

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
POLITECNICO DI MILANO

# **ARENA PARA AS OLIMPIADAS DE INVERNO DE MILÃO: PROJETO E ESTUDO TÉRMICO**

TRABALHO FINAL DE GRADUAÇÃO

JÚLIO HERMINIO BRESSAN MARTINS



2021

JÚLIO HERMINIO BRESSAN MARTINS

## ARENA PARA AS OLIMPIÁDAS DE INVERNO DE MILÃO: PROJETO E ESTUDO TÉRMICO

Trabalho final de graduação em Arquitetura e Urbanismo apresentado à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e ao Politecnico di Milano (MsC Building Architecture) para a obtenção do duplo título.

Orientadoras:

Profª. Drª. Denise Helena Silva Duarte

Profª. Drª. Maria Grazia Folli

Co-orientadores:

Prof. Giovanni Dotelli

Prof. Marco Imperadori

Prof. Corrado Pecora

Prof. Francesco Romano



Graduação em Arquitetura e Urbanismo 2021

Aluno: Júlio Herminio Bressan Martins

Número USP: 7992167

Orientadora: Profª. Drª. Denise Duarte



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

MsC Building Architecture A.Y. 2021 / 2022

Authors:

Júlio Herminio Bressan Martins | 935922

Eric Thomas Laughlin Lara | 941628

Elio Nassar Nassar | 940192

Supervisor: Professor Maria Grazia Folli

São Paulo

2021

## ANTES DE MAIS NADA

Este trabalho encerra um ciclo de 6 anos na FAU-USP permeados por 2 anos de formação no Politecnico di Milano: o chamado “duplo diploma”. É fruto de um trabalho árduo desenvolvido durante meu período como estudante do MSc in Building Architecture do Politecnico di Milano.

A primeira aproximação ao projeto aconteceu em setembro de 2020, durante o primeiro semestre da disciplina anual “Architectural Design Studio For Complex Construction 2”.

No início deste ano, recomeçamos o projeto do zero em um trio para apresentá-lo como tese de Master of Science no Politecnico di Milano, onde é possível defender a tese em grupos de até 3 pessoas. E assim o fizemos, eu e os meus caros amigos Eric Thomas Laghlin Lara e Elio Nassar Nassar, coautores da minha tese de Master of Science no Politecnico di Milano, defendida com nota máxima e louvor (*110/110 cum laude*) em outubro na instituição italiana.

Para poder apresentar este trabalho como TFG na FAU - afinal, aproveitar o trabalho de conclusão de curso de uma instituição na outra era um dos benefícios do duplo diploma, realizei uma complementação do trabalho, adicionando ao projeto arquitetônico um estudo de conforto térmico, sob a orientação da Profa. Dra, Denise Duarte, que gentilmente aceitou ser orientadora de “meio TFG” no segundo semestre de 2021.

Como o trabalho foi desenvolvido em grupo no Politecnico di Milano, muitas das produções deste trabalho estão em coautoria, e me reservo ao direito de, como coautor, poder usufruí-las. Colocarei no índice e nas imagens as pessoas que estiveram

envolvidas em cada parte do projeto, tentando ser o mais transparente possível.

No processo de tradução e adaptação do trabalho como TFG, algumas partes foram retiradas para encurtar o volume (que já se encaminhava às 400 páginas) e algumas foram modificadas por conta da tradução ou fluidez do trabalho. Cito, por exemplo, a subtração das partes de cálculo estrutural, que teriam pouco interesse para a banca que foi formada.

O trabalho é composto, portanto, de duas partes. Uma realizada no Politecnico di Milano em coautoria, que diz respeito ao estudo do lugar, tema, e programa, o projeto arquitetônico, e análises técnicas e estruturais. Outra realizada sozinho, que diz respeito à análise de conforto térmico e crítica do projeto do ponto de vista climático.

Espero que gostem!

# AGRADECIMENTOS

Essa é aquela parte do trabalho que você se esquece de alguém e chateia um amigo! Mas correndo esse risco, quero agradecer o todos que tornaram esse trabalho possível.

Aos meus pais, Sérgio e Jacinta, cujo esforço, dedicação, e amor me inspiram a ser uma pessoa sempre melhor e a ter motivação nos momentos mais difíceis.

Aos meu avós que, mesmo não podendo ter a oportunidade de estudar muito, sempre me incentivaram para que me aplicasse nos estudos e pudesse ter uma boa formação. Ao vô Mino, que só aprendeu a ler aos 18 anos no exército, mas que sonhava que sua família também pudesse entrar e se formar na USP. Tenho certeza que está muito orgulhoso onde estiver,

Aos meus irmãos, Mari e Tuco, que, no fim das contas, sempre estão torcendo por mim e me ajudando da maneira que podem.

À Sarah, que sempre está ao meu lado e que suportou o amor à distância nesses dois anos na Itália, cruzando o atlântico quando tinha a oportunidade.

Aos meus amigos da faculdade, que foram ponto de apoio e descontração durante todos esses anos. Ao Alê, Deco, Ivan, Gui, Mário, Nando e Vini por toda a resenha nesses 6 anos. Também ao time de basquete masculino da FAUUSP que me proporcionou momentos únicos e que ficarão pra sempre marcados na memória.

Aos amigos que fiz na minha busca por um emprego, especialmente ao Clube da Gam, que me deu incentivo e energia

para continuar na jornada. Ao Alex, Arthur, Beto, Lipe, Mario, Pedro, Tici, Victor e todos que, mesmo tendo menos contato, sempre estavam dispostos a ajudar,

Aos amigos feitos durante o intercâmbio que foram essenciais nesse momento de pandemia e que ajudaram a torná-la mais leve. Ao grupo de brasileiros do Polimi, que sempre se propôs a ajudar nas dificuldades do intercâmbio, mesma a um desconhecido.

Finalmente, gostaria de agradecer às pessoas que foram imprescindíveis ao conteúdo desse trabalho.

Aos meus amigos e coautores no Polimi, Elio e Eric. por todos as noites em claro, dedicação incomparável, piadas e momentos de descontração.

Às minhas orientadoras, Profa. Dra. Denise Duarte e Profa. Dra. Maria Grazia Folli, pela paciência e intelecto, Aos professores que tiveram papel fundamental no desenvolvimento desse projeto: Prof. Giovanni Dotelli, Prof. Marco Imperadori, Prof. Corrado Pecora e Prof. Francesco Romano.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Francisco Spadoni e Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto por aceitarem tão prontamente.

Aos especialistas consultados, Sr. Peter Krick e Engº. Tommaso Pagnacco e Dr. Fabio Bianchetti.

Aos que gentilmente cederam arquivos para a elaboração do trabalho, em especial à WheatherShift.



# ÍNDICE

|                       |    |  |            |
|-----------------------|----|--|------------|
| <i>Parte I</i>        |    |  |            |
| Politecnico di Milano | 1. | <b>INTRODUÇÃO</b><br>Por Júlio Martins e Elio Nassar         | <b>1</b>   |
|                       | 2. | <b>TEMA</b><br>Por Júlio Martins e Elio Nassar               | <b>51</b>  |
|                       | 3. | <b>PROGRAMA</b><br>Por Júlio Martins                         | <b>85</b>  |
|                       | 4. | <b>PROJETO</b><br>Por Eric Lara, Júlio Martins e Elio Nassar | <b>109</b> |
|                       | 5. | <b>ESTRUTURAS</b><br>Por Eric Lara                           | <b>169</b> |
|                       | 6. | <b>SERVIÇOS PREDIAIS</b><br>Por Júlio Martins                | <b>179</b> |
|                       | 7. | <b>ESCOLHA DE MATERIAIS</b><br>Por Júlio Martins             | <b>217</b> |
| <i>Parte II</i>       |    |  |            |
| FAU USP               | 8. | <b>ANÁLISE DE CONFORTO TÉRMICO</b><br>Por Júlio Martins      | <b>229</b> |
|                       | 9. | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b><br>Por Júlio Martins             | <b>265</b> |

# ABSTRACT

*Milan is preparing to host the Milan-Cortina Winter Olympics in 2026. Among the only permanent structures to be built for the event is the Ice Hockey Arena. The building will be constructed in Santa Giulia, a neighborhood that has been a frequent target for urban regeneration projects after an industrial past.*

*This paper is divided into two parts.*

*In the first, it aims to critique the current design of the area and make a counter-proposal, focusing on the sports facility as a focus in the area's regeneration movement and as a social catalyst for the community. The project starts from an extensive understanding of the site, the architectural theme, the program, and the technical and structural feasibility of the building.*

*With the final proposal in hand, the second part of the paper makes a study of the thermal behavior of the building, simulating whether the proposal made would meet thermal comfort requirements or not.*

Keywords: Winter Olympics, Sport Architecture, Milan-Cortina 2026, Thermal Comfort, Urban Regeneration.

# RESUMO

Milão se prepara para receber em 2026 as Olimpíadas de Inverno de Milão-Cortina. Entre as únicas estruturas permanentes a serem construídas para o evento, está a Arena de Hockey de Gelo. O edifício será construído em Santa Giulia, um bairro que tem sido alvo frequente de projetos de regeneração urbana após um passado industrial.

Este trabalho se divide em duas partes.

Na primeira, pretende-se realizar uma crítica ao projeto atual da área e fazer uma contraproposta, focando na instalação esportiva como foco no movimento de regeneração da área e de catalisador social da comunidade. O projeto parte de um extenso entendimento do local, do tema da arquitetura, do programa e da viabilidade técnica e estrutural do edifício.

Com a proposta final em mãos, a segunda parte do trabalho faz um estudo do comportamento térmico do edifício, simulando se a proposta feita atenderia requisitos de conforto térmico ou não.

Palavras-chave: Olimpíadas de Inverno, Arquitetura do esporte, Milão-Cortina 2026, Conforto Térmico, Regeneração Urbana.

LISTA DE FIGURAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Figura 1.</b>  | Evolução urbana de Milão. Fonte: Nassar, 2021                              | 6  |
| <b>Figura 2.</b>  | Muralhas e forma urbana. Elaboração: Nassar, 2021                          | 8  |
| <b>Figura 3.</b>  | Morfologia das quadras de Milão. Elaboração: Nassar, 2021                  | 9  |
| <b>Figura 4.</b>  | Geometria das quadras de Milão. Elaboração: Nassar, 2021                   | 13 |
| <b>Figura 5.</b>  | Parcelamento de quadras em Milão. Elaboração: Nassar, 2021                 | 15 |
| <b>Figura 6.</b>  | Distrito de Sant’Ambrogio 1.   | 19 |
| <b>Figura 7.</b>  | Distrito de San Felice   | 19 |
| <b>Figura 8.</b>  | INCIS Village  | 19 |
| <b>Figura 9.</b>  | Tipologias ao redor de Santa Giuiia. Fonte: autor.                         | 20 |
| <b>Figura 10.</b> | “T invertido” de Milão. Elaboração: Nassar, 2021                           | 27 |
| <b>Figura 11.</b> | Infraestrutura de transporte em Santa Giulia Elaboração: Nassar, 2021      | 28 |
| <b>Figura 12.</b> | População adulta   | 31 |
| <b>Figura 13.</b> | População idosa  | 31 |
| <b>Figura 14.</b> | Equipamentos esportivos próximos de Santa Giulia. Elaboração: Nassar, 2021 | 31 |
| <b>Figura 15.</b> | Proposta de Foster & Partners para Santa Giulia. Fonte: Caputo, 2010       | 32 |
| <b>Figura 16.</b> | Crítica do projeto aprovado para Santa Giulia. Elaboração: Nassar, 2021    | 37 |
| <b>Figura 17.</b> | Anel de infraestrutura verde. Fonte: PGT, 2019.                            | 42 |
| <b>Figura 18.</b> | Infraestrutura verde e azul de Santa Giulia. Fonte: PGT, 2019.             | 42 |
| <b>Figura 19.</b> | Valorização ambiental do vale do Lambro. Fonte: PGT, 2019.                 | 45 |
| <b>Figura 20.</b> | Novo portal metropolitano à Sudeste. Fonte: PGT, 2019.                     | 47 |
| <b>Figura 21.</b> | Parque metropolitano de Milão. Fonte: PGT, 2019                            | 49 |
| <b>Figura 22.</b> | AstroDome em Houston, Texas.   | 53 |
| <b>Figura 23.</b> | Stadium at Olympia   | 56 |
| <b>Figura 24.</b> | Circus Maximus   | 56 |
| <b>Figura 25.</b> | The Colosseum  | 57 |
| <b>Figura 26.</b> | Piazza del Campo, Siena  | 58 |
| <b>Figura 27.</b> | Piazza Santa Croce, Florença   | 58 |
| <b>Figura 28.</b> | Lords Cricket Ground   | 59 |
| <b>Figura 29.</b> | Goodison Park  | 59 |
| <b>Figura 30.</b> | White City Stadium   | 60 |
| <b>Figura 31.</b> | London highbury stadium  | 60 |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Figura 32.</b> | Harvard University's American football                                   | 60 |
| <b>Figura 33.</b> | Estádio do Maracanã  | 61 |
| <b>Figura 34.</b> | Mathews Arena  | 64 |
| <b>Figura 35.</b> | Mathews Arena  | 64 |
| <b>Figura 36.</b> | Madison Square Garden  | 64 |
| <b>Figura 37.</b> | Ingalls Rink   | 65 |
| <b>Figura 38.</b> | Ingalls Rink   | 65 |
| <b>Figura 39.</b> | Ingalls Rink   | 65 |
| <b>Figura 40.</b> | Complexo Olímpico de Munique   | 68 |
| <b>Figura 41.</b> | Allegiant Stadium  | 68 |
| <b>Figura 42.</b> | Allegiant Stadium  | 68 |
| <b>Figura 43.</b> | Estádio de Genova. Fonte: Google Earth.                                  | 72 |
| <b>Figura 44.</b> | Morphology respect   | 74 |
| <b>Figura 45.</b> | Most integrated  | 75 |
| <b>Figura 46.</b> | Partially integrated   | 75 |
| <b>Figura 47.</b> | Least integrated   | 75 |
| <b>Figura 48.</b> | Estádio de Braga, Souto de Moura   | 77 |
| <b>Figura 49.</b> | Comparação entre contextos de arenas. Fonte: Dynamix, 2012.              | 77 |
| <b>Figura 50.</b> | SAP Arena por 3XN Architects.  | 79 |
| <b>Figura 51.</b> | Singapore National Stadium   | 83 |
| <b>Figura 52.</b> | Singapore National Stadium   | 83 |
| <b>Figura 53.</b> | Pala Alpitour  | 83 |
| <b>Figura 54.</b> | SAP Garden Multicomplex Arena by 3XN Architects. Source: 3XN Architects. | 88 |
| <b>Figura 55.</b> | Topography work in SAP Garden. Source: 3XN Architects.                   | 88 |
| <b>Figura 56.</b> | Flows division in SAP Garden. Source: 3XN Architects.                    | 88 |
| <b>Figura 57.</b> | Functions arrangement diagram. Source: 3XN architects.                   | 89 |
| <b>Figura 58.</b> | Palalozaki, Turim. Fonte: Arup, 2007                                     | 90 |
| <b>Figura 59.</b> | Diferentes configurações de arquibancadas e campos. Source: Arup, 2007   | 90 |
| <b>Figura 60.</b> | Eden project por Grimshaw Architects. Fonte: edenproject.com             | 91 |
| <b>Figura 61.</b> | ETFE Cushion do Eden Project. Fonte: Kaltenbach, 2011                    | 91 |
| <b>Figura 62.</b> | Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.         | 92 |
| <b>Figura 63.</b> | Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.         | 92 |
| <b>Figura 64.</b> | Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.         | 92 |
| <b>Figura 65.</b> | Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.         | 93 |

|                    |  |     |
|--------------------|--|-----|
| <b>Figura 66.</b>  | Distribuição dos tipos de instalações para as Milão 2026. Fonte: COI   | 96  |
| <b>Figura 67.</b>  | Distribuição de competição para as Milão-Cortina 2026. Fonte: COI  | 97  |
| <b>Figura 68.</b>  | Área das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005                             | 99  |
| <b>Figura 69.</b>  | Fundo das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005                            | 99  |
| <b>Figura 70.</b>  | Frente das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005                           | 99  |
| <b>Figura 71.</b>  | Interior das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005                         | 99  |
| <b>Figura 72.</b>  | Requisitos básicos do IIHF para um rink de gelo, térreo. Fonte: IIHF Ice rink guide, 2018                                      | 103 |
| <b>Figura 73.</b>  | Requisitos básicos do IIHF para um rink de gelo, primeiro andar. Fonte: IIHF Ice rink guide, 2018                              | 104 |
| <b>Figura 74.</b>  | Requisitos básicos técnicos do IIHF para um rink de gelo. Fonte: IIHF Ice rink guide, 2018                                     | 105 |
| <b>Figura 75.</b>  | Distribuição do programa do edifício. Fonte: autor.  | 106 |
| <b>Figura 76.</b>  | Maquete. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 111 |
| <b>Figura 77.</b>  | Terreno existente: Nassar, 2021.   | 112 |
| <b>Figura 78.</b>  | Lógica do plano diretor proposto. Elaboração: Nassar, 2021.  | 114 |
| <b>Figura 79.</b>  | Plano diretor da proposta. Elaboração: Nassar, 2021.   | 116 |
| <b>Figura 80.</b>  | Maquete. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 119 |
| <b>Figura 81.</b>  | Diagrama de conceito – Paisagem. Fonte: autor.   | 120 |
| <b>Figura 82.</b>  | Diagrama de conceito – edifício. Fonte: autor.   | 121 |
| <b>Figura 83.</b>  | Maquete. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 123 |
| <b>Figura 84.</b>  | Corte transversal. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 124 |
| <b>Figura 85.</b>  | Corte longitudinal. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.   | 126 |
| <b>Figura 86.</b>  | Perspectiva sul. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 128 |
| <b>Figura 87.</b>  | Perspectiva norte. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 130 |
| <b>Figura 88.</b>  | Perspectiva interior. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.   | 132 |
| <b>Figura 89.</b>  | Perspectiva para o rink. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 134 |
| <b>Figura 90.</b>  | Axonometria. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 136 |
| <b>Figura 91.</b>  | Vista aérea. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 139 |
| <b>Figura 92.</b>  | Andares explodidos. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.   | 141 |
| <b>Figura 93.</b>  | Térreo. Elaboração: Nassar, 2021.  | 142 |
| <b>Figura 94.</b>  | Primeiro andar. Elaboração: Nassar, 2021.  | 145 |
| <b>Figura 95.</b>  | Térreo. Elaboração: Nassar, 2021.  | 146 |
| <b>Figura 96.</b>  | 1º andar. Elaboração: Nassar, 2021.  | 149 |
| <b>Figura 97.</b>  | 2º andar. Elaboração: Nassar, 2021.  | 150 |
| <b>Figura 98.</b>  | Subsolo. Elaboração: Nassar, 2021.   | 152 |
| <b>Figura 99.</b>  | Corte longitudinal. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.   | 155 |
| <b>Figura 100.</b> | Corte longitudinal. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.   | 157 |
| <b>Figura 101.</b> | Corte longitudinal. Elaboração: Lara, Martins, 2021.   | 160 |
| <b>Figura 102.</b> | Detalhe. Elaboração: Lara, Martins, 2021.  | 162 |
| <b>Figura 103.</b> | Detalhe. Elaboração: Lara, Martins, 2021.  | 164 |
| <b>Figura 104.</b> | Detalhe. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.  | 166 |
| <b>Figura 105.</b> | Explosão da estrutura da cobertura de ETFE. Fonte: E. Lara, 2021   | 171 |
| <b>Figura 106.</b> | Arranjo das estruturas horizontais, diagonais e verticais da área da arena. Fonte: E. Lara, 2021                               | 172 |
| <b>Figura 107.</b> | Detalhe do arranjo da estrutura do telhado no anel exterior do edifício. Fonte: E. Lara, 2021                                  | 173 |
| <b>Figura 108.</b> | Arranjo geral da estrutura das coberturas. Fonte: E. Lara, 2021  | 173 |
| <b>Figura 109.</b> | Estruturas primária, secundária e terciária conduzindo as cargas para coluna no anel exterior. Fonte: E. Lara, 2021            | 174 |
| <b>Figura 110.</b> | Vigas primárias, secundárias e terciárias transmitindo cargas à coluna da galeria. Fonte: E. Lara, 2021                        | 175 |
| <b>Figura 111.</b> | Estruturas primária e secundária das lajes transmitindo cargas às colunas de 800mm no perímetro da Arena. Fonte: E. Lara, 2021 | 176 |
| <b>Figura 112.</b> | Descarregamento de vigas primárias e da cobertura de ETFE sobre o anel de compressão. Fonte: E. Lara, 2021.                    | 177 |
| <b>Figura 113.</b> | Descrição das áreas da arena. Fonte: Autor   | 184 |
| <b>Figura 114.</b> | Abordagem simplificada do cálculo de cargas. Fonte: Autor.   | 185 |
| <b>Figura 115.</b> | Esquema dos diferentes fluxos de ar que entram e saem da AHU. Fonte: Autor.  | 199 |
| <b>Figura 116.</b> | Planta das instalações de AVAC, ocupando todo o segundo subsolo. Source: autor.  | 202 |
| <b>Figura 117.</b> | Espaços técnicos e de serviços, no subsolo. Fonte: Autor.  | 203 |
| <b>Figura 118.</b> | Entradas e circulação vertical. Fonte: autor.  | 204 |
| <b>Figura 119.</b> | Núcleos de serviços prediais. Fonte: autor.  | 205 |
| <b>Figura 120.</b> | Distribuição do AVAC no térreo. Fonte: Autor.  | 206 |
| <b>Figura 121.</b> | Layout do sistema de combate a incêndios no térreo. Fonte: autores.  | 207 |
| <b>Figura 122.</b> | Seção e layout esquemático do sistema de refrigeração do rink. Fonte: Autor e IIHF.  | 209 |
| <b>Figura 123.</b> | Corte esquemático dos coletores de água da chuva e distribuição do sistema AVAC. Fonte: Autor.                                 | 210 |
| <b>Figura 124.</b> | Detalhe da ventilação dos assentos. Fonte: autor.  | 212 |
| <b>Figura 125.</b> | Detalhe dos dutos de ventilação na cobertura do anel externo. Fonte: Autor.  | 213 |
| <b>Figura 126.</b> | Detalhe dos dutos de ventilação nas lajes. Fonte: Autor.   | 214 |
| <b>Figura 127.</b> | Componentes do edifício. Fonte: autor  | 219 |
| <b>Figura 128.</b> | Paleta de materiais da fachada. Fonte: autor   | 221 |
| <b>Figura 129.</b> | OneClick LCA resultado final usando como referência as construções gerais na Itália. Fonte: OneClick:                          |     |

|                    |   |     |
|--------------------|---|-----|
|                    | OneClick LCA...   | 222 |
| <b>Figura 130.</b> | Aquecimento global Etapas do ciclo de vida do CO equivalente 2(operação excluída). Fonte: Autores.                          | 223 |
| <b>Figura 131.</b> | Aquecimento global por CO2 equivalente , por sistemas de construção (excluindo operação). Fonte: Autor.                     | 224 |
| <b>Figura 132.</b> | Aquecimento global por CO2 equivalente, por materiais (excluindo operação). Fonte: Autor.                                   | 225 |
| <b>Figura 133.</b> | Gráfico de bolhas sobre o aquecimento global por equivalente de CO2 poar materiais (excluindo a operação).<br>Fonte: Autor. | 226 |
| <b>Figura 134.</b> | Radiação Solar Anual. Fonte: Autor  | 230 |
| <b>Figura 135.</b> | Trajectoria Solar. Fonte: Autor   | 230 |
| <b>Figura 136.</b> | Rosa dos ventos. Fonte: Autor   | 230 |
| <b>Figura 137.</b> | Radiação solar anual na fachada norte. Fonte: Autor.  | 231 |
| <b>Figura 138.</b> | Radiação solar anual na fachada leste. Fonte: Autor.  | 231 |
| <b>Figura 139.</b> | Radiação solar anual na fachada sul. Fonte: Autor.  | 231 |
| <b>Figura 140.</b> | Radiação solar anual na fachada oeste. Fonte: Autor.  | 231 |
| <b>Figura 141.</b> | Faixas de temperatura operacionais aceitáveis para espaços naturalmente condicionados.. Fonte: ASHRAE<br>55 (2004).         | 235 |
| <b>Figura 142.</b> | Curva PPD x PMV. Fonte: ASHRAE 55 (2020).   | 236 |
| <b>Figura 143.</b> | Simplificação. Fonte: Autor   | 238 |
| <b>Figura 144.</b> | Simplificação da geometria - Corte. Fonte: Autor  | 239 |
| <b>Figura 145.</b> | Cronograma de ocupação do edificio (1 = 100%). Fonte: Autor   | 241 |
| <b>Figura 146.</b> | Documentação do HoneyBee para condição de cargas ideais. Fonte: Honeybee, 2021  | 241 |
| <b>Figura 147.</b> | Parâmetros de ventilação natural. Fonte: Autor.   | 243 |
| <b>Figura 148.</b> | Condição de conforto - Anel exterior. Fonte: Autor  | 244 |
| <b>Figura 149.</b> | Condição de conforto - Arena. Fonte: Autor  | 244 |
| <b>Figura 150.</b> | Condição de conforto total anual - Anel. Fonte: Autor   | 244 |
| <b>Figura 151.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 244 |
| <b>Figura 152.</b> | Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor   | 245 |
| <b>Figura 153.</b> | Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor  | 245 |
| <b>Figura 154.</b> | Concentração das temperaturas médias horárias no gráfico adaptativo, para o verão. Fonte: Autor                             | 245 |
| <b>Figura 155.</b> | Condição de conforto PMV- Anel exterior. Fonte: Autor   | 246 |
| <b>Figura 156.</b> | Condição de conforto PMV- Arena. Fonte: Autor   | 246 |
| <b>Figura 157.</b> | Condição de conforto total anual - Anel. Fonte: Autor   | 246 |
| <b>Figura 158.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 246 |

|                    |   |     |
|--------------------|---|-----|
| <b>Figura 159.</b> | Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor   | 247 |
| <b>Figura 160.</b> | Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor  | 247 |
| <b>Figura 161.</b> | Condição de conforto - Anel exterior. Fonte: Autor  | 248 |
| <b>Figura 162.</b> | Condição de conforto - Arena. Fonte: Autor  | 248 |
| <b>Figura 163.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 248 |
| <b>Figura 164.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 248 |
| <b>Figura 165.</b> | Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor   | 249 |
| <b>Figura 166.</b> | Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor  | 249 |
| <b>Figura 167.</b> | Concentração das temperaturas médias horárias no gráfico adaptativo, para o verão. Fonte: Autor   | 249 |
| <b>Figura 168.</b> | Condição de conforto PMV- Anel exterior. Fonte: Autor   | 250 |
| <b>Figura 169.</b> | Condição de conforto PMV- Arena. Fonte: Autor   | 250 |
| <b>Figura 170.</b> | Condição de conforto total anual - Anel. Fonte: Autor   | 250 |
| <b>Figura 171.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 250 |
| <b>Figura 172.</b> | Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor   | 251 |
| <b>Figura 173.</b> | Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor  | 251 |
| <b>Figura 174.</b> | Novo cronograma de ocupação - Anel exterior. Fonte: Autor   | 252 |
| <b>Figura 175.</b> | Novo cronograma de ocupação - Arena. Fonte: Autor   | 252 |
| <b>Figura 176.</b> | Condição de conforto PMV - Anel exterior. Fonte: Autor  | 253 |
| <b>Figura 177.</b> | Condição de conforto PMV - Arena. Fonte: Autor  | 253 |
| <b>Figura 178.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 253 |
| <b>Figura 179.</b> | Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 253 |
| <b>Figura 180.</b> | Variação da temperatura operativa máxima diária, para cada hipótese, no anel exterior. Fonte: Autor   | 254 |
| <b>Figura 181.</b> | Variação da temperatura operativa máxima diária, para cada hipótese, na arena. Fonte: Autor   | 254 |
| <b>Figura 182.</b> | Variação das temperaturas operativas médias para cada hipótese. Fonte: Autor  | 255 |
| <b>Figura 183.</b> | Conforto total anual - Anel externo. Fonte: Autor   | 255 |
| <b>Figura 184.</b> | Conforto total anual - Arena. Fonte: Autor  | 255 |
| <b>Figura 185.</b> | Estratégias de conforto térmico para dados da década de 2010 no verão, a partir do software Climate<br>Consultant com padrões da ASHRAE 2005. Fonte: Autor.   | 259 |
| <b>Figura 186.</b> | Diferentes RCPs projetadas pelo IPCC. Fonte: Wikipedia, 2021  | 261 |
| <b>Figura 187.</b> | Projeção de aumento da temperatura média para Milão em 2045, segundo o RCP 8.5. Fonte: IPCC WGI<br>Interactive Atlas: Regional synthesis, 2021.   | 261 |
| <b>Figura 188.</b> | Estratégias de conforto térmico para dados de 2045, no verão, a partir do software Comfort Consultant com<br>padrões da ASHRAE 2005. Fonte: Autor, com dados disponibilizados pelo WeatherShift (2021). | 262 |

PARTE I

**INTRODUÇÃO**

# INTRODUÇÃO

Milão é a cidade mais populosa da Itália e o principal centro industrial, financeiro e comercial do país. A cidade é também uma das principais capitais da moda e design do mundo sendo conhecida por vários eventos e feiras internacionais, como a Milan Fashion Week e a Milan Design Week. Em 2015 Milão sediou a Expo 2015, que ajudou a estimular ainda mais a economia da cidade com uma série de empreendimentos, ainda em construção em toda a cidade. Santa Giulia, atualmente em desenvolvimento e a apenas 15 minutos a sudeste do centro de Milão, é um bairro que está sendo construído em uma área de regeneração urbana sendo considerado o bairro mais inovador da Milão do futuro.

Santa Giulia era uma conhecida zona industrial desde o final do século XIX, e está situada entre 2 bairros: Rogoredo e Taliedo. Nas últimas décadas, as duas principais indústrias da região, a fábrica Montedison e as siderúrgicas Redaelli, fecharam e se deslocaram da região (CAPUTO, 2010). Esse fechamento deixou uma grande lacuna na malha urbana de Santa Giulia. Diferentes reformas e planos de regeneração urbana foram realizados para a área, mas foi somente quando a incorporadora Risanamento Spa comprou o terreno que esses planos começaram a se tornar realidade. A Risanamento contratou um escritório internacional de arquitetura; Fosters & Partners, para o conceito geral e plano diretor, e o escritório de arquitetura Design International para projetar o centro comercial e comunitário do novo distrito da cidade.

Este trabalho se propõe a fazer uma crítica e uma contra proposta

ao plano vigente. Por isso, diversos aspectos precisaram ser repensados e aprimorados, especialmente a conexão entre as diferentes zonas do projeto e seu efeito na comunidade. Além disso, o ponto principal deste projeto é a Arena de Gelo de Santa Giulia, projetada para os Jogos Olímpicos de inverno de Milão em 2026. O projeto foi criado através de um extenso estudo das dimensões histórica, urbana, programática, projetual, tecnológica e estrutural do edifício. O trabalho será apresentado nessa ordem. Por isso, antes de começar com a abordagem do projeto do edifício, vamos explorar a história urbana de Milão, para entender melhor o papel que o edifício desempenha no contexto urbano





## HISTÓRIA URBANA



# HISTÓRIA URBANA

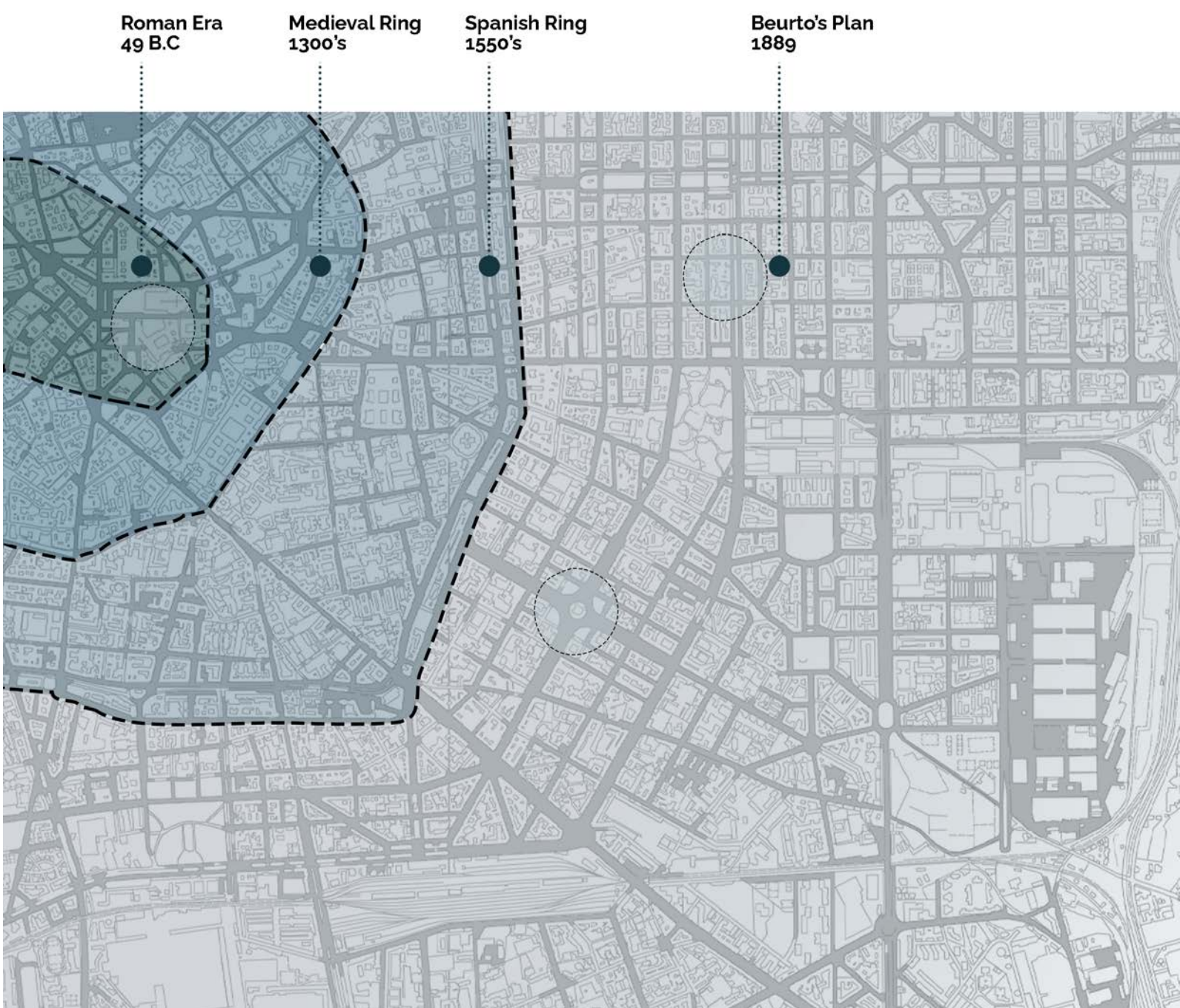
## DE MEDIOLANUM A MILÃO — EVOLUÇÃO URBANA DE MILÃO

Devido à sua localização estratégica e por estar situada no norte da Itália em estreita relação com várias partes da Europa, Milão e a região da Lombardia em geral foram alvo de várias batalhas ao longo dos séculos. Diferentes povos habitaram a cidade em diferentes épocas, começando pelos celtas, que fundaram Milão, passando pelos romanos, godos e lombardos, e, nos últimos séculos, pelos espanhóis e austríacos.

Olhando para a planta de cheios e vazios de Milão, podemos identificar o sistema de anéis e muralhas circulares de defesa construídos ao longo de diferentes épocas e séculos. Embora praticamente poucas dessas muralhas ainda existam, sua estrutura é espelhada na forma urbana da cidade. As mais antigas são as muralhas romanas, que se desenvolveram em 2 etapas, a primeira na época republicana (49 AC) e a segunda na época imperial (305 AC).

Avançando na história para o século XII, podemos perceber o limite das muralhas de Milão durante a era medieval construídas como uma defesa contra invasões, cujos portais “Porta Ticinese”, “Porta Nuova” e “Porta Romana” são remanescentes. Estas muralhas formaram o que é conhecido hoje como “Cerchia dei Navigli”.

Figura 1. Evolução urbana de Milão. Fonte: E. Nassar, 2021



A terceira muralha de defesa na história de Milão data do século XV, conhecida como "Mura Spagnole" (Muro Espanhol), construída durante o domínio espanhol da cidade. Essa fortificação tinha de cerca de 11 km, muito mais longa que as fortificações medievais. O perímetro das muralhas espanholas corresponde essencialmente ao que hoje é conhecido como "Cerchia dei Bastioni" ("Anel de Bastião").

Para entender a evolução de Milão, foi necessário apresentar e discutir a história da cidade e o efeito que estes anéis tiveram ao longo dos anos. Apesar da mudança da morfologia urbana, ainda podemos ver as ruínas dos monumentos mais importantes da cidade e vários portais que tiveram influência e significado até hoje. Entretanto, o crescimento urbano da cidade, que continuou a se espalhar, levou à demolição destas paredes, deixando apenas uma parte delas preservada até hoje como parte do patrimônio da cidade. Posteriormente, a cidade se expandiu indefinidamente, partindo do centro e ramificando-se graças ao plano de Beruto, formando uma cidade sem limites definidos.

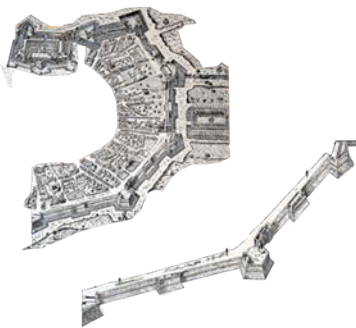
Em um contexto de grandes transformações que ocorriam na cidade, especialmente pelo projeto que redefiniria os arredores do Castelo Sforzesco, Beruto foi o encarregado de preparar a primeira ferramenta de planejamento urbano da cidade, com o intuito de superar as barreiras causadas pelos remanescentes das muralhas e a integrar áreas mais afastadas além delas, que progressivamente se tornavam áreas industriais.

Figura 2. Muralhas e forma urbana.  
Elaboração: Nassar, 2021

MURALHAS MEDIEVAIS



MURALHA ESPANHOLA



PLANO DE BERUTO



REDE ORGÂNICA



GRADE LINEAR



GRADE RADIAL/LINEAR



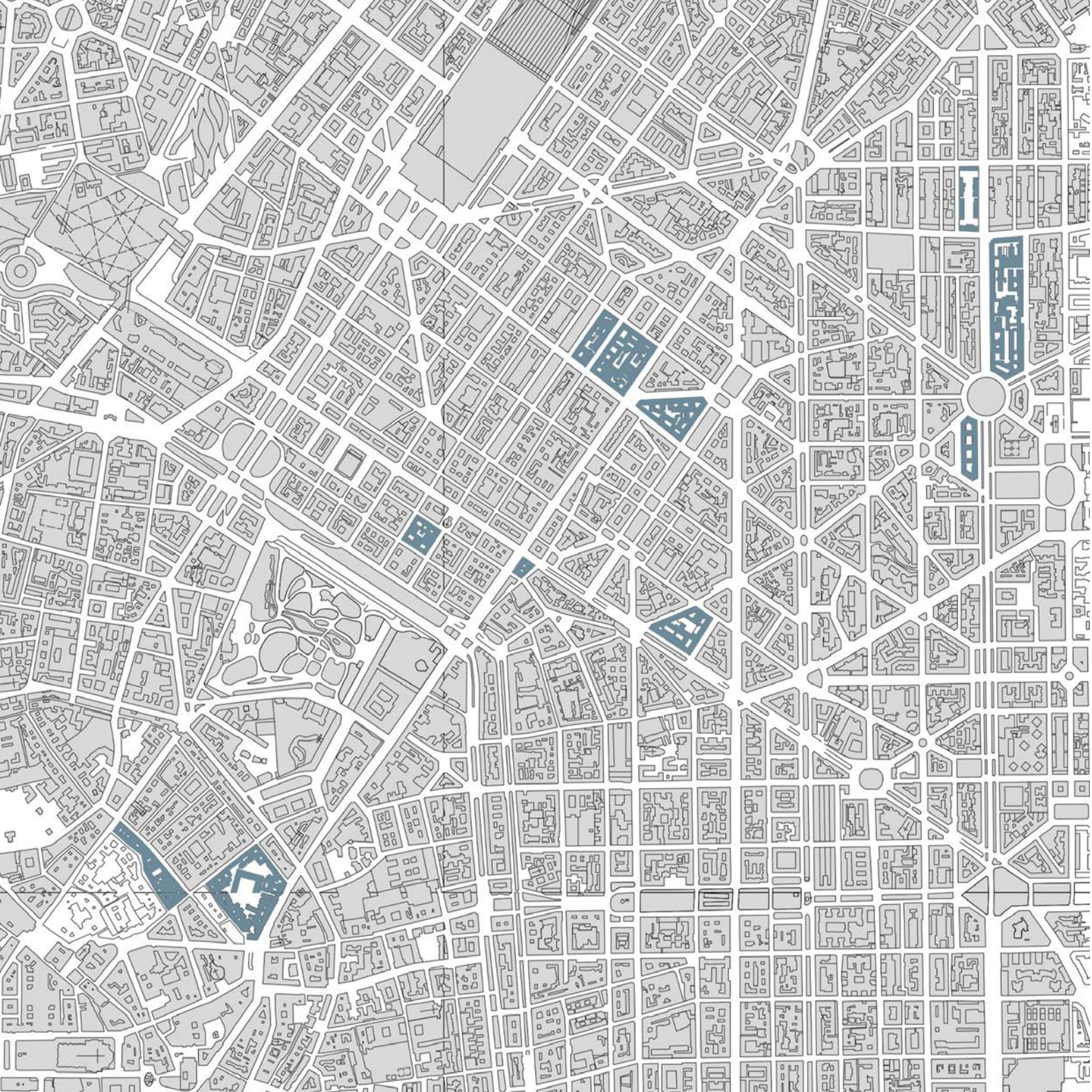
Em 1889 foi aprovado o plano de Beruto, um plano que ainda hoje é um dos eventos da história urbana de Milão que mais marcou seu destino. O plano concluiu a destruição das muralhas espanholas, e, com ele, foi criado outro anel que delimita a expansão máxima da cidade. Os principais eixos que convergem para o centro histórico foram ampliados e estendidos pelo território, e a faixa de expansão obtida foi marcada por uma grade regular de ruas e praças.

Grandes blocos urbanos foram projetados, garantindo a possibilidade de alinhar as fachadas frontais ("Cortina Edilizia") dos edifícios com as ruas e criar pátios internos, marcando uma morfologia de edifício tipicamente milanesa. À medida que a cidade se expandia e novos planos urbanos eram propostos, diferentes morfologias e projetos de bairros eram observados, marcando a evolução de Milão e uma nova era de planejamento urbano para a cidade.

Portanto, à medida que a cidade se expandia, diferentes morfologias passam a ser identificadas no território. Durante as épocas romana, medieval e espanhola, as ruas da cidade eram muitas vezes orgânicas, sem uma estratégia definida. Com a introdução do plano de Beruto, as ruas tomaram forma de maneira a permitir conexões contínuas entre os distritos através de um padrão de grade linear, acrescidos de uma rotatória para divisão e propagação de diferentes ramificações. Essa lógica permite um padrão de propagação "infinita" para a cidade de Milão, utilizando-se de ruas continuamente conectadas.

Figura 3. Morfologia das quadras de Milão.  
Elaboração: Nassar, 2021





## MORFOLOGIA



# MORFOLOGIA

## INTRODUÇÃO

Para entender melhor a morfologia de Milão, como a cidade foi formada arquitetonicamente e como evoluiu, estudou-se cuidadosamente a progressão e o avanço da relação entre espaços construídos e não construídos. A investigação incluiu enfatizar lotes específicos, identificar diferentes tipologias de construção e examinar as relações entre cheios e vazios dos edifícios, ruas e pátios interiores. Essa classificação e categorização é um elemento importante para compreender a cidade, pois ajuda a delinear contextos mais amplos e fundamentais para o processo do projeto.

## ANÁLISE DOS BLOCOS | CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA FORMA

TRIANGULAR



RETANGULAR



TRAPEZOIDAL



A forma dos blocos do antigo centro de Milão é a consequência de muitas e distintas camadas sobrepostas, resultando em várias categorias de distritos. Nas áreas recentes da cidade, os blocos e formas são resultados do processo de planejamento urbano. Em particular, podemos observar formas triangulares e trapezoidais dos blocos, e isso se deve ao tecido urbano composto por ruas radiais e praças redondas, desenhadas pelo urbanista Cesare Beruto, no século XIX.

O objetivo desta categorização é enfatizar como, tanto as mudanças urbanas quanto as atividades de planejamento, influenciam a forma dos blocos urbanos milaneses.

Figura 4. Geometria das quadras de Milão.  
Elaboração: Nassar, 2021

ANÁLISE DOS BLOCOS | CLASSIFICAÇÃO POR PARCELA

Ampliamos a pesquisa para mostrar como o parcelamento do solo produziu os blocos urbanos milaneses. Esse parcelamento pode ser categorizado em diferentes padrões.

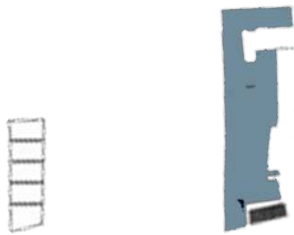
O primeiro deles, faz o parcelamento em uma direção única do bloco, ou seja, as propriedades são colocadas uma após a outra e os edifícios são construídos, gerando um bloco “monolítico”. É um tipo menos comum na cidade.

O segundo padrão de parcelamento, divide o bloco em duas direções, gerando um pátio central aberto, e resultando em blocos maiores. Esse é o bloco tipicamente milanês, e o padrão mais encontrado na cidade após o plano de Beruto.

O terceiro padrão é o parcelamento múltiplo do bloco, com um pátio de eixo central comum. A ideia de agregação de parcelas permanece a mesma, mas ocorre o desenvolvimento de blocos maiores com espaços abertos dentro deles que são utilizados como espaços semipúblicos ou mesmo como áreas verdes.

Os dois últimos padrões são os mais típicos da cidade de Milão, podendo ser encontrados tanto em bairros ex-industriais como no centro histórico da cidade. A tipologia de edifícios decorrente é marcada pelo caráter público proporcionado pelos centros comerciais e lojas no térreo. No entanto, proporciona também uma vida privada para os moradores através do pátio interno do edifício, que se caracteriza por diferentes elementos arquitetônicos, e é o lugar que permite a penetração e difusão da luz e atua como um elemento de circulação onde podemos encontrar as escadas de circulação vertical. É também um espaço de encontro e gera maior senso de comunidade para quem vive no bloco.

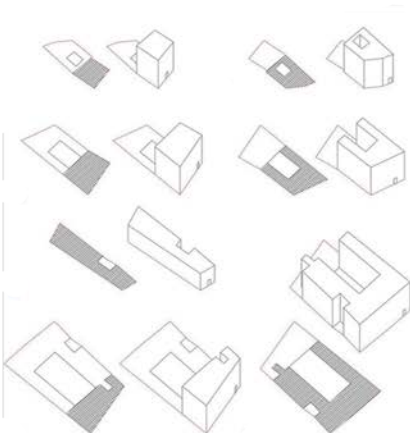
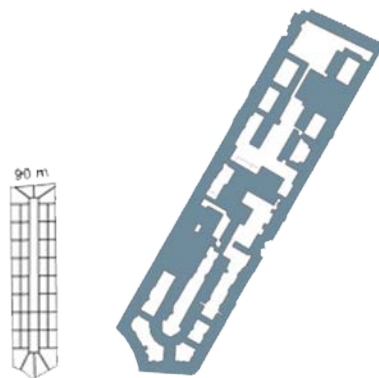
UMA DIREÇÃO



DUAS DIREÇÕES



MÚLTIPLAS DIREÇÕES



Pátios: acolhem a vida privada e as atividades coletivas ou profissionais.

A introdução de edifícios trapezoidais seguindo os planos de expansão do Beruto.

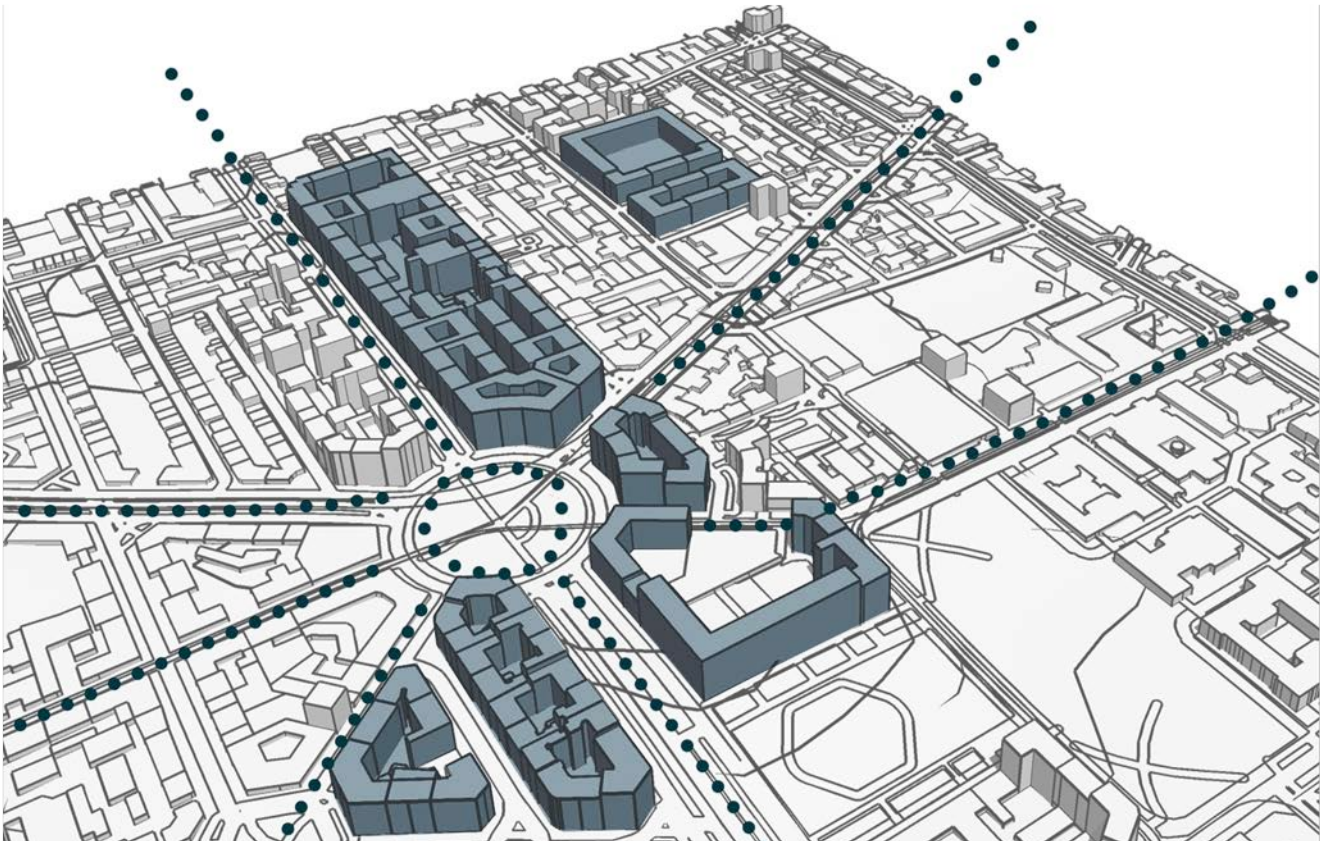
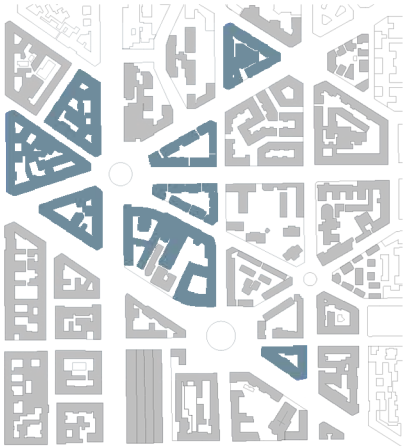


Figura 5. Parcelamento de quadras em Milão. Elaboração: Nassar, 2021





## EVOLUÇÃO



# EVOLUÇÃO

## UM CAMINHO PARA UMA NOVA MILÃO

Ao examinarmos alguns dos projetos de Milão na periferia, podemos ver como a tipologia e a morfologia evoluíram. A partir dos anos 60 e 70, a cidade se estende variando do conceito inicial de edifícios anexos e blocos com pátio interno, indo em direção a espaços mais abertos, verdes, e com espaçamento claro entre um edifício e outro.

Para citar alguns exemplos de como a cidade evoluiu, podemos analisar o bairro Sant'Ambrogio I, construído pela implementação do PEEP ("Piano per l'Edilizia Economica e Popolare") de 1963 em uma área sem contexto urbano ao sul de Milão, caracterizada pela presença da extensa área rural adjacente do Parque Agrícola sul. O extenso lote é delimitado por quatro longos edifícios residenciais com um percurso sinuoso, que circunscrevem dentro deles um vasto espaço verde, estritamente pedonal, destinado a serviços e vida coletiva. Esse complexo foi concebido como um bairro introvertido, protegido e autossuficiente, mas pronto para o diálogo com a cidade, então em expansão.

Outro exemplo é o distrito de San Felice, entre os municípios de Segrate, Peschiera Borromeo e Pioltello, localizado na área do anel viário de Milão. Representou, no final dos anos 60, um arquétipo de bairro moderno suburbano, longe do trânsito e do caos da cidade. Seu plano diretor, orgânico em suas formas planimétricas, apresenta desenvolvimento circular direcionado para o lago Malaspina, que abriga os serviços comerciais, a igreja e os espaços coletivos. As ruas, com seus caminhos ondulados



Figura 6. Distrito de Sant'Ambrogio 1.



Figura 7. Distrito de San Felice



Figura 8. INCIS Village

e muitas vezes sem saída, abrigam residências dispostas uma cortina contínua. As fachadas são diferenciadas através do uso diversificado da linguagem arquitetônica: as da rua, projetadas para acomodar carros, são caracterizadas pelas entradas das garagens, enquanto as internas, com varandas com vista para áreas verdes, favorecem uma maior privacidade.

No entanto, no distrito de San Felice pode ser reconhecida uma boa síntese formal entre os princípios modernistas e o estilo milanês; além disso, tornou-se um modelo de referência, por exemplo, para a vizinha Milano 2 (1968 – 1979), onde a ausência de uma sólida cultura de design levará, contudo, a um resultado arquitetônico muito menos interessante.

O conceito de "centralidade periférica" também é utilizado no Centro de Serviços da Vila INCIS (1972 – 1981) em Pieve Emanuele projetado por Guido Canella, Michele Achilli e Daniele Brigidini. A praça central, provida de creche e escola primária, edifício multiúso e centro paroquial, traduz a função geral do centro como "condensador social". A integração de funções residenciais, terciárias e comerciais produz uma espécie de "cidade dentro da cidade" com valores altamente expressivos e um considerável potencial urbano.

Estes exemplos dos anos 60 e 70 mostram como a arquitetura de Milão foi capaz de se redescobrir e passar de seu tradicional bloco de parcelas, sempre paralelo às grades da rua e com pátios fechados, que derivavam do plano urbanístico de Beruto, para uma forma de vida menos densa e com mais espaços verdes, que se tornou característica dos subúrbios. O apelo por mais espaços livres e verdes teve um enorme impacto sobre a cidade de Milão e a arquitetura milanese. A cidade busca hoje se tornar mais verde e esses experimentos permitiram reflexões do espaço urbano contemporâneo que resultaram em projetos como, por exemplo, Porta Nuova, CityLife e o novo campus da Universidade Bocconi.

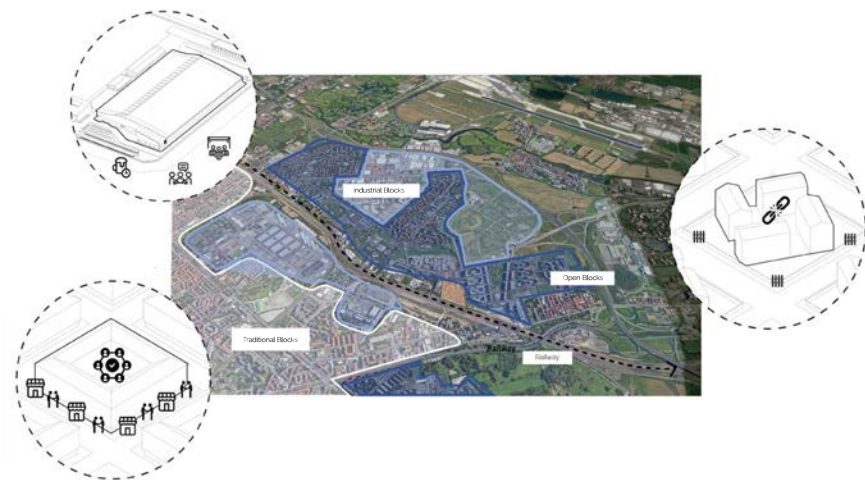


Figura 9. Tipologias ao redor de Santa Giulia. Fonte: autor.

## CONCLUSÃO

A análise foi feita visando compreender melhor a origem da arquitetura milanese, como ela evoluiu e onde ela está agora. Ela mostra as diferentes partes da cidade e a evolução dos processos morfológicos e tipológicos. Este estudo serviu de base para o plano diretor do projeto da Arena, seguindo os processos identificados na evolução e crescimento recentes de Milão, para estar em melhor sincronização e coerência com o entorno e para realizar um projeto que se adapte e respeite a arquitetura urbana tradicional de Milão.

Os princípios pelos quais o ambiente urbano foi formado, e aos quais cada novo projeto deve estar conectado, podem ser descobertos reconstruindo o processo tipológico. Estas regras regem a arquitetura de um edifício, incluindo seu tipo, planta, estrutura, fachada, componentes e materiais, bem como sua localização no tecido urbano — a relação entre o edifício e o terreno, o edifício e a rua, e o edifício e sua localização no bloco da rua. Uma boa arquitetura deve estar ciente dos processos formadores do tecido em que se encontra e do processo contemporâneo pelo qual está passando





**CONTEXTO  
EXISTENTE DE  
SANTA GIULIA**

# CONTEXTO EXISTENTE DE SANTA GIULIA

## RELAÇÃO DO PASSADO E ATUAL COM A CIDADE

A área de Santa Giulia está localizada no sudeste de Milão. O Plano de Intervenção Integrado (COMUNE DI MILANO, 2020) que lhe diz respeito pretende a requalificação de uma antiga área industrial de 120 hectares para torná-la a “Nova Porta sul” de Milão. Desta forma, ela se tornaria parte do sistema de grandes polos de serviços e funções públicas que permitiriam um descongestionamento do centro da cidade.

Originalmente parte do distrito de Rogoredo, Milano Santa Giulia era um vilarejo de agricultura, mas que, nas primeiras décadas do século XIX, testemunhou o surgimento de siderúrgicas industriais milanesas, como Redaelli e Montecatini. Desde os anos 20, a vida do bairro girava em torno das plantas industriais que afetavam em grande parte o aspecto espacial, residencial e social do bairro. As residências eram estritamente habitadas pelos trabalhadores das fábricas próximas. Com a dificuldade de acesso à área, Santa Giulia permaneceu, em parte, um bairro isolado, longe da cidade e de seus interesses. A maior problemática da história de Milano Santa Giulia começa com o fechamento da fábrica da Montedison, na atual parte norte, e da Acciaierie Redaelli, na área sudoeste, adjacente à ferrovia. Assim, foi criado um verdadeiro vazio no tecido urbano, alvo de inúmeros planos de requalificação urbana do território, que consideraram intervenções separadas para as duas áreas.

O modelo T invertido (Figura 10) é um novo modelo de reorganização espacial para a estrutura urbana de Milão, proposto pelo documento estrutural “Ricostruire la Grande Milano”

(COMUNE DI MILANO, 2001), e toma forma a partir do conjunto das transformações urbanas mais importantes das iniciativas privadas.

O modelo, que não tem absolutamente nenhum valor prescritivo, em teoria, propõe melhorar a conexão das áreas urbanas mais importantes ao nível econômico/comercial/direcional, dirigindo uma grande parte dos interesses e recursos (públicos/privados) ao longo de duas dorsais de desenvolvimento. O eixo mais desenvolvido, a Centro-Nordeste, envolve realidades atuais, conectando o novo centro de negócios e a Cidade da Moda de Garibaldi/Repubblica à Monza.

O eixo mais recente, o Noroeste-Sudeste, conectando Malpensa à Linate, pretende ser um novo eixo de desenvolvimento econômico internacional, capaz de conectar rapidamente os dois aeroportos milaneses.





## CONTEXTO INFRAESTRUTURAL

Milano Santa Giulia está bem conectada à infraestrutura urbana local de Milão, e também tem acesso a uma rede de tráfego nacional e internacional maior. O aeroporto de Linate, o principal aeroporto de Milão para voos de curta distância, está a 10 minutos de carro, o que é considerado relativamente perto e é ideal para Santa Giulia, tornando viável projetar um plano diretor comercial, residencial e esportivo. Outro ponto forte de conexão para a área é a Autoestrada 51 (A51), uma das principais artérias da Itália, ligando o norte da Itália ao sul, permitindo uma viagem de Santa Giulia a Bolonha em 45 minutos.

A área de intervenção, que inclui tanto o antigo Redaelli quanto o antigo grupo industrial Montedison, cobre cerca de 120 hectares e está situada na região sudeste de Milão. O distrito se estende à região de Viale Ungheria ao norte, e ao antigo distrito de Rogoredo ao sul, fazendo fronteira com a ferrovia a oeste e com a rodovia circular a leste (Figura 11).

Por via ferroviária, o novo distrito é servido pela estação Rogoredo F.S. conectado em escala nacional. Em conjunto com a estação Rogoredo, há uma estação de metrô da Linha 3, outra conexão muito importante ao nível urbano, bem como um elemento de reordenamento da área. Como podemos ver na Figura 11, apenas a área sudoeste de Santa Giulia é servida pelos dois eixos de infra-estrutura, enquanto a área norte, a de Montecity, depende apenas da mobilidade local dos bondes.

O distrito de Santa Giulia está localizado em uma área com alto desenvolvimento infra-estrutural; entretanto, a acessibilidade não é garantida em níveis ótimos para todo o bairro. A parte sul do distrito está altamente conectada com ferrovias, linhas de metrô e rodovias urbanas e locais, como a Via Emilia e a A51, a parte

Figura 10. "T invertido" de Milão.

Elaboração: Nassar, 2021



leste está conectada com a Rodovia do Anel Leste adjacente através de 3 conexões, já a norte permanece bastante pobre em acessibilidade, pois só pode ser alcançada por transportes locais, como bondes e ônibus. Essa condição urbana terá um impacto direto na distribuição das áreas de zoneamento deste projeto. Para assegurar acessibilidade, será necessária uma extensão das linhas de bondes e ônibus através do bairro, proporcionando uma conectividade melhor e mais rápida entre a parte norte e sul de Santa Giulia.

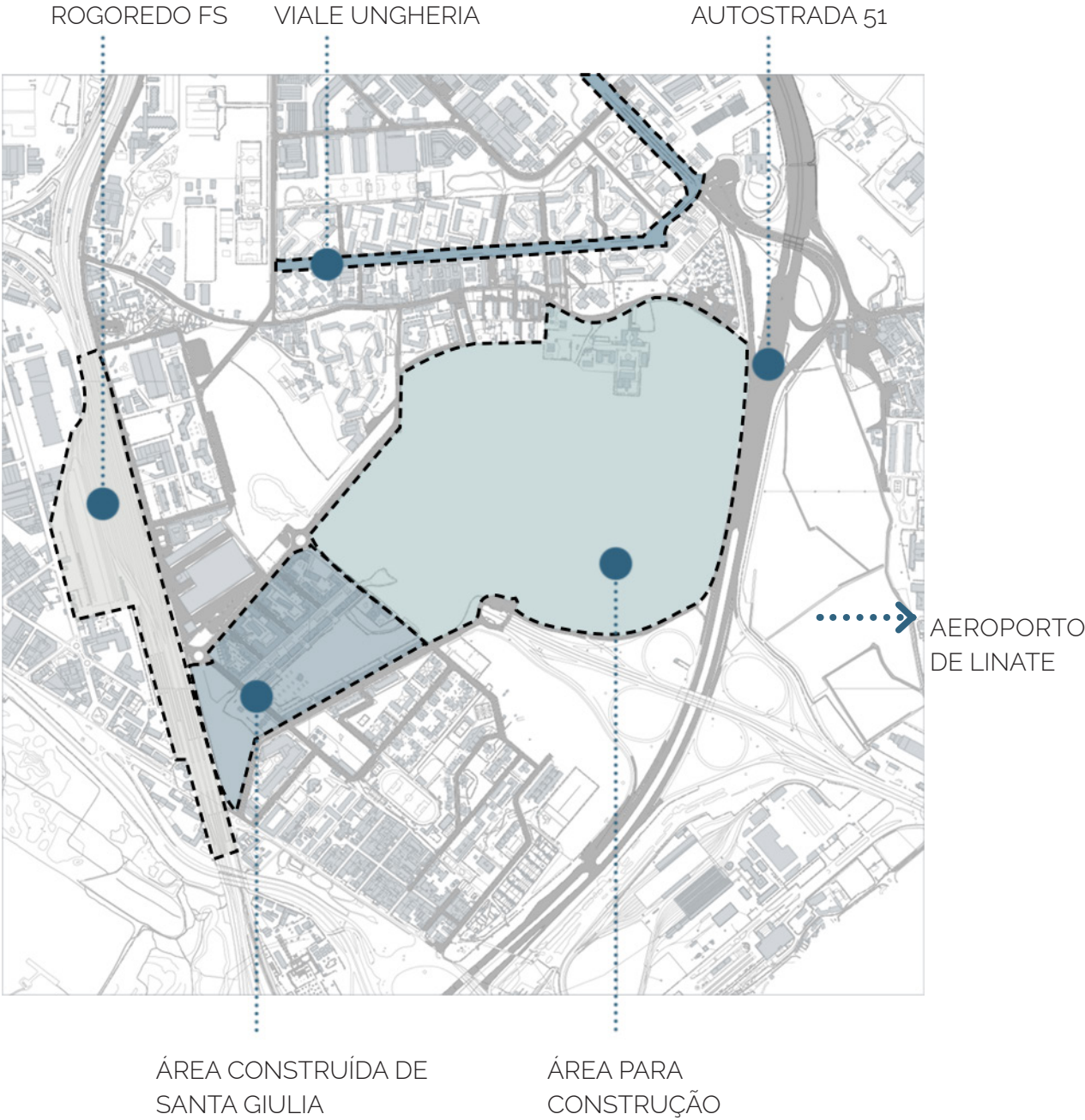


Figura 11. Infraestrutura de transporte em Santa Giulia  
Elaboração: Nassar, 2021



Outro fator importante é a distribuição da faixa etária da população na área. A localização do terreno indica que temos um bom mix de faixas etárias nas regiões mais próximas, pois, como vemos na Figura 12 e na Figura 13 a distribuição da população adulta e idosa é igualmente visível nessa área. Essa análise indica a necessidade de fazer um plano mestre do projeto de uso diversificado, composto por instalações esportivas, parque e edifícios comerciais, que permitam que diferentes faixas etárias se beneficiem do projeto.

Além disso, ao observarmos a área destacada para construção na Figura 14 percebemos a presença de várias instalações esportivas, que consistem em campos de Rugby, piscinas, quadras de tênis e campo de futebol comunitário. Estas instalações permitem que Santa Giulia seja o local adequado para receber os uma arena esportiva, pois complementa uma atividade já presente na área e agrega um valor significativo para o esporte naquele local



Figura 12. População adulta



Figura 13. População idosa

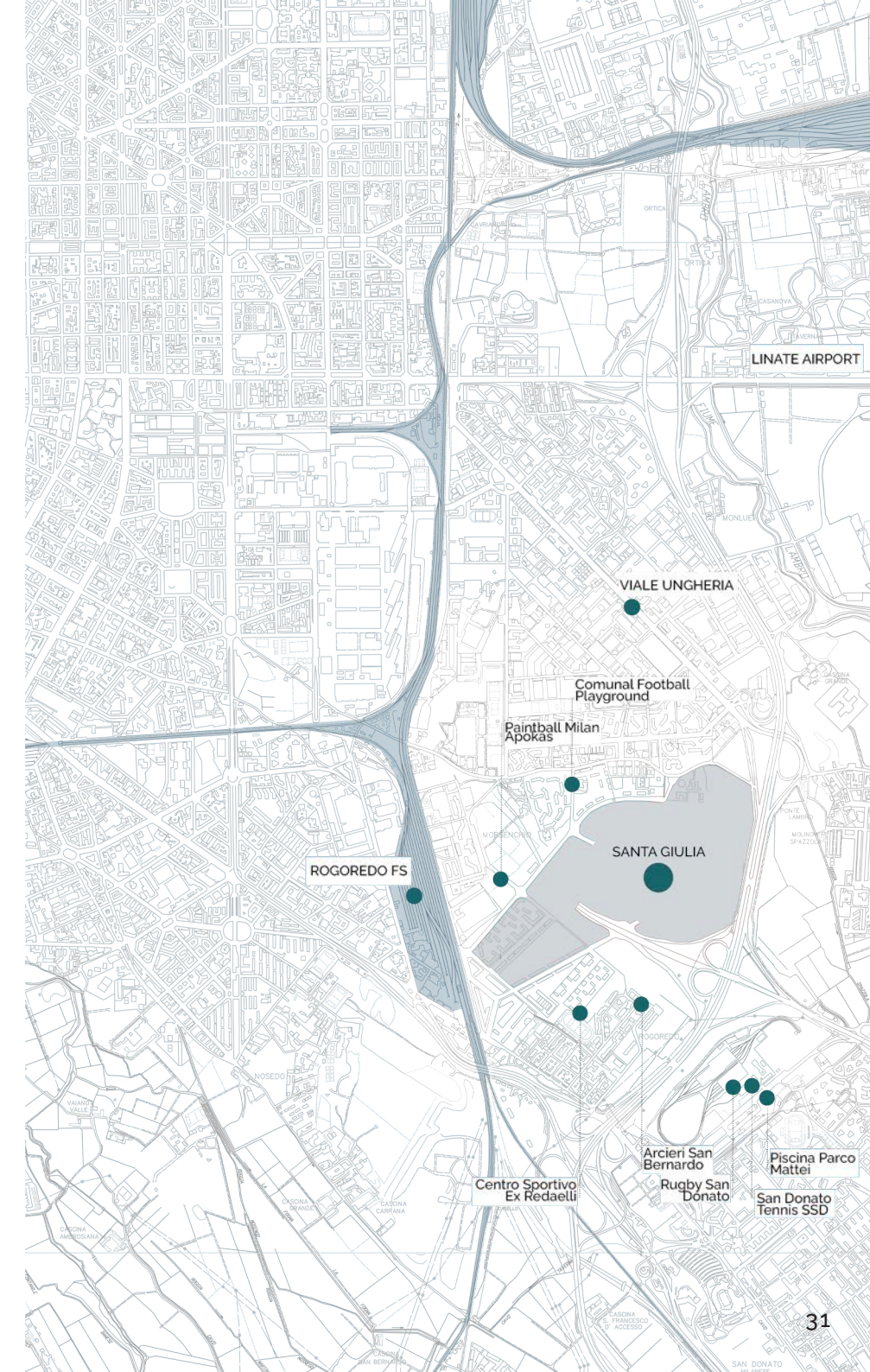
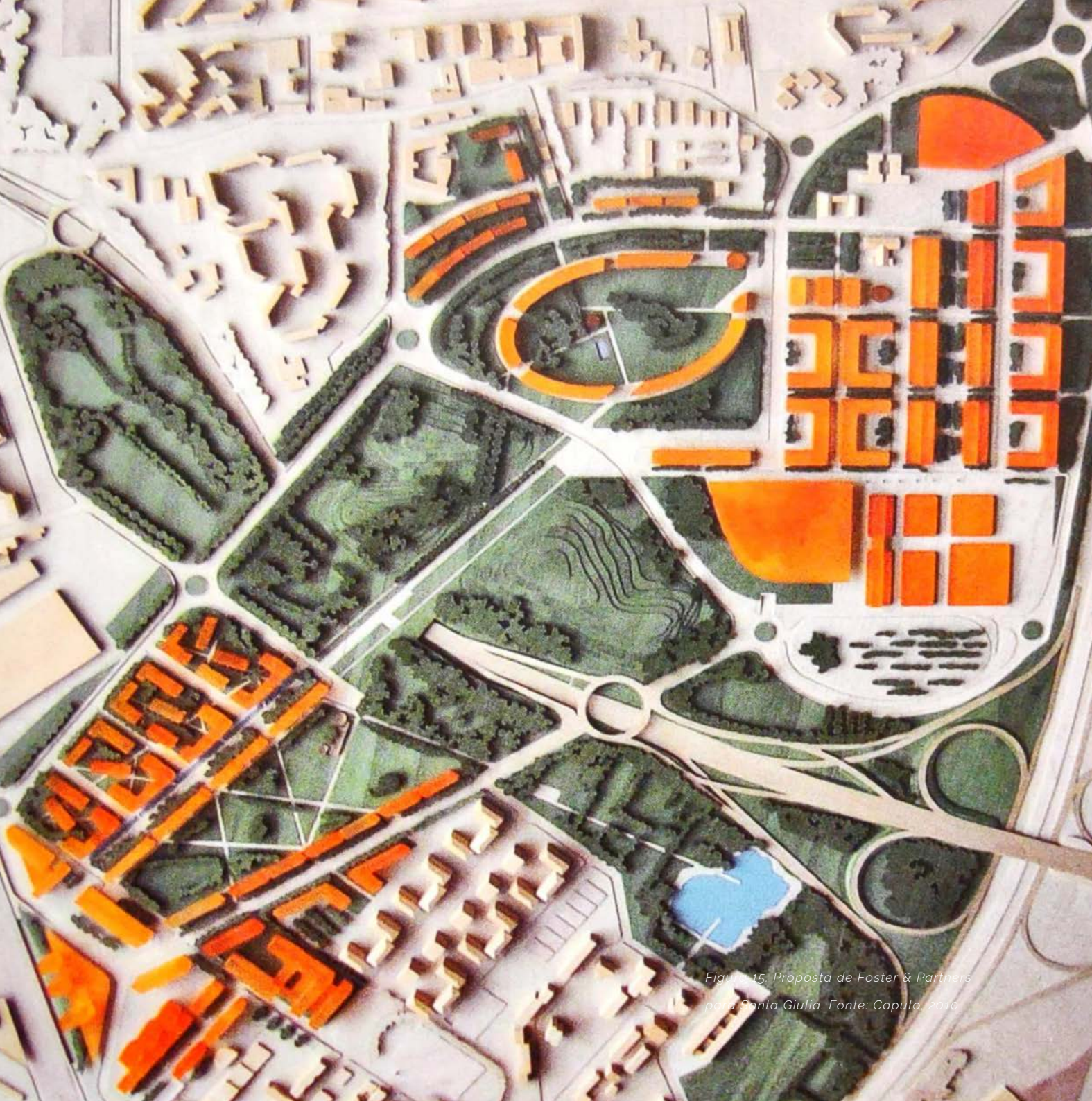


Figura 14. Equipamentos esportivos próximos de Santa Giulia. Elaboração: Nassar, 2021





*Figura 15. Proposta de Foster & Partners  
para Santa Giulia. Fonte: Caputo, 2010*

## PROPOSTAS DE PROJETOS (ANOS 80 E A ÚLTIMA PROPOSTA)



# PROPOSTAS ANTERIORES

## AS PROPOSTAS DOS ANOS 80 E O ÚLTIMO PLANO DIRETOR

Apartirdos anos 80, com a desativação das fábricas de Montedison e Redaelli em Rogoredo, começou o processo de reutilização de áreas livres. A área ex-Montedison foi inserida na Zona de Redefinição Urbana (ZRU) 1 "Bonfaldini-Morsenchio" enquanto a área ex-Redaelli foi inserida na área ZRU 3 "Rogoredo-Paullese".

O projeto de intevenção Montecity-Rogoredo, feito para a área de Santa Giulia e aprovado em 2005, contou com a colaboração do RAUM, Caputo Partnership e do estúdio Foster & Partners e previu a construção total de aproximadamente 600.000 metros quadrados de edifício privado e cerca de 13.000 metros quadrados de edificio público (CAPUTO, 2010).

Na parte sul, cerca de 200.000 metros quadrados foram construídos entre 2006 e 2009, envolvendo 1400 unidades de habitação e a sede da Sky Itália.

Finalmente, em 2014, após analisar as condições econômicas diferentes, as diferentes necessidades do mercado e da cidade de Milão e as questões críticas do plano diretor anterior, o Risanamento SPA preparou algumas propostas alternativas, inspiradas nos princípios LEED para Desenvolvimento de Bairro (ND) sustentável. Assim, uma proposta final para o desenvolvimento da área restante foi acordada com os autores originais e o estúdio Foster & Partners.

Milano Santa Giulia é o primeiro projeto italiano registrado

no protocolo Leed ND (Neighborhood Development) em dezembro de 2012 e foi concebido e proposto como um distrito inovador e futuro, com foco na integração de duas dimensões-chave: sustentabilidade e inteligência.

Milano Santa Giulia é referida como uma "cidade dentro de uma cidade" já que o conceito geral antecipa um bairro que está bem conectado com o resto da cidade, enquanto ainda combina as características fundamentais de uma comunidade "autônoma". Uma infinidade de instalações servirá aos 60.000 residentes deste bairro, incluindo edifícios de escritórios e um museu infantil de tecnologia e invenção, serviços educacionais, uma arena de entretenimento e lazer, e instalações esportivas. Além disso, a presença de um dos maiores parques de Milão, que faz parte da rede verde da cidade. Entretanto, instalações comerciais e as ofertas de lazer, que estão localizadas no centro da comunidade, distinguem este empreendimento dos bairros ao redor.

## CRÍTICA AO PROJETO APROVADO

O projeto atual, acordado entre a Risanamento Spa e o escritório Foster & Partners, projetava um distrito sustentável e inteligente em Milano Santa Giulia, cujo plano mestre consistia em diferentes instalações como museu, edifícios residenciais, arena esportiva, edifícios comerciais, escritórios, e instalações de lazer.

Analisando o projeto urbano proposto na FIGURA X, e pode-se destacar diferentes fatores e elementos que poderiam ser revisitados. Essas críticas e considerações ajudarão mais tarde a projetar um plano mestre diferente, utilizando as mesmas instalações; mas entendendo os pontos de melhoria que poderiam ser atacados.

A intervenção proposta favorece as relações com o resto da cidade e da área metropolitana. A extensão da rodovia de Paullese aumenta a conexão em direção ao centro da cidade e conecta o distrito com a rodovia circular leste. Entretanto, a ideia inicial era unir as duas partes de Santa Giulia, ao invés de mantê-las divididas, como estavam na originalmente. A grande área pública verde, o Parque Santa Giulia, está localizada bem no centro do plano, criando uma maior divisão das áreas de Montecity ao norte e Rogoredo ao sul, em detrimento da unidade que poderia ser alcançada. O parque proposto não funciona como uma paisagem de conexão dentro de diferentes instalações e edifícios, mas é uma grande área verde, sem instalações com as quais interagir.

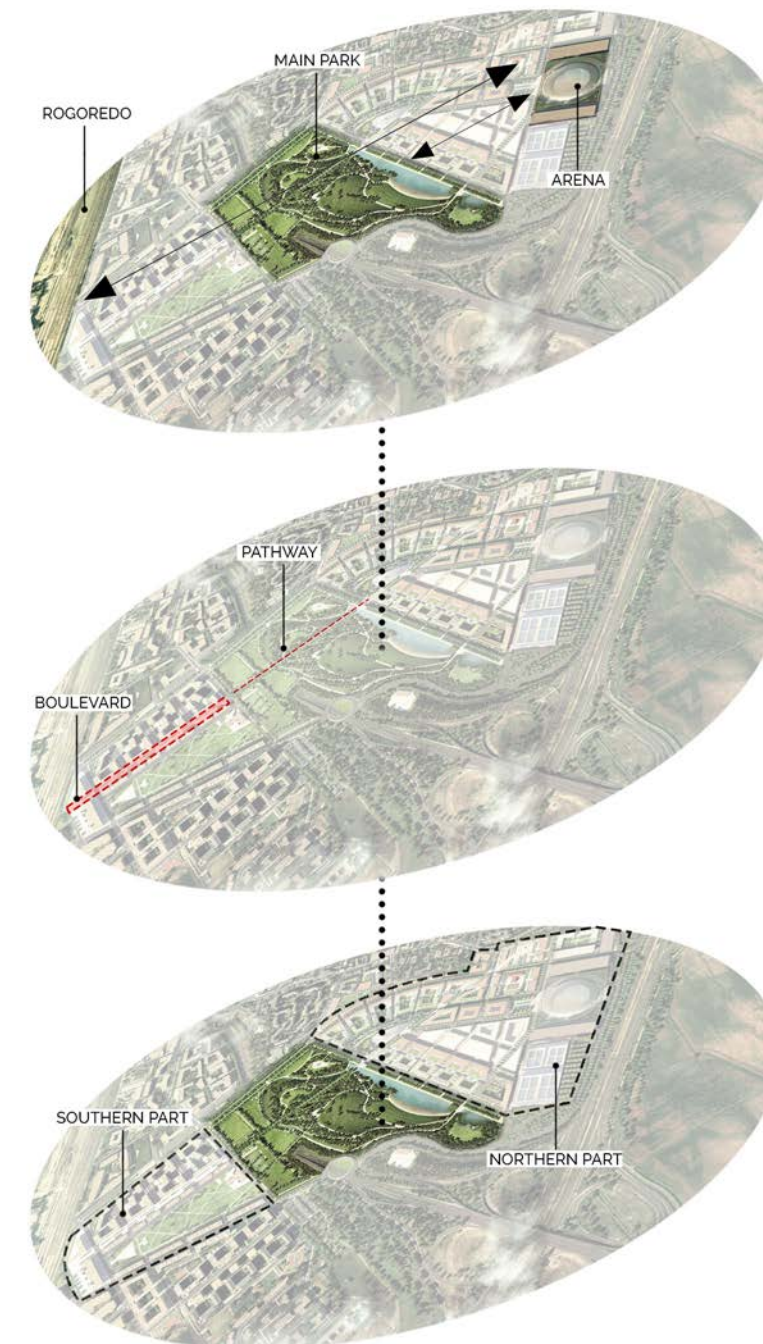
Outro ponto que o plano não considera tão bem é a evolução da morfologia de Milão. Quanto mais nos afastamos do centro, mais abertas são as quadras que observamos. Como vemos na Figura 16, essa estratégia não foi aplicada no plano diretor, pois ele retorna ao conceito original do pátio interno às quadras. Esse cenário não favorece a visão que Milão está tentando alcançar de favorecer a presença de espaços livres verdes, pensando em estratégias de resiliência climática. Além disso, o foi proposto funciona como um bairro exclusivo, com uma descontinuidade do entorno.

Outro elemento importante que devemos destacar é a negligência da importância da avenida que se estende do Rogoredo FS e atravessa toda a parte construída de Santa Giulia. Na proposta atual, a avenida se estreita e se torna apenas um caminho no parque, não tendo a mesma importância que um eixo de acessibilidade; ela não leva a nenhum ponto de interesse dentro do parque e é necessário atravessá-lo inteiramente para alcançar uma determinada função.

Finalmente, a arena esportiva, aqui a principal preocupação,

é projetada nos limites do distrito sem nenhuma ligação com o parque ou com uma infraestrutura de transporte público, como a estação ferroviária Rogoredo FS. A arena é colocada nos limites do plano diretor, de frente para a rodovia, sem uma praça principal onde os fãs possam se reunir, nem com uma área verde atuando como *buffer zone*. Foi tratada como um elemento secundário, ao invés de um elemento agregador e catalisador social do plano. Sua localização está mal conectada ao transporte público e totalmente desconectada e segregada do parque; enquanto isso, tem uma forte conexão com as lojas e edifícios comerciais vizinhos propostos e não com a própria comunidade.

Figura 16. Crítica do projeto aprovado para Santa Giulia. Elaboração: Nassar, 2021







## VISÃO ESTRATÉGICA: SANTA GIULIA 2030



# VISÃO ESTRATÉGICA: SANTA GIULIA 2030

## A VISÃO GERAL DO PGT SOBRE SUSTENTABILIDADE E REGENERAÇÃO

### DAR ESPAÇO AO AMBIENTE — ÁGUA E SOLO

O Plano de Governança Territorial (PGT) de Milão (COMUNE DI MILANO, 2019) estabelece alguns marcos importantes na visão de uma cidade mais sustentável até o ano 2030. Neste sentido, os projetos de solo e água desempenham um papel fundamental para alcançar o objetivo de mitigar os efeitos trazidos pelas mudanças climáticas e reduzir os riscos hidráulicos.

A cidade precisa devolver espaço aos rios, riachos e canais (“Navigli”) de modo a aumentar a capacidade de drenagem de Milão. Para atingir este objetivo, o PGT define perímetros de intervenção com a subtração ou remoção parcial do ambiente construído para dar lugar a espaços abertos — através da transferência do direito de construir, promovendo o florestamento urbano.

A estratégia do plano é introduzir tecidos verdes fragmentados sobre as áreas centrais e reforçar as conexões ecológicas metropolitanas. Além disso, é importante que o plano defina uma estratégia para incentivar a agricultura periurbana e o uso da economia de solo, criando, assim, mais terra disponível para o verde. Estas ferramentas reunidas criarão uma Rede Ecológica Comum (Rete Ecologica Comunale — REC), onde Santa Giulia tem um papel fundamental.

O plano também estabelece os Perímetros de regeneração ambiental (ARA — Ambiti di rigenerazione ambientale), nos quais as condições ocupacionais e ambientais exigem atenção especial para a regeneração. Nessas áreas são sugeridas intervenções

sobre subtrações volumétricas parciais tentando permeabilizar o solo e incrementar o patrimônio vegetal. Santa Giulia também será parcialmente afetada por esta medida.

Importante também dizer que, no perímetro geral de regeneração, existem alguns mecanismos de planejamento que permitem a viabilidade econômica dos novos projetos, tais como a redução de custos na disponibilidade de serviços e incentivos que aumentam o direito de construir. Isto será importante para que os investimentos continuem acontecendo em Santa Giulia após a construção da arena esportiva na área.

### PROJETANDO UMA NOVA ECOLOGIA — PADRÕES DE SUSTENTABILIDADE

Agora, em uma abordagem mais unitária do que urbana, o PGT tenta combater os fatores de mudança climática através de um conjunto de iniciativas para diminuir as emissões de gases de efeito estufa e diminuir o consumo de energia. Ele enfrenta este problema orientando as transformações na cidade através de inovações resilientes e sustentáveis. Neste sentido, o PGT estabelece as seguintes diretrizes:

- Requalificação climática e energética;
- Circularidade de materiais;
- Construção de infraestrutura verde e incremento da biodiversidade, também em pequenas áreas (florestamento urbano);
- Criação de serviços ecossistêmicos;
- Elevação da capacidade de drenagem do solo.

A identificação de ARAs (onde Santa Giulia também é enquadrada) reforça o projeto de redes ecológicas que visa aumentar a segurança hidráulica e climática de Milão, bem como favorecer a coesão social e a habitabilidade.



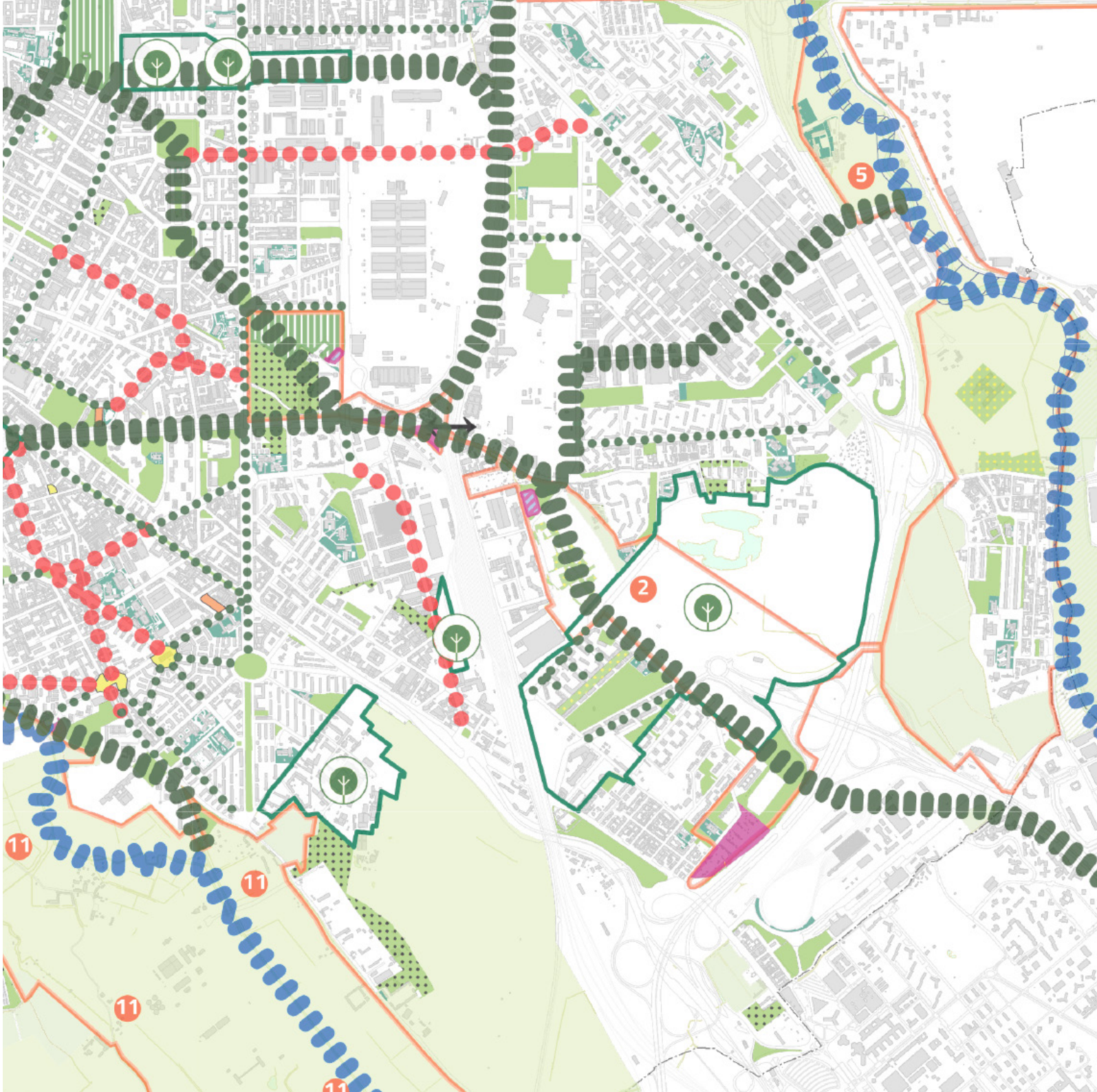
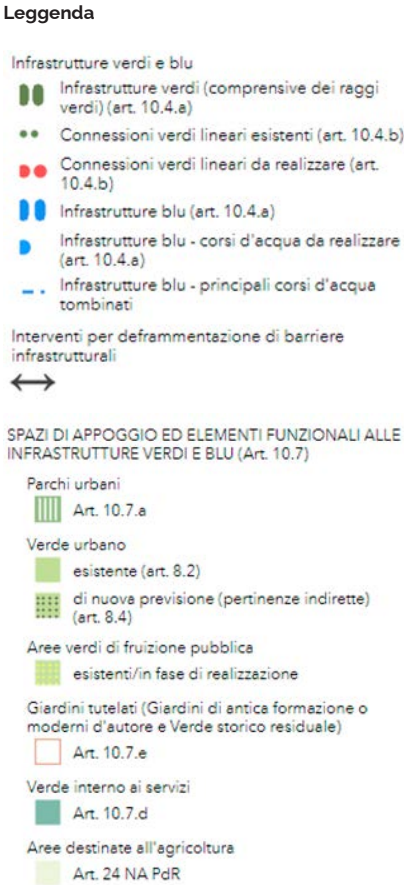
O PAPEL DE SANTA GIULIA NO SISTEMA DE REGENERAÇÃO VERDE

O novo PGT pretende criar áreas verdes e conectá-las, gerando um novo sistema de espaços abertos em Milão. Santa Giulia será um lugar estratégico, designado como um parque e sendo um foco nos novos corredores verdes de Milão. A Figura 18 mostra como este corredor será um anel ao redor de Milão e conectará lugares importantes. A Figura 17 mostra como Santa Giulia é atravessada pela Rede Ecológica Comum (REC), conectando-a com outros nós da cidade e marcando a área como uma importante infraestrutura verde.



Figura 18. Anel de infraestrutura verde. Fonte: PGT, 2019.

Figura 17. Infraestrutura verde e azul de Santa Giulia. Fonte: PGT, 2019.





PROJETOS ESPERADOS ENVOLVENDO SANTA GIULIA

Há também 3 projetos esperados no PGT que envolvem Santa Giulia como um ponto importante.

I — VALORIZAÇÃO AMBIENTAL DO VALE DO LAMBRO

O principal objetivo deste projeto é evitar riscos hidráulicos e ativar medidas de regeneração ambiental que possam contribuir para a disposição hidro geológica e ambiental.

O projeto estende suas medidas entre Monza e San Donato Milanese em um complexo sistema territorial e ambiental. Dois elementos importantes aqui são o próprio rio Lambro, mas também a rodovia Tangenziale Est, que define o projeto como um corredor. Como mostrado na Figura 19 este corredor é atravessado por outros elementos de infraestrutura como as rodovias A4 e A1, a estrada de ferro e o “Paullese”.

Estes aspectos, portanto, compõem uma linha com seções muito diversas, definindo elementos estratégicos e oportunidades de projeto.

No que compete à Santa Giulia, como mostra a Figura 19, é possível identificá-la como uma “Grande Função Urbana”, que pode ser exatamente a entrada sul deste enorme corredor verde que liga importantes nós da cidade e oferece o papel estratégico de aumentar a permeabilidade do solo.

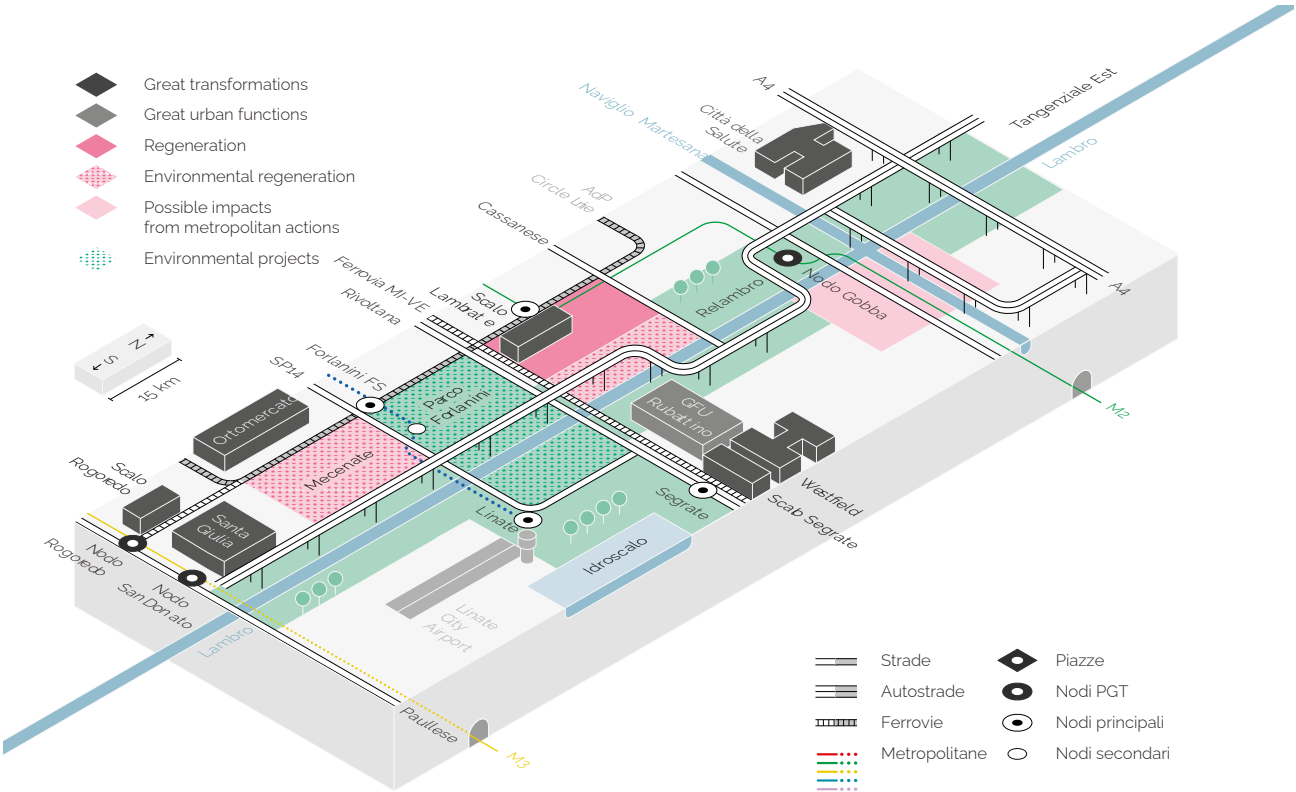


Figura 19. Valorização ambiental do vale do Lambro. Fonte: PGT, 2019.

## II — NOVO PORTAL METROPOLITANO DO SUDESTE

Com acesso privilegiado à cidade e alta acessibilidade, o portal sudeste está passando por importantes transformações que impactam um sistema ambiental delicado, exigindo um gerenciamento coordenado, seja ao nível local ou metropolitano.

É hoje um nó de mobilidade e mudança modal em desenvolvimento, tanto a médio e longo prazo, com infraestruturas como o Aeroporto de Linate, a linha subterrânea M4, o serviço ferroviário regional em Forlanini e Rogoredo, o intercâmbio modal ferroviário-rodoviário em San Donato Milanese, a proximidade das estradas Tangenziale Leste e Oeste, A1 e Tangenziale Esterna.

Alta acessibilidade e a presença de estruturas urbanas subutilizadas tornam esta parte da cidade um terreno fértil para a regeneração e as transformações urbanas. O PGT determina duas "Grandes Funções Urbanas" (Porto di Mare e Rubattino), que trazem consigo outras "Grandes Transformações Urbanas": as escadas de Rogoredo e Lambrate e as áreas de l'Ortomercato e Santa Giulia, com um vasto tecido urbano dedicado à regeneração urbana e ambiental. A Figura 20 mostra estas estruturas e representa esquematicamente suas relações. É importante, porém, destacar que as funções residenciais em torno de Santa Giulia já estão demarcadas como "Áreas de Regeneração Urbana", o que pode impulsionar o desenvolvimento de ambas as áreas nos próximos anos.

Além do grande valor ambiental da área, é crucial destacar que os altos níveis de acessibilidade, que favorecem a construção de uma localidade, são decorrentes de um número expressivo de infraestruturas que requerem atenção especial dos projetistas ao nível local, e coordenação ao nível macro. Isso faz, certamente, de Santa Giulia uma oportunidade de construir um espaço público central e demarcado para os atuais e futuros moradores.

O “Sistema de Grandes Serviços” do PGT pode se aplicar a Santa Giúlia neste sentido, fazendo com que o lugar tenha uma função

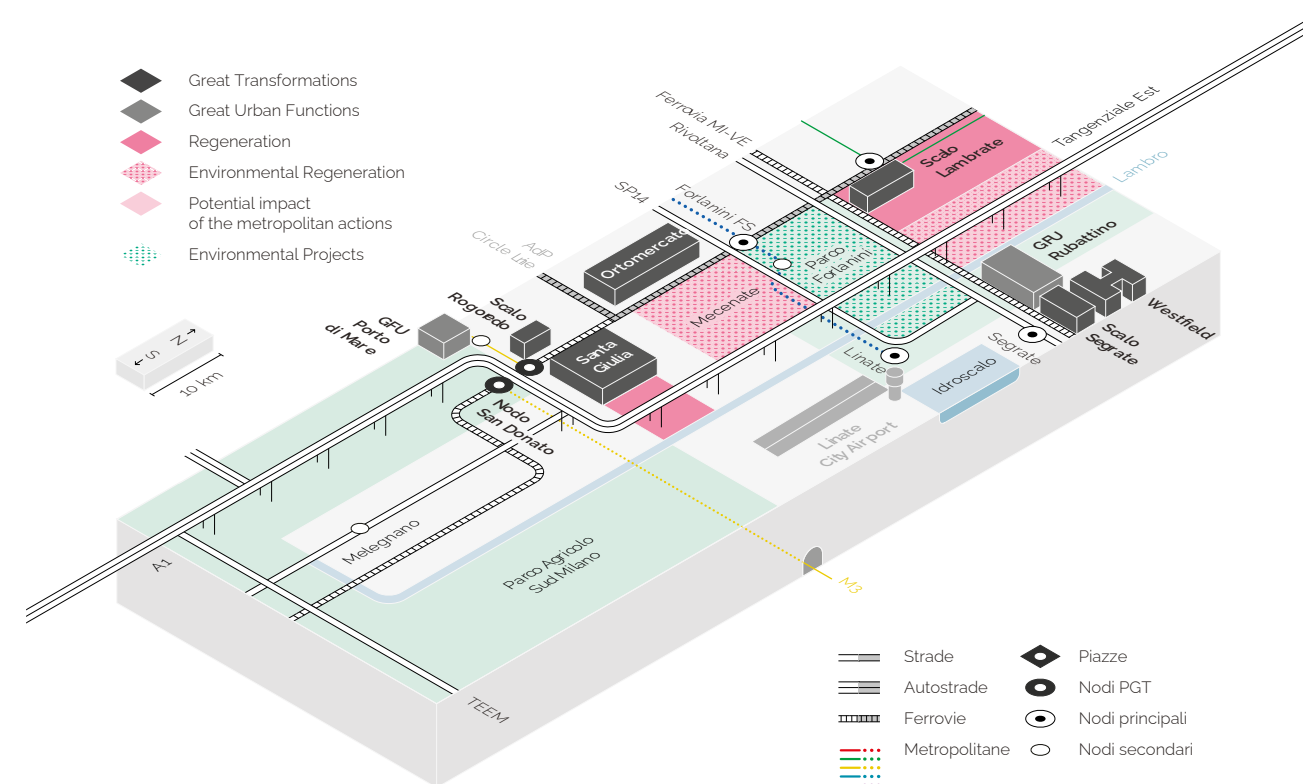


Figura 20. Novo portal metropolitano à Sudeste. Fonte: PGT, 2019.

importante para consolidar o papel estratégico do esporte e da cultura em Milão.

### III — PARQUE METROPOLITANO

Entre as iniciativas para integrar as províncias ao redor de Milão, o Parque Metropolitano propõe :

1. Uma interconexão entre parques regionais (Parco Agrícola, Sud Milano e Parco Nord), parques locais de interesse regional (PLIS Media, Valle del Lambro, Grotta Est, Basso Olona e Rhodense, etc.) e parques urbanos de vocação metropolitana (Forlanini e Idroscalo);
2. Uma revisão dos modelos de gerenciamento;
3. O reforço da capacidade de projetar a relação entre natureza, agricultura e fruição.

É de especial interesse pensar em Santa Giulia, parte do Parque do Vale do Lambro, como um importante nó do Parque Metropolitano, que pode oferecer esporte e cultura para toda a comunidade ao redor de Milão e irá tirar proveito da existência do Parque Metropolitano para atrair pessoas de comunidades mais distantes.

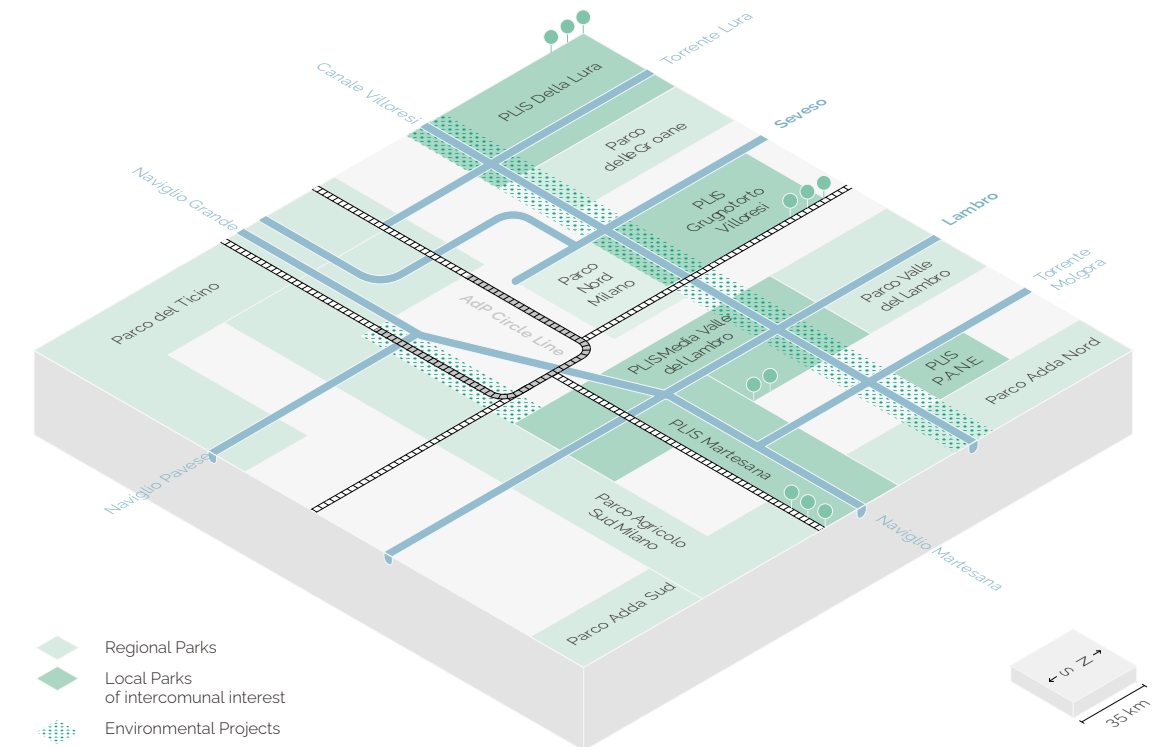


Figura 21. Parque metropolitano de Milão. Fonte: PGT, 2019

**TEMA**



# ARQUITETURA DO ESPORTE

## PAPEL DOS EDIFÍCIOS ESPORTIVOS

Desde que os gregos projetaram o primeiro estádio, o estádio de Olympia, onde os antigos jogos olímpicos foram realizados a partir de 776 a.C., os prédios esportivos serviram de ponto de encontro para milhares de espectadores que choravam, gritavam e cantavam em uníssono. Sem dúvida, os edifícios esportivos evoluíram tremendamente dos estádios de mármore branco da Grécia para o Coliseu e do Stadio di Domiziano, em Roma, para o Estádio olímpico Bird's Nest, na China moderna. Os edifícios esportivos se desenvolveram e sofreram várias mudanças de projeto; experimentação técnica e estrutural, materiais, relação com a cidade e a paisagem e, finalmente, função e valor simbólico. Há poucas dúvidas de que o esporte se desenvolveu em nível acelerado durante as últimas décadas, e é um aspecto da vida moderna que é amplamente encontrado em todo o mundo, tanto nas sociedades industriais quanto nas nações em desenvolvimento.

No passado, o símbolo da cidade costumava ser a prefeitura, a sala de congressos, a biblioteca, o museu, etc. Atualmente, o estádio e as instalações esportivas são também símbolo da cidade, pois expressam suas inspirações. Na sociedade contemporânea, o entretenimento se torna espetáculo e expressão dos valores identitários de um lugar.

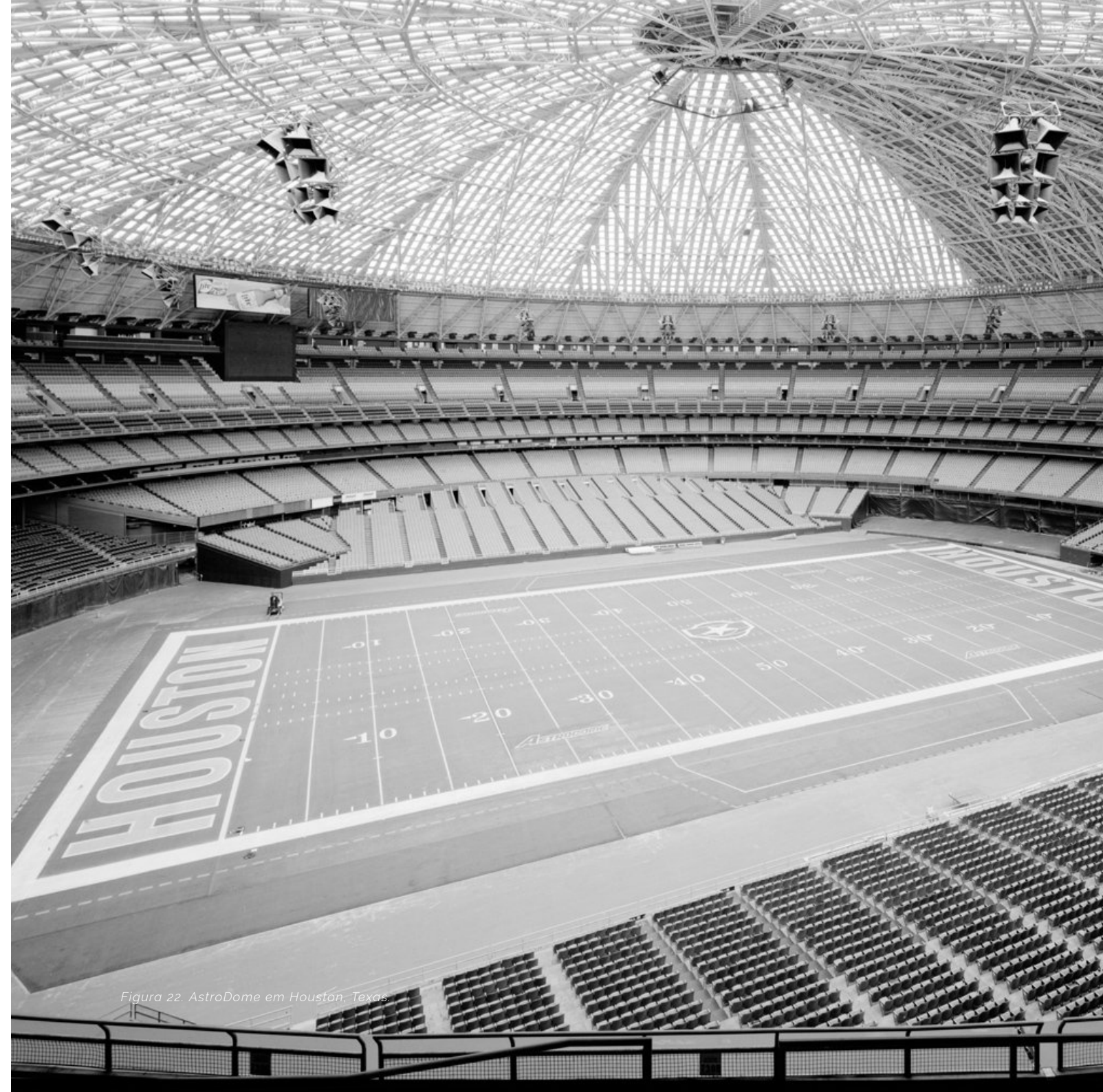


Figura 22. AstroDome em Houston, Texas.





## HISTÓRIA DAS ARENAS ESPORTIVAS

# HISTÓRIA DAS ARENAS ESPORTIVAS

## DA ORIGEM ÀS ARENAS MODERNAS

Como mencionado anteriormente, o primeiro estádio a ser projetado foi construído pelos gregos, datando de 776 a.C., utilizado para os Jogos Olímpicos da Antiguidade. O Estádio olímpico de Olímpia, foi construído em forma de U, seguindo as linhas da pista. A pista de corrida do estádio tinha mais de 200 metros de comprimento e cerca de 30 metros de largura. O estádio foi originalmente projetado e construído para que o público pudesse ver as festividades das encostas do Monte Cronion; no entanto, ele foi gradualmente deslocado para o leste até finalmente ser colocado fora do templo de Zeus. O estádio tinha uma capacidade de 20.000 lugares, e quase todos os assentos foram construídos em lama, com algumas exceções feitas especificamente para oficiais. O estádio e o santuário foram unidos por um túnel abobadado.

## CIRCUS MAXIMUS

A evolução dos estádios prosperou na era romana, especialmente com o nascimento do circo e dos anfiteatros. Em Roma, o Circus Maximus é uma histórica arena de corridas de carros romanos e uma grande instalação de entretenimento. Localizado entre as colinas Aventine e Palatine, é considerado o mais antigo e maior estádio da Roma antiga. Construído no primeiro século A.C. em Roma, o circo foi originalmente inspirado nos estádios em forma de U da Grécia. No entanto, com a demanda e inovações técnicas, as pistas foram estendidas para ter 621 m de comprimento e 118 m de largura e fechando o perímetro. O fechamento do quarto lado, seja por edifícios



Figura 23. Stadium at Olympia



Figura 24. Circus Maximus

ou arcadas, diferenciou o circo romano dos estádios gregos. Outra diferença foi definitivamente o tamanho e a capacidade de hospedagem dos espectadores, pois poderia receber mais de 150.000 espectadores, em comparação com os 20.000 dos antigos estádios da Grécia. Os palcos dos espectadores eram erguidos em uma inclinação natural, com os níveis mais baixos feitos de pedra e os mais altos feitos de madeira. Devido à sua proximidade com o rio Tibre, era possível enchê-lo com águas fluviais, permitindo que o Circus Maximus fosse utilizado para exibições de "naumaquia" (batalhas de barco).

## ANFITEATROS ROMANOS | O COLISEU

No entanto, o que tem um enorme impacto na construção moderna de estádios e arenas são os Anfiteatros Romanos, entre eles o Coliseu. Com a criação dos anfiteatros circulares, os romanos trouxeram o conceito do estádio para outro patamar. Com sua forma circular e fechada, que maximiza a experiência do espectador a partir de cada ponto, estas construções multifuncionais anteciparam a experiência dos estádios modernos, como já foi observado anteriormente. Tais estádios receberam uma variedade de eventos, desde combate de gladiadores, passando por jogos teóricos, até execução e caça de animais. Os anfiteatros e estádios começaram a atuar como um local polivalente, não sendo dedicados a um único esporte em que o projeto do edifício é restrito e projetado conforme o esporte. Com a construção concluída em 80 d.C., o Coliseu assumiu uma forma vertical de estrutura, atingindo 48 metros de altura e tendo uma forma de elipse de 188 m de largura e 156 m de comprimento. O Coliseu, sendo o maior anfiteatro antigo já construído, pode abrigar quase 60.000 espectadores. Essas dimensões são muito semelhantes aos estádios atuais, seja em tamanho, altura ou mesmo na capacidade de espectadores,

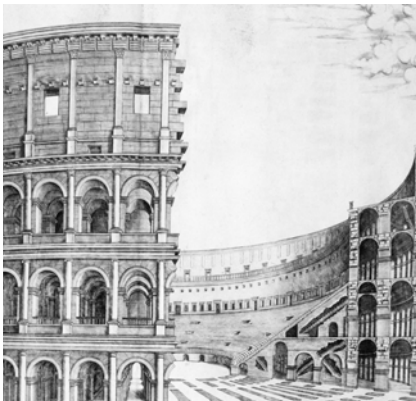


Figura 25. The Colosseum



e por essas razões, o Coliseu é considerado o precursor dos estádios modernos.

UMA LACUNA NAS CONSTRUÇÕES DOS ESTÁDIOS

Após a legitimação religiosa, no século IV d.C., certas proibições foram impostas espetáculos de circo em Roma e ocorreu a abolição dos Jogos Olímpicos na Grécia. Estas ações fizeram com que a importância da prática esportiva perdesse relevância na sociedade. Muitos dos estádios romanos e gregos foram convertidos em diferentes funções e propósitos, e a arquitetura passou a se dedicar em castelos, igrejas, catedrais e outras novas tipologias de construção.

No entanto, durante a era renascentista, foram introduzidos eventos de corrida e equestres que permitiram a retomada das práticas esportivas. Esses eventos não ocorriam em locais recém-construídos; mas, em grandes espaços abertos e praças públicas nas quais estruturas temporárias eram instaladas para os espectadores. Alguns exemplos para as instalações esportivas que ocorreram na época são a Piazza del Campo em Siena, onde o “Palio” ainda acontece, e a Piazza Santa Croce em Florença,

IDADE MODERNA E RENASCIMENTO DOS JOGOS OLÍMPICOS | RENASCIMENTO DA CONSTRUÇÃO DOS ESTÁDIOS

Na nova era moderna, os estádios construídos na primeira geração eram como enormes miscelâneas que tinham o único objetivo de acomodar o maior número possível de espectadores. Tais estádios tinham instalações rudimentares e pouco valor arquitetônico. Os níveis eram construídos em concreto ou simplesmente em aterros, que formavam as arquibancadas.



Figura 26. Piazza del Campo, Siena



Figura 27. Piazza Santa Croce, Florença



Figura 28. Lords Cricket Ground



Figura 29. Goodison Park

Se uma extensão fosse necessária para satisfazer o aumento da demanda por assentos, geralmente aconteceria de forma desordenada e não-homogênea, gerando edifícios com arquitetura fragmentada.

Estes estádios foram construídos principalmente no Reino Unido e nos Estados Unidos, por volta de 1800, devido ao crescimento da popularidade do futebol, do críquete e do beisebol. Estas versões tinham projetos básicos, com arquibancadas retilíneas que funcionavam paralelamente aos lados do campo.

Um dos primeiros exemplos dessa categoria de construção é o Lord's Cricket Ground em Londres, construído em 1814. Esse estádio foi construído para satisfazer a enorme demanda para assistir aos jogos de críquete, e é considerado um dos estádios mais antigos do mundo que continuam a sediar eventos até hoje. Várias arenas de futebol estavam sendo construídos pelo Reino Unido, incluindo o estádio Stamford Bridge, inaugurado em 1877, e o estádio Anfield, inaugurado em 1884, mas a construção do Goodison Park foi um momento marcante na história dos estádios de futebol. Foi o primeiro estádio de futebol do mundo construído para o propósito sendo concluído, com duas arquibancadas descobertas que podiam cada uma comportar 4.000 pessoas e um terceiro estande coberto que poderia acomodar 3.000 espectadores.

Estes primeiros locais, inicialmente construídos para a realização de jogos de futebol, foram aceitos para uso nos Jogos Olímpicos da Era Moderna, o primeiro dos quais foi realizado em Atenas, Grécia, em 1896. Com uma capacidade de 68.000 lugares, o White City Stadium, construído para os Jogos Olímpicos de verão de 1908 em Londres, é considerado como o primeiro estádio moderno.

A elevação dos estádios e a existência de diferentes níveis de



assentos ocorreu com o projeto do estádio London Highbury, construído em 1913, onde foi introduzida uma disposição de dois níveis de assentos (Figura 31).

Em paralelo, muitos estádios estavam sendo construídos nos Estados Unidos. No entanto, os primeiros estádios de beisebol construídos nos Estados Unidos eram feitos principalmente de madeira, sendo o primeiro desses estádios o South End Grounds em Boston, inaugurado em 1871. Uma parte relevante destes estádios de madeira sofreu incêndios, o que causou um apelo por construções mais perenes.

Tendo isso em vista, foi realizado nos Estados Unidos o “Baker Bowl”. Concluído em 1895, foi o primeiro parque de beisebol a utilizar aço e tijolo como meios de construção. Além disso, foi o primeiro estádio com um segundo deck (tier) em balanço. O Estádio de Harvard, em Boston, (Figura 32) construído em 1903 para a equipe de futebol americano da Universidade de Harvard e para o departamento de atletismo e campo, foi outra instalação significativa. Foi o primeiro estádio de concreto e aço construído no mundo.

A experiência do concreto e aço, marcou o início da construção de enormes estádios, que permitiram o desenvolvimento de estruturas como o Estádio do Maracanã, no Rio de Janeiro (Figura 33), que em 16 de julho de 1950 foi palco do maior recorde de público, quando 199.854 pessoas assistiram ao jogo final da Copa do Mundo da FIFA de 1950.



Figura 30. White City Stadium



Figura 31. London highbury stadium



Figura 32. Harvard University's American football



Figura 33. Estádio do Maracanã





## HISTÓRIA DAS ARENAS DE GELO



# HISTÓRIA DAS ARENAS DE GELO

## EVOLUÇÃO TIPOLÓGICA

Esportes de gelo têm sido praticados há séculos sobre riques naturais. Embora pistas de gelo natural possam ser realizadas sobre corpos de água abertos, como lagos, lagoas, canais e rios, desde que o clima frio permita o espessamento da camada de gela de maneira a suportar cargas humanas, o interesse desse trabalho reside em pistas de hóquei no gelo cobertas. Isto é, arenas de hóquei no gelo e sua evolução até tempos atuais. Com exemplos, ilustraremos a evolução dessa tipologia que justificará a nossa abordagem da forma.

### MATHEWS ARENA

Uma das mais antigas arenas de hockey do mundo que ainda está em uso - assim como um dos edificios esportivos multiuso mais antigo que ainda está em uso - é a Mathews Arena, em Boston. Inaugurada em 1910, sofreu vários danos devido a incêndios sofridos que danificaram sua fachada. Entretanto, podemos ver claramente através da Figura 34 e da Figura 35 que o desenho original, que é bastante semelhante até hoje, era de forma retangular com um telhado inclinado, um desenho típico de armazéns. Ou seja, a arquitetura de riques de gelo ainda não tinha encontrado uma tipologia típica. Apesar do desenho não refletir seu uso diretamente, alguns elementos, como os painéis de iluminação natural, encontrados tanto nas fachadas quanto no telhado, ainda são elementos típicos das arenas de gelo atuais.

### MADISON SQUARE GARDEN

Outra arena geométrica formal e retilínea com cobertura semelhante foi o Madison Square Garden (MSG), na cidade de Nova York, aberto em 1925 e fechado em 1968 (Figura 36). Era



Figura 34. Mathews Arena

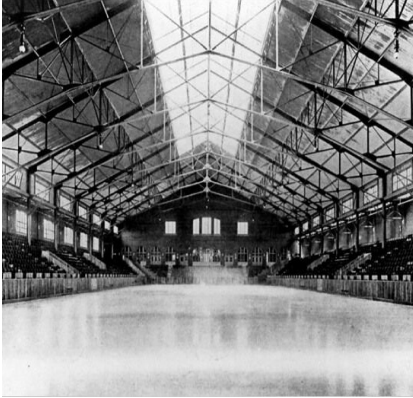


Figura 35. Mathews Arena



Figura 36. Madison Square Garden



Figura 37. Ingalls Rink



Figura 38. Ingalls Rink



Figura 39. Ingalls Rink

uma arena polivalente, capaz de abrigar diferentes eventos, entre eles hockey, boxe e basquete. O projeto era uma caixa simples na qual o esqueleto estrutural é visível na fachada. As composições arquitetônicas, assim como a articulação dos volumes, eram expressão da funcionalidade do edificio e havia uma clara dissociação entre a forma do edificio e da cobertura. Apesar de não conseguir alcançar uma unidade na tipologia da arena de gelo, o Madison Square antecipa questões contemporâneas, como o uso cotidiano de suas fachadas externas e a flexibilidade.

### PISTA DE PATINAÇÃO DAVID S. INGALLS

Diferentes formas e formatos para pistas de gelo começaram a aparecer e um dos clássicos e famosos riques para hóquei no gelo, atingindo unidade entre a cobertura e o corpo do edificio, foi o David S. Ingalls, do Arquiteto Eero Saarinen (Figura 37). A arena é caracterizada por sua cobertura em forma de curvilínea, semelhante a uma baleia. A estrutura inovadora da cobertura é composta de um arco de concreto armado de 90 metros, com uma rede de cabos ligando-o às bordas externas do telhado. Isto resulta em uma forma estável de dupla curvatura.

Esse edificio, erguido 30 anos depois do Madison Square, exhibe claramente a progressão da tipologia das arenas de gelo. Embora o ringue seja de forma retangular, a cobertura da arena estabelece novos pontos de referência e ideias de design para futuras arenas. A cobertura em forma de arco demonstrou que novas experimentações poderiam ser utilizadas para ganhar altura e superar vãos.

O projeto deste trabalho também tentará alcançar, de maneira contemporânea, a unidade tipológica inspirada pelo David S. Ingalls, mas modificando a abordagem e entendendo a forma da arquitetura como expressão do nosso tempo.

## **EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NA ARQUITETURA ESPORTIVA**



# EXPRESSÃO TECNOLÓGICA E ESTRUTURAL

## USO DE ESTRUTURAS DE REDE DE CABOS

Esta parte do trabalho foca nas inovações alcançadas por tecnologias de materiais e técnicas construtivas que permitiram a construção de coberturas e formas desafiadoras com a ajuda de aço, estruturas de cabos, membranas e materiais preenchido por ar.

Essas estruturas são chamadas "estruturas de rede de cabos", sendo compostas por uma estrutura tridimensional de cabos de aço e barras verticais e uma cobertura de membrana.

Os tecidos utilizados para cobertura são geralmente materiais poliméricos que, além de atender critérios de resistência, permitem um bom desempenho térmico e luminoso.

O complexo do Estádio olímpico de Munique (Figura 40) possui o maior pavilhão em forma de tenda com estrutura de rede de cabos do mundo. O sistema de teto translúcido em Plexiglas abrange um total de 74.800 metros quadrados, cobrindo o estádio principal, arena de ginástica, piscina coberta, e passarelas de ligação. A cobertura do estádio foi apoiada por oito torres com cabo de aço que atingem uma altura de 76 metros e são tensionadas por cabo curvo.

A Illustrated Encyclopedia of Architects and Architecture (1991) considerou essa composição estrutural como "uma escala totalmente nova para esta categoria de edifício". Este avanço "levou ao pioneirismo de técnicas inteiramente matemáticas baseadas



Figura 40. Complexo Olímpico de Munique



Figura 41. Allegiant Stadium



Figura 42. Allegiant Stadium

em computação para identificar sua forma e comportamento". Os projetistas desse tipo de estrutura podem identificar a localização ideal dos cabos de aço para que a estrutura esteja sob tensão completa, utilizando para isso análise matemática e técnicas de busca de forma.

## ESTRUTURA EM MEMBRANA

Um dos focos deste trabalho é o potencial que as arenas podem oferecer em flexibilidade e variação de funções e instalações. Essas alternâncias nas atividades esportivas e nas formas de campos e quadras, exigem soluções capazes de compreender as várias necessidades para as exigências de cada esporte. Uma solução para alcançar este potencial é através da vedação das arenas, por uma cobertura. Assim, permite-se, sob diferentes condições climáticas e ambientais, a ocorrência de diferentes atividades esportivas: futebol, ginástica, basquete, hóquei no gelo, tênis, etc. O estádio com cobertura fechada consegue abrigar atividades esportivas com relativa independência dos fatores ambientais. Para que as arenas flexíveis possam ser projetadas, devem ser considerados grandes vãos para permitir diferentes variações no tamanho do campo. Portanto, foram necessárias diferentes tecnologias e experimentações para transpor os vãos das coberturas.

As coberturas com estrutura de membrana são uma das maneiras mais utilizadas na atualidade para vedação de arenas esportivas, especialmente por sua leveza. Com a ajuda desta técnica, é possível desenvolver e projetar formas com vãos amplos e discretos. Algumas das escolhas de materiais mais comuns para estrutura de membrana são o tecido de poliéster revestido com PVC, a fibra de vidro revestida com Politetrafluoretileno (PTFE), e o Tetrafluoretileno de Etileno (ETFE). Uma grande vantagem

destas membranas é que elas podem ser aplicadas a qualquer geometria, devido à sua elasticidade. Outro benefício é que, utilizando estas membranas, pode-se alcançar um projeto de aparência aberta e visualmente permeável, já que a estrutura tende a ser muito menos robusta quando comparada a outras soluções mais tradicionais.

Além disso, este método construtivo permite iluminação zenital que seriam difíceis de se alcançar com materiais e sistemas tradicionais. Por exemplo, se o tecido utilizado for de um material translúcido, pode-se alcançar uma transmissão natural da luz do dia entre 9% e 18%; portanto, permitindo iluminação nas arenas sem a necessidade de iluminação artificial durante o dia. Para as arenas fechadas, como as arenas de gelo, estas membranas e, especificamente o ETFE, podem ser uma ótima opção de material, pois é altamente reflexivo, podendo devolver quase 75 – 85% do calor e da luz externa. Estas propriedades, se bem usadas, podem ser aproveitadas para reduzir as demandas de energia para iluminação e aquecimento no inverno, diminuindo o impacto do edifício em sua vida útil.

Um projeto muito recente e moderno, o Estádio Allegiant em Las Vegas (Figura 41), utilizou a membrana ETFE como elemento de fechamento da cobertura. Segundo os projetistas, o ETFE dará ao estádio uma sensação de ar livre durante os jogos do dia, pois permite a transmissão de iluminação natural, sem afetar a visão e o foco dos jogadores, mantendo condições de temperatura controlada.

Os painéis estão sendo colocados sobre uma estrutura de rede de cabos composta por 100 cabos de aço inoxidável que compõem o sistema de cobertura. Estão encaixadas como peças de quebra-cabeça, com parte do telhado deixada aberta para que parte da estrutura possa ser içada, se necessário.





Figura 3. Estádio de Genova, Ponte  
Mobile Earth.

## RELAÇÃO COM A CIDADE E A PAISAGEM



# RELAÇÃO COM A CIDADE E A PAISAGEM

## INTEGRAÇÃO COM O ENTORNO

Independentemente do contexto (Urbano, Suburbano ou Peri-urbano), a arena deve se integrar com o contexto ao seu redor. Há uma responsabilidade de considerar o cenário existente, as conexões, a escala de blocos, a morfologia urbana e a escala vertical para ter certeza de que a instalação esportiva irá melhorar o ambiente naquele local e proporcionar benefícios ao seu entorno (PLACE DYNAMIX, 2014).

Como vimos, Santa Giulia se encontra em um campo suburbano, apresentando baixa densidade. No entanto, apresenta alta acessibilidade, com a infra-estrutura de trem, metrô e rodovias próximas, o que nos permite transformá-la em um local para uso também em dias sem eventos. Esta oportunidade será explorada adiante com o projeto do parque e a galeria interna dentro da Arena.

As arenas também devem seguir o movimento urbano e os padrões morfológicos. A Figura 44 mostra bons exemplos de como a morfologia pode ser respeitada, apesar do tamanho relativamente grande das arenas. O tamanho, a orientação e a forma das novas arenas devem assegurar que os movimentos e padrões existentes sejam mantidos, melhorados ou criados.

É mais fácil identificar estes padrões morfológicos em um contexto urbano, mas também é possível, extrapolando um contexto maior o significado de Santa Giulia como uma área verde estratégica para Milão, entender o padrão das quadras abertas na parte sudeste de Milão para repropor um bairro em Santa Giulia e inserir a Arena de Hóquei no Gelo como um realçador do projeto paisagístico,

Figura 44. Morphology respect

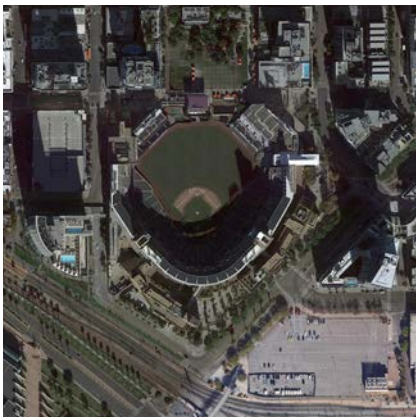


Figura 45. Most integrated



Figura 46. Partially integrated



Figura 47. Least integrated



alinhado com um padrão urbano caracterizado pela existência de espaços verdes abertos.

## CONECTIVIDADE E ACESSIBILIDADE

A viabilidade de uma nova Arena depende de altos níveis de conectividade e acessibilidade. Isso só pode ser alcançado com uma infra-estrutura de transporte público que permita que um local seja alcançado por uma quantidade significativa de pessoas em um tempo e preço razoáveis. Quando as arenas estão muito distantes do perímetro urbano e precisam ser alcançadas por carros, cria-se o problema da necessidade de grandes áreas para estacionamentos. Os estacionamentos, além de serem um enorme desperdício de terra, são também uma barreira para os pedestres e, por extensão, para a integração total entre a Arena e a cidade.

A Figura 45, a Figura 46 e a Figura 47 fazem uma comparação de como Arenas podem ser isoladas quando não oferecem acesso fácil e claro do transporte público para os espectadores. O entorno imediato de um estádio, então, deve ser um espaço para pedestres. A experiência de ir para a Arena deve ser pensada desde o momento em que um torcedor entra numa estação de transporte público, sai na estação mais próxima e caminha até a Arena. A conexão entre a estação e a Arena é uma prioridade.

Este princípio foi seguido na decisão sobre onde colocar a Arena em Santa Giulia. O acesso deveria ser o mais agradável e direto possível. É por isso que a Arena foi colocada alinhada com a avenida (projetada no plano de Foster) e vem da Estação Rogoredo. Tomando vantagem do boulevard já existente, é possível proporcionar uma experiência agradável ao espectador, através de um microclima controlado e a disponibilidade de conveniência e segurança.



LUGAR

Os princípios que regem a compreensão do lugar na relação entre uma arena e a cidade são 3: Sentido de lugar, Destinos e Identidade Local (PLACE DYNAMIX, 2014).

1) SENTIDO DE LUGAR

Devido a sua dimensão e importância, as arenas devem ser edifícios cívicos. Sendo assim, o lugar ao redor das arenas deve ter um espírito público, que acrescenta uma imagem e identidade ao próprio lugar. Como as pessoas se encontram e se reúnem ao redor das arenas, num evento esportivo elas provavelmente passarão mais tempo fora de seus assentos. É por isso que é crucial fornecer usos e atividades complementares, bem como fachadas ativas, para aumentar o uso público. No projeto da Arena de Santa Giulia, o espírito público foi aprimorado pelo projeto de um parque, conectando o ambiente construído existente com a galeria interior do edifício, que oferece usos adicionais para o público, mesmo em dias sem eventos.

O ambiente construído e as características naturais podem tornar melhor a experiência do espectador e a imagem da cidade. A Arena pode oferecer vistas dos principais elementos da cidade, como a linha do horizonte, o litoral ou um parque. Isto ajuda a trazer um caráter único à Arena e criar um vínculo entre a Arena e sua comunidade. O Estádio de Braga de Souto de Moura (Figura 48) é um bom exemplo de como uma Arena pode melhorar a vista de paisagens específicas.

Há muitas situações nas quais uma Arena pode melhorar a experiência do torcedor em diferentes contextos, exemplificadas na comparação de contextos da Figura 49. De acordo com esses contextos, Santa Giulia se encaixaria em uma classificação de “parque”.



Figura 48. Estádio de Braga, Souto de Moura

Um estudo de caso para a definição do conceito da Arena de Santa Giulia foi o SAP Arena, projetado em Munique por arquitetos da 3XN (Figura 50). O projeto do SAP Garden Arena também inspirou a maneira como a integração da paisagem com o edifício aconteceria, conectando diferentes níveis do edifício com a paisagem e realçando as linhas da forma do edifício.



Figura 49. Comparação entre contextos de arenas. Fonte: Dynamix, 2012.

**2) DESTINOS**

As arenas devem ser um destino para atrair pessoas não apenas em dias de eventos. O objetivo, portanto, é inserir a Arena em um destino de uso misto mais amplo. Isto torna o fluxo de pessoas mais viável e aumenta a frequência de uso e os gastos das pessoas que visitam a área, tendo um efeito econômico positivo sobre a vizinhança.

O projeto em Santa Giulia propôs essa dinâmica ao criar uma galeria (inspirada na tradição milanese) para trazer diferentes usos para a Arena e torná-la um lugar cotidiano não só para a comunidade nos arredores, mas também para aqueles que visitam o parque ao redor. Este uso comercial para a área também será melhorado através do reforço do eixo comercial existente em Santa Giulia, construído pela proposta do estúdio Foster & Partners (2004).

**3) IDENTIDADE**

Os arredores das arenas e o espírito público do lugar devem melhorar a identidade local. Isto pode ser feito tomando como referência a cultura própria e reinterpretando-a em moldes contemporâneos. Isso foi proposto no projeto da Arena de Santa Giulia, após um profundo entendimento do projeto dos espaços públicos milaneses. Analisando referências como a Rotonda Della Besana e o Lazzaretto, foi possível concluir que o típico espaço público milanês é uma construção central, rodeada por vazios e fechada novamente por construções. Isto, extrapolado, inspirou o projeto da Arena Santa Giulia criando uma galeria que dá acesso tanto ao edifício principal (a arena esportiva) quanto ao anel exterior das funções cotidianas.



Figura 50. SAP Arena por 3XN Architects.





**FLEXIBILIDADE E MODULARIDADE**

# FLEXIBILIDADE E MODULARIDADE

## MOVIMENTAÇÃO DE ASSENTOS E CAMPOS

Uma análise importante neste trabalho é o estudo da flexibilidade e modularidade. Uma das preocupações do projeto foi como conseguir uma arena que fosse suficientemente flexível para abrigar diferentes instalações, permitindo um interesse constante da comunidade. Essa garantia permite um impacto positivo na comunidade que se beneficiará da arena, e proporciona uma renda contínua para o dono do empreendimento, permitindo a sustentabilidade econômica do edifício. Neste estudo, encontramos soluções e técnicas que posteriormente adaptaremos em nosso projeto para atingir nossos objetivos de adaptabilidade.

Uma das soluções estudadas foi o uso de estruturas que permitem variações de arquibancadas e assentos que, aliadas ao uso de coberturas retráteis, permite a ocorrência de diferentes disposições de instalações esportivas, conforme as necessidades de cada atividade. Essa evolução na arquitetura esportiva ajudou a evitar arenas “Elefantes Brancos”, ou seja, estádios sem uma frequência de uso que justifique seu investimento e custos de operação. Criando arenas polivalentes, tem-se a possibilidade de receber concertos, shows musicais, atividades esportivas, exposições, campanhas, etc.

Um dos estádios flexíveis mais famosos é o Estádio Nacional de Cingapura (Figura 52). Inaugurado em 30 de junho de 2014, é o estádio com o maior teto retrátil do mundo em cúpula. Além disso, o que é inovador nesse estádio é a modularidade de arquibancadas e assentos, pois é possível alternar e configurar os assentos inferiores de acordo com o evento esportivo, ampliando

ou reduzindo o tamanho do campo.

As arquibancadas são divididas em módulos, específicos para o tipo evento realizado. Estes módulos são categorizados em “Football/Rugby mode”, “Cricket mode” e “Athletics mode”. A alteração dos módulos para modificar as arquibancadas pode levar até 48 horas. Para mudar do “modo atletismo” para o “modo futebol/rugby”, a camada de assentos mais baixa é movida 12,5 metros para frente, cobrindo a pista de atletismo abaixo dos assentos e, assim, aproximando os torcedores do campo para distâncias ideais de visualização.

Outro grande exemplo de modularidade e flexibilidade é a Palalozaki Arena em Turim, Itália. Ela foi projetada para ser uma arena coberta polivalente com capacidade para 12.350 assentos, quando seus assentos estão configurados para hóquei no gelo. É a maior arena coberta da Itália, capaz de abrigar vários eventos esportivos e outros eventos culturais e sociais.

A Palalozaki ou Pala Alpitour (Figura 53) - o nome foi alterado posteriormente em 8 de agosