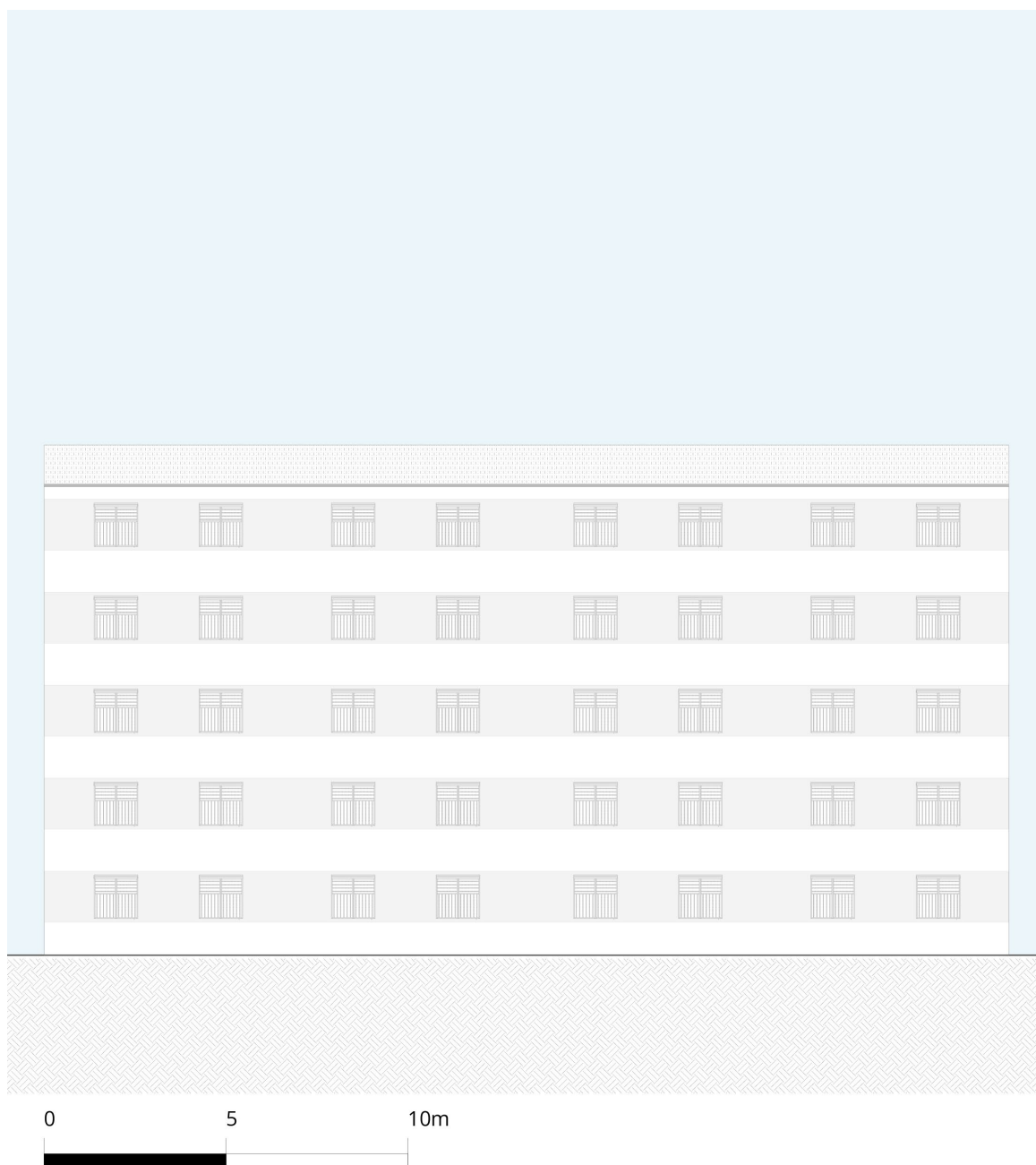
FACHADA NORTE

*Figura 195 - Fachada Norte com sistema aplicado. Desenho da autora*



FACHADA SUL

*Figura 196 - Fachada Sul com sistema aplicado. Desenho da autora*



FACHADA LESTE

*Figura 197 - Fachada Leste com sistema aplicado. Desenho da autora*

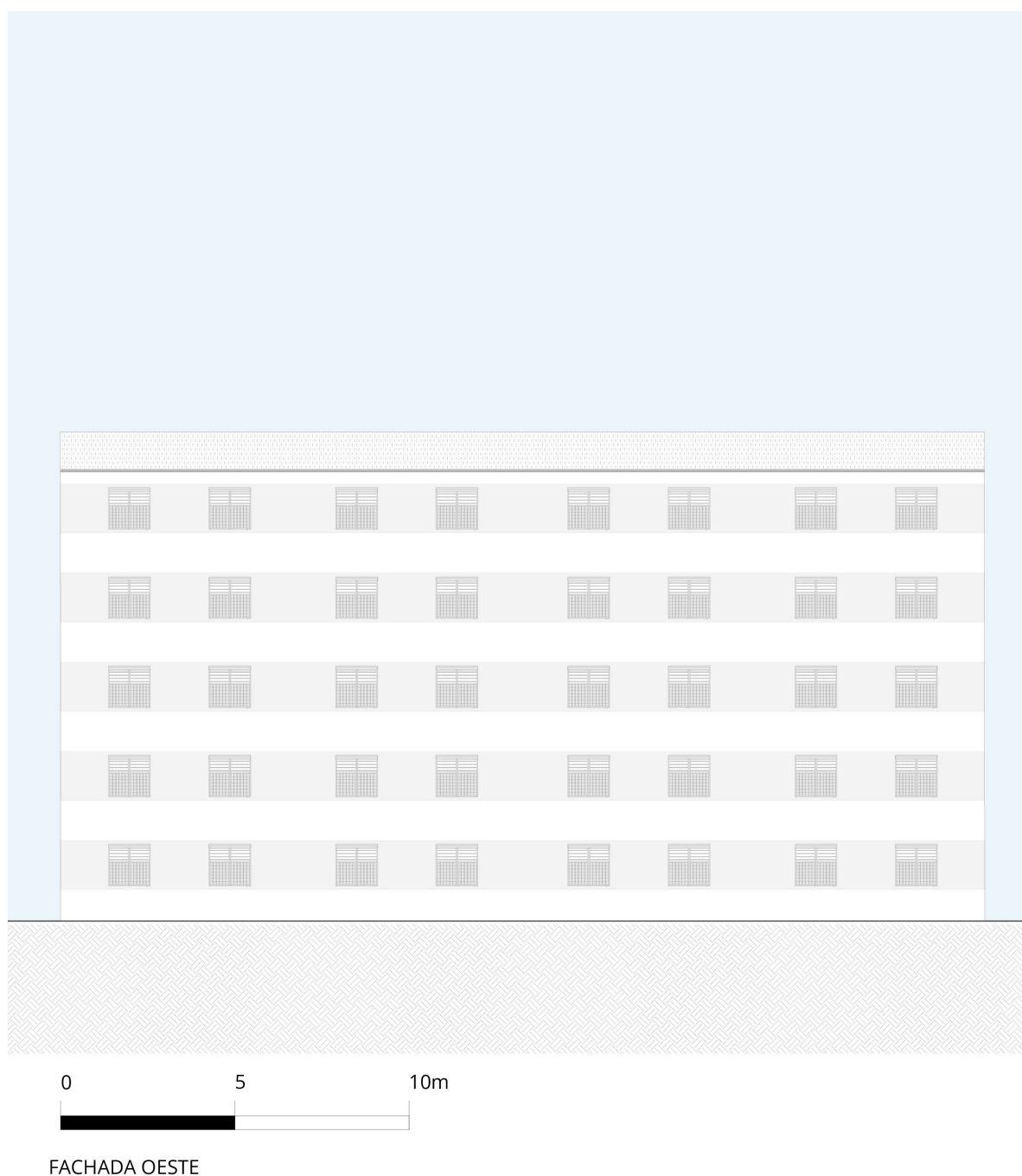










Figura 198 - Fachada Oeste com sistema aplicado. Desenho da autora

## Configurações das Simulações

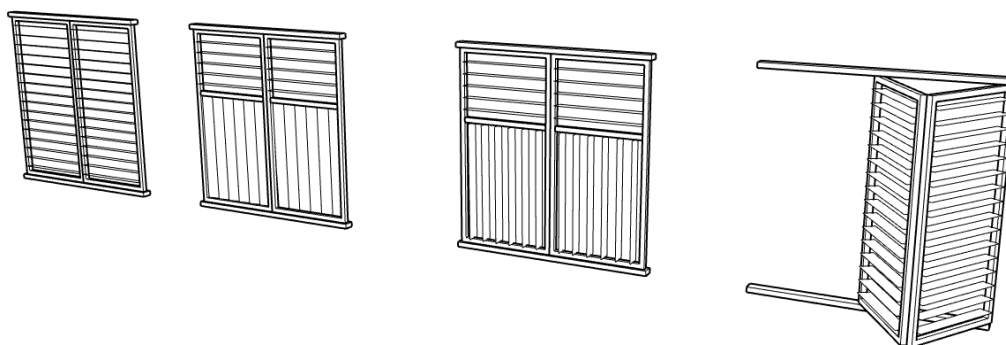
<b>Arquivo climático utilizado*</b> <small>*Fonte: LabEEE</small>	BRA_SP_Sao.Paulo-Congonhas.AP.837800_TMYx.2003-2017.epw
<b>Pavimento escolhido</b>	4º andar
<b>Fachada dos quartos/sala</b>	Todas

Espaçamento dos sensores considerado para simulação de radiação	3.6m
Espaçamento dos sensores considerado para simulações de iluminação natural	0.7m
Dia e horário escolhido para simulação	Equinócio, às 15h

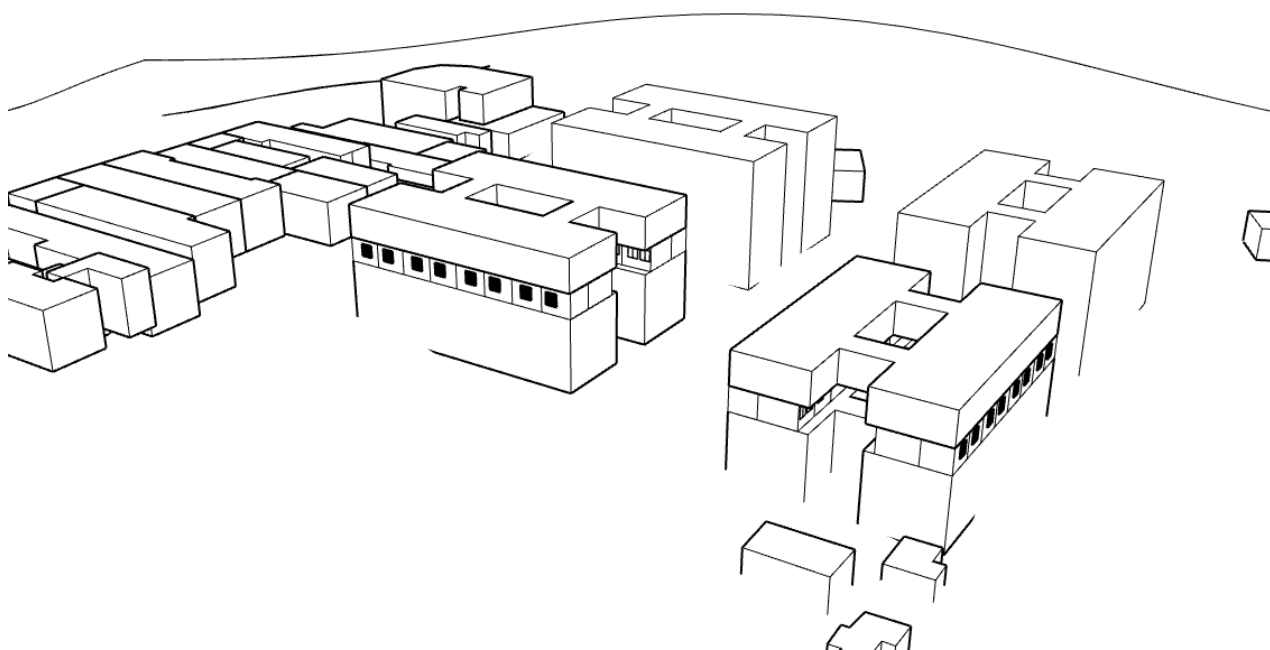
*Tabela 15 – Parâmetros e premissas adotadas para simulações do conjunto*

Superfície	Material*	Cor	Refletância	Transmitância
Edifícios do entorno	Beige Plaster Facade		78,0%	0%
Solo	Sandy Concrete Pavement		12,5%	0%
Forro	Whiteboard Paint		94,4%	0%
Piso	Off White Ceramic Floor Tile		52,0%	0%
Paredes	White painted walls		84,0%	0%
Esquadrias	Matte Aluminum Window Mullion		56,3%	0%
Proteção solar	Aluminum metal cladding		64,8%	0%
Vidros	Clear		8,4%	87,7%

*Tabela 16 - Materiais aplicados no modelo do conjunto*



*Figura 199 - Modelos simplificados para efeitos simulação*



*Figura 200 - Volumetria utilizada para simulação*

## Radiação



*Figura 201 - Radiação incidente durante o equinócio, 15h, nas fachadas Norte e Oeste*



Figura 202 - Radiação incidente durante o equinócio, 15h, nas fachadas Sul e Leste

## Iluminância

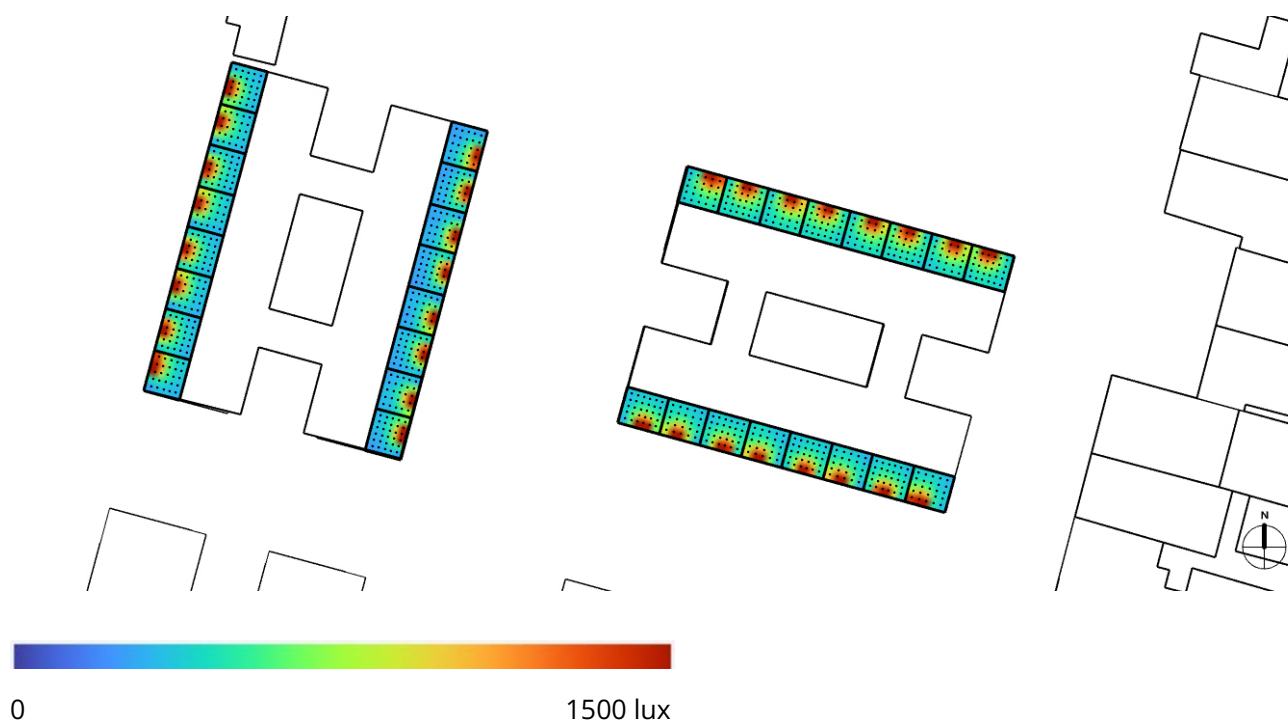
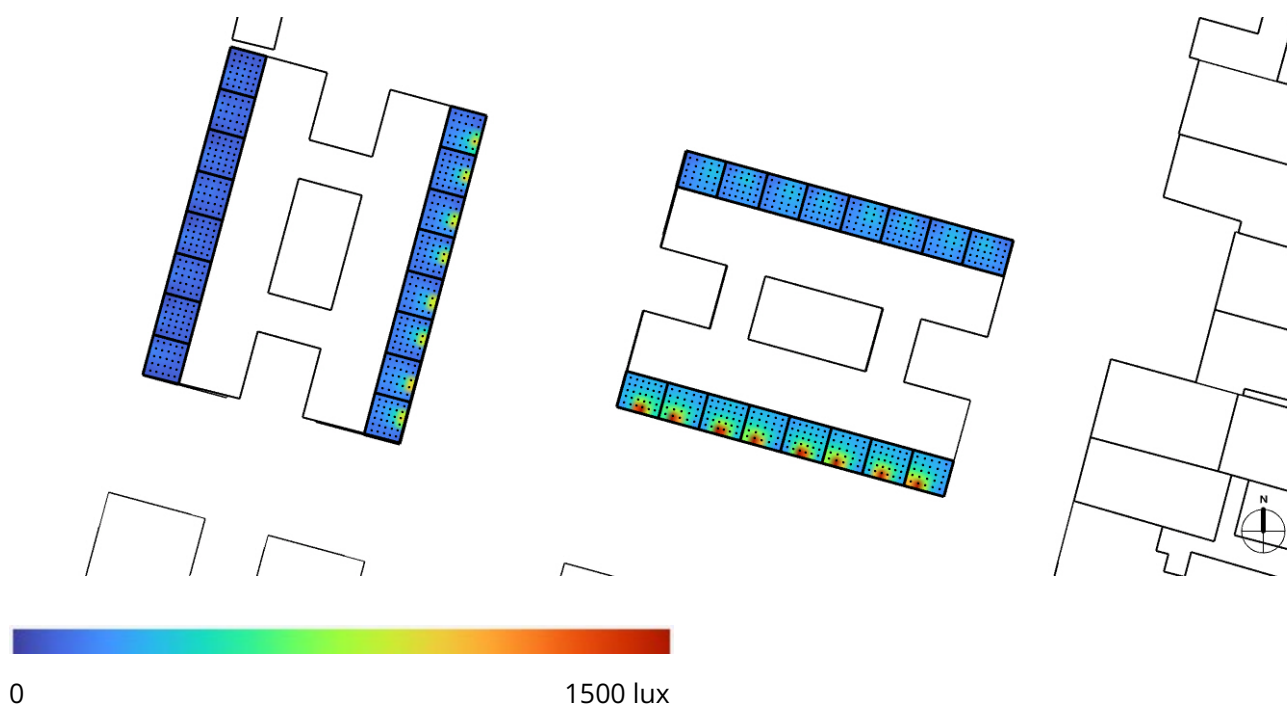
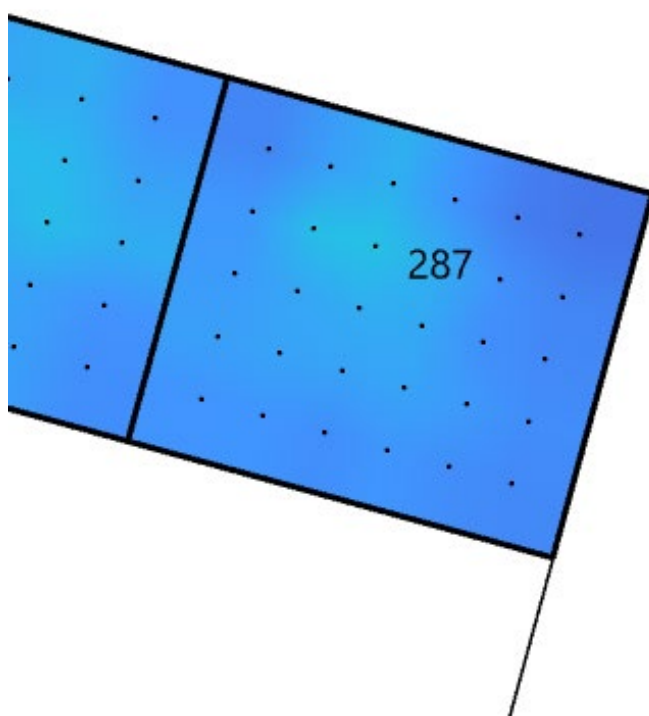


Figura 203 - Iluminância no equinócio, 15h, sem elemento de proteção solar



*Figura 204 - Iluminância no equinócio, 15h, com sistema de proteção solar proposto*



*Figura 205 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada Norte. Indicação em lux. Produção da autora*

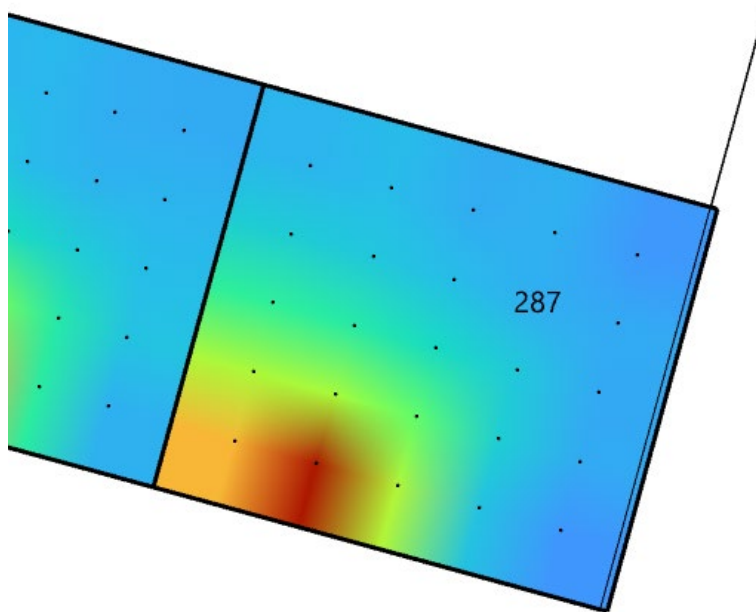


Figura 206 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada ~Sul.  
Indicação em lux. Produção da autora

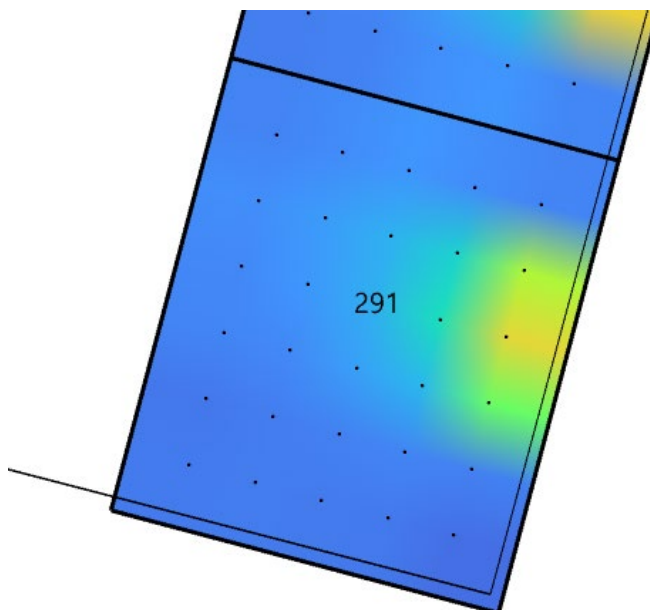


Figura 207 - Ampliação de simulação de iluminância para um dormitório localizado junto à fachada Leste.  
Indicação em lux. Produção da autora

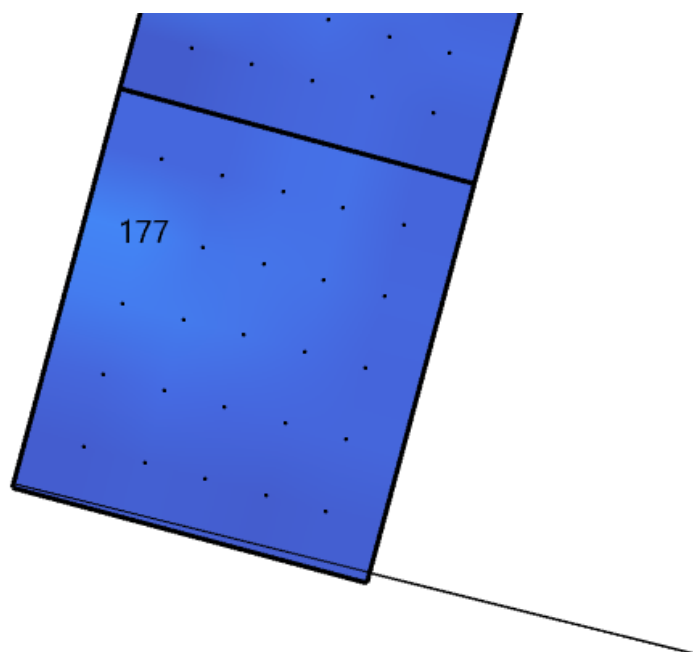


Figura 208 - Ampliação de simulação de iluminação para um dormitório localizado junto à fachada Oeste.  
Indicação em lux. Produção da autora

## Ofuscamento

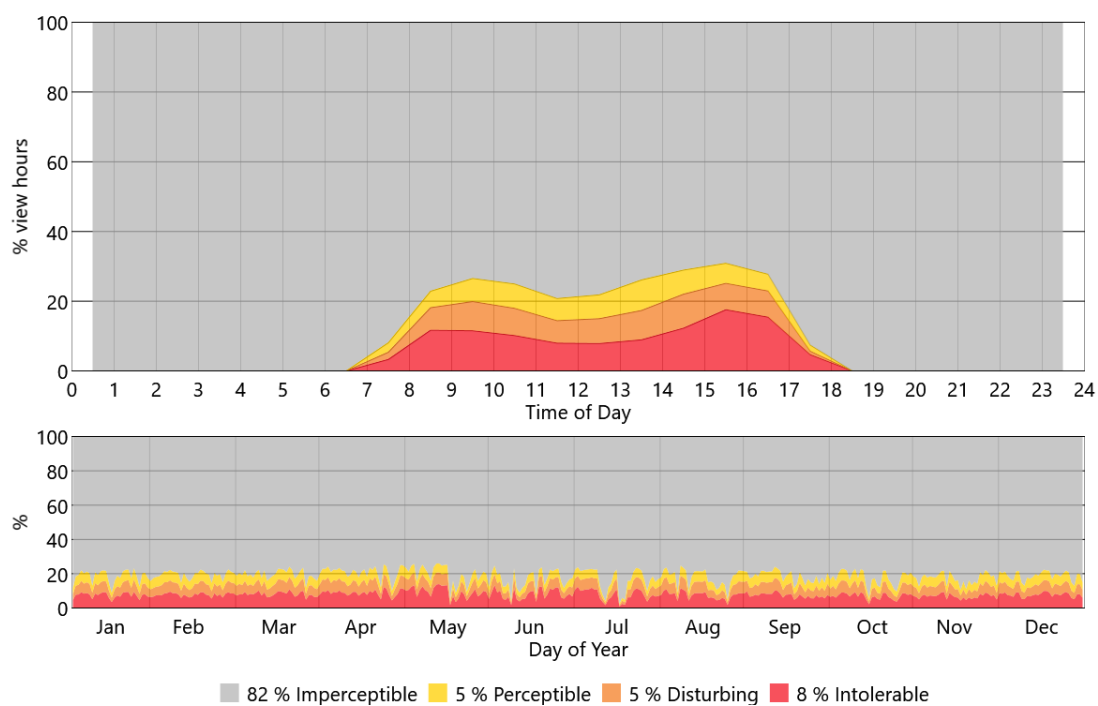


Figura 209 - Gráfico de ofuscamento gerado para o dia do equinócio para todas as áreas analisadas, sem adoção de proteção solar

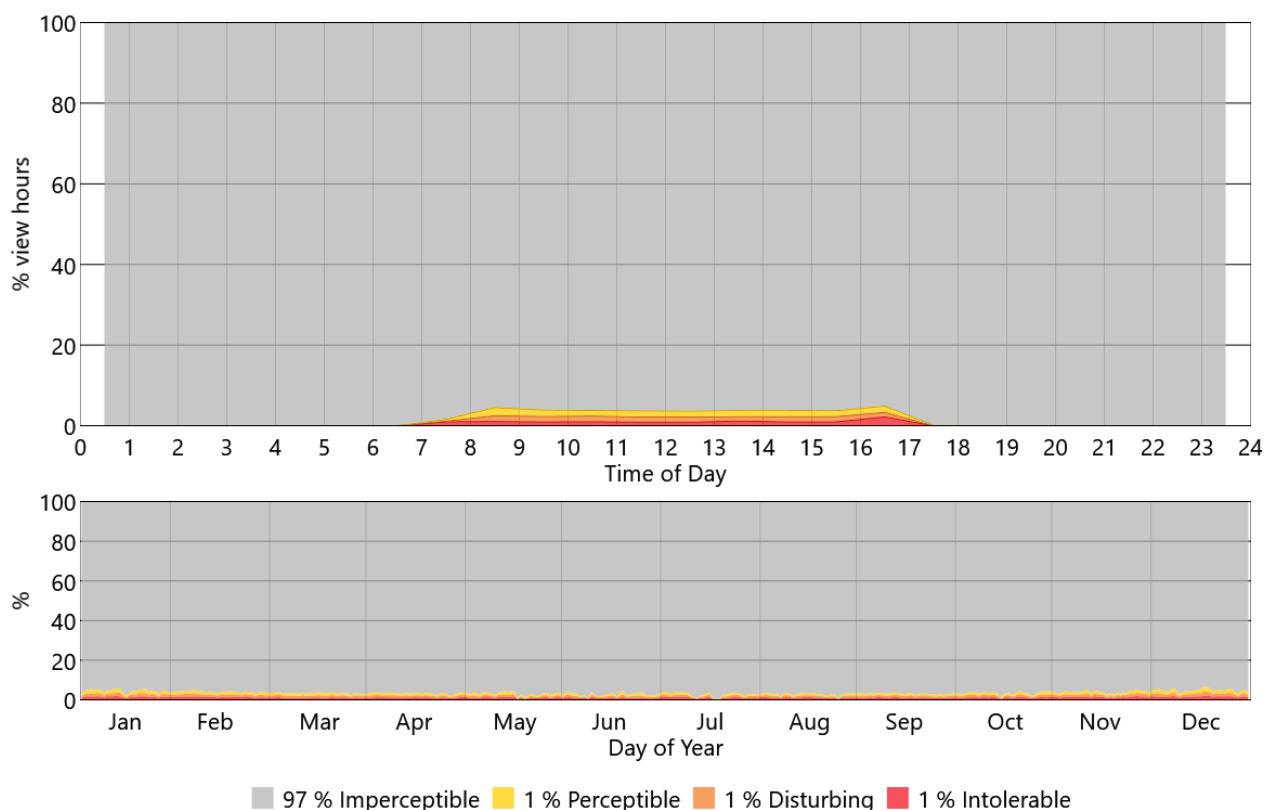


Figura 210 - Gráfico de ofuscamento gerado para o dia do equinócio para todas as áreas analisadas, com adoção do sistema proposto

Conforme avaliações pontuais de ofuscamento e iluminância, combinadas às informações de incidência de radiação da fachada, foi possível mitigar os efeitos do ofuscamento (Ver Figura 210 e Figura 209), ao mesmo tempo em que houve a manutenção de níveis satisfatórios de iluminância nos ambientes, suficientes para a execução de tarefas que requerem certo nível de acuidade visual (Tabela 6). Além disso, para um mesmo dia e horário, foi possível obter níveis de iluminância na mesma faixa para ambientes com orientações distintas na maior parte de sua área.

## Discussão

Este trabalho buscou conceber um sistema de controle e distribuição solar dimensionado conforme os requisitos de projeto pertinentes ao clima brasileiro. Para tanto, foi adotado um conjunto de métodos para a determinação dos requisitos de projeto, que incluiu a consolidação de um arcabouço teórico para embasamento das análises, a identificação de boas práticas referentes a soluções de projetos em edifícios existentes, por meio de um processo de *benchmarking*; o desenvolvimento de simulações computacionais, inclusive com a adoção de algoritmos para a parametrização desses modelos. A partir dos requisitos de projeto consolidados, foi desenvolvida uma proposta projetual, cujo desempenho foi validado por meio da condução de análises laboratoriais, a partir de modelos físicos.

Embora as análises tenham sido conduzidas considerando a latitude de São Paulo como referência (23° 27' Sul), o sistema proposto mostrou-se versátil em sua composição, à medida que permite a adaptação de sua configuração física (dimensões dos painéis, orientação das aletas e acabamentos) em função de especificidades relacionadas aos requisitos de projeto e às características climáticas locais, oferecendo liberdade ao projetista. Nesse contexto, é possível combinar aletas que rotacionam vertical e horizontalmente em um mesmo produto sem prescindir da uniformidade estética do exterior, ao mesmo tempo que se observam as necessidades implicadas pela localização do projeto e orientação de cada fachada.

Diferentemente de um brise usual (que atua majoritariamente como barreira), o sistema projetado possui dupla funcionalidade, obtida através da adoção de revestimentos diferentes para faces opostas e do ajuste do posicionamento das aletas e dos painéis como um todo. Assim, habilita-se tanto o bloqueio quanto a reflexão dos raios solares, de forma que seja possível atingir diferentes gradações de luz incidente no interior para um mesmo dia e horário, como pode ser verificado nos resultados dos testes no Heliodon.

Deste modo, o sistema de controle e distribuição da luz solar proposto oferece adaptabilidade ao usuário, de modo a permitir ajustes devido às variações sazonais e diárias inerentes à iluminação natural, bem como em função de necessidades específicas do usuário em função de aspectos como: acuidade visual, faixa etária e preferências pessoais. Para tanto, foi desenvolvido um sistema com acionamento manual que permite controlar um eixo completo ou aletas individuais, permitindo assim que o usuário possa dosar a tanto a proteção solar quanto a luz refletida conforme o desejado.

Essa versatilidade se traduziu na escolha das técnicas adotadas para desenho dos modelos digitais. Através da parametrização, foi possível testar de forma interativa e ágil as configurações previstas para o sistema. Isso também foi aplicado para o detalhamento de projeto, desenvolvido com o suporte de um programa computacional de *building information modeling* (BIM), a fim de que os parâmetros customizáveis do sistema (aletas horizontais e verticais, vãos e configurações possíveis) estivessem acessíveis ao projetista e pudessem ser modificados com facilidade.

Um outro ponto que foi priorizado durante a concepção deste sistema foi a possibilidade de adotá-lo tanto em edificações pré-existentes quanto para novas construções. A instalação embutida no vão tem menor impacto no sistema construtivo da fachada, e, além disso, o produto foi dimensionado a partir de vãos e espessuras de parede usuais na construção brasileira. Na escolha de materiais, priorizou-se materiais leves e de fácil usinagem, lançando mão de perfis de alumínio e mecanismos já comumente adotados na indústria de construção civil. Dessa forma, pretendeu-se viabilizar sua industrialização, a adoção de soluções econômicas e a minimização do impacto no caso de instalação em edifícios existentes.

Dessa forma, com base nas premissas de arquitetura bioclimática, a adaptabilidade às características climáticas locais e a personalização a cargo do usuário (que pode adequar o sistema visando a obtenção de seu conforto visual e térmico), pretendeu-se contribuir para a aplicação de práticas de arquitetura bioclimáticas por meio da adoção de estratégias arquitetônicas passivas.

## Conclusões e perspectivas futuras

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram identificadas algumas potencialidades para o sistema de controle e distribuição da luz solar concebido, como a possibilidade de aplicação do produto desenvolvido para requalificação de edificações, a importância da solução proposta para a melhoria do desempenho do envoltório no caso de fachadas cujas especificidades não foram consideradas em projeto, a possibilidade de gradação da luz diurna disponível no ambiente interno (e, consequentemente, o atendimento a uma maior gama de usuários de acordo com suas preferências e necessidades), além da contribuição para o uso de estratégias passivas para manutenção de condições de conforto, segundo preceitos da arquitetura bioclimática.

Entretanto, trata-se de um estudo em fase inicial, isto é, são necessários aprofundamentos para viabilizá-lo. Um aspecto importante que pode ser analisado, por exemplo, diz respeito ao impacto da seleção de materiais na eficiência das aletas móveis. Um segundo aspecto importante para a disseminação desta solução consiste em um estudo de viabilidade econômica, de modo a garantir sua acessibilidade. De forma similar, é preciso investigar a padronização componentes do sistema como forma de atender a variedade de requisitos arquitetônicos e de engenharia.

Um outro possível desdobramento diz respeito à utilização do sistema para outras latitudes. Ainda que os testes tenham se restringido a São Paulo (23° 27' Sul), as combinações possíveis para o sistema ampliam o potencial para suprir demandas de outros tipos de climas tropicais.

Dessa forma, verificou-se que conceber o elemento de controle solar como um elemento potencializador dos efeitos benéficos da luz diurna nos ambientes internos, e não só como um elemento de bloqueio de raios solares, é uma abordagem interessante para a questão do conforto ambiental em edificações.

## Bibliografia

.: **Sistema de Consulta do Mapa Digital da Cidade de São Paulo** :. Disponível em: <[http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx#](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx#)>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. . Rio de Janeiro: ABNT. , 2005

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1:2013/Em1:2021 Edificações habitacionais — desempenho Parte 1: requisitos gerais**. In: **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Rio de Janeiro: ABNT. , 2021a

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:2013/Em1:2021 Edificações habitacionais — desempenho Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE**. . Rio de Janeiro: ABNT. , 2021b

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS/ ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/ CIE - INTERNATIONAL COMMISSION ON ILLUMINATION. **NBR ISO/CIE 8995-1:2013 Iluminação de ambientes de trabalho - parte 1: interior**. . Rio de Janeiro: ABNT. , 2013

**About EBD | The Center for Health Design**. Disponível em: <<https://www.healthdesign.org/certification-outreach/edac/about-ebd>>. Acesso em: 9 nov. 2021.

ADEY, Siufan. **HSBC headquarters was “more than just a building” says Norman Foster**. Disponível em: <<https://www.dezeen.com/2020/02/10/hsbc-norman-foster-video-interview/>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

BARBOSA, Marcelo. **Adolf Franz Heep - um arquiteto moderno**. 2. ed. São Paulo: Editora Monolito, 2018.

CASINI, Marco. Advanced building skin. **Smart Buildings**. [S.l.]: Elsevier, 2016. p. 219–245.

CDHU (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Cartão de Tipologias**. . São Paulo: [s.n.], fev. 1997. Disponível em: <<https://www.cdhu.sp.gov.br/>>. Acesso em: 7 jun. 2022.

CRAWLEY, Drury B.; BARNABY, Charles S. Weather and climate in building performance simulations. In: LAMBERTS, ROBERTO; HENSEN, JAN L. M. (Org.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. 2. ed. New York: Routledge, 2019. p. 191–220.

**Edifício Juriti | Nelson Kon**. Disponível em: <<http://www.nelsonkon.com.br/edificio-juriti/>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

**Edifício Lausanne, Adolf Franz Heep | Avenida Higienópolis, ... | Flickr**. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/arteforadomuseu/5877761047>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

**Edifício Louveira | Nelson Kon**. Disponível em: <<http://www.nelsonkon.com.br/edificio-louveira/>>. Acesso em: 9 jul. 2022.

FOTO: FINOTTI, Leonardo. **Edifício Albina - Fotografia - Folha de S.Paulo**. Disponível em: <<https://fotografia.folha.uol.com.br/galerias/1586247292089584-edificio-albina>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

FOTO: GARCÍA, Simon. **Picharchitects | Arquitectura sostenible - Ampliación Escuela Barcelona**. Disponível em: <<https://www.picharchitects.com/portfolio-items/ampliacion-escuela-teresianas>>

ganduxer/?portfolioCats=159%2C207%2C156%2C152%2C157%2C154%2C153%2C158%2C151>. Acesso em: 28 nov. 2021.

FOTO: SAIEH, Nico. **Edifício Consorcio Santiago / Enrique Browne + Borja Huidobro | ArchDaily México**. Disponível em: <<https://www.archdaily.mx/mx/02-14392/edificio-consorcio-sede-santiago-enrique-browne-borja-huidobro>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GUERRA, Abílio; GIMENEZ, Luis Espallargas; SERAPIÃO, Fernando. **João Kon, arquiteto**. 1. ed. São Paulo: Romano Guerra, 2016.

HAWA SLIDING SOLUTIONS. **Architectural hardware for sliding shutters on buildings**. . Switzerland: [s.n.], [S.d.]. Disponível em: <<https://www.hawa.com/products/on-buildings>>. Acesso em: 9 maio 2022.

**Heliodon Definition & Meaning - Merriam-Webster**. Disponível em: <<https://www.merriam-webster.com/dictionary/heliodon>>. Acesso em: 2 jul. 2022.

HUNTER DOUGLAS ARCHITECTURAL: BRASIL. **Folding & Sliding Shutters**. . São Paulo, Brasil: [s.n.], [S.d.]. Disponível em: <<https://architectural.hunterdouglas.com.br/documentacion>>. Acesso em: 9 maio 2022.

LODETE BILÉSIMO, Thayane; ARNS RAMPINELLI, Giuliano; MARCELLINO, Roderval. **MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO COM ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA**. . [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/39>>. Acesso em: 8 nov. 2021.

MANZANO-AGUGLIARO, Francisco *et al.* Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. In: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 736–755, 1 set. 2015. Acesso em: 8 nov. 2021.

MICHEL, Mariana Vallory; LARANJA, Andréa Coelho. Condições e tipos de céu para simulações de iluminação natural com céu estático. In: **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p. e020001, 13 mar. 2020.

OLGYAY, Victor; OLGAY, Aladar. **Solar Control & Shading Devices**. Meriden: Princeton University Press, 1957.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Aquecimento Global de 1,5°C. 2018. Disponível em: <[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)>. Acesso em: 8 nov. 2021.

**Performance-Based Construction Specifications for the LightLouver™ Daylighting System**. . Louisville: [s.n.], 2011. Disponível em: <<http://lightlouver.com/design-information/construction-specifications/>>. Acesso em: 9 maio 2022.

REINHART, Christopher. Daylight performance predictions. In: LAMBERTS, ROBERTO; HENSEN, JAN L. M. (Org.). **Building Performance Simulation for Design and Operation**. 2. ed. New York: Routledge, 2019. p. 221–269.

**Revista Acrópole**. Disponível em: <<http://www.acropole.fau.usp.br/edicao/293/20>>. Acesso em: 28 nov. 2021.

RIVERO, Roberto. **Acondicionamento Térmico Natural. Arquitetura e Clima**. 1. ed. Porto Alegre: DC Luzzatto, 1985.

SEGAWA, Hugo. **Arquiteturas no Brasil: 1900-1990**. 3. ed. São Paulo: Edusp, 1998.

SOMEKH, Nadia; SOUZA, Maria Adélia Aparecida De. **Cidade vertical e o urbanismo modernizador: sao paulo 1920-1939**. 1994. 1994. . Acesso em: 9 nov. 2021.

TAHA, Haider; SAILOR, David; AKBARI, Hashem. **High-Albedo Materials for Reducing Building Cooling Energy Use**. . Berkeley: [s.n.], , jan. 1992

TREGENZA, Peter; LOE, David. **Projeto de Iluminação**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

**Welcome to the ClimateStudio User Guide — ClimateStudio latest documentation**. Disponível em: <<https://climatestudiodocs.com/>>. Acesso em: 11 jul. 2022.

YIN, Robert. **Case Study Research and Applications: Design and Methods**. 6. ed. [S.l.]: SAGE Publications, 2017. . Acesso em: 17 nov. 2021.

ZUFFO, Élide Regina de Moraes. Pioneiros modernos: verticalização residencial em Higienópolis. 20 dez. 2009. Disponível em: <<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/2572>>. Acesso em: 9 nov. 2021.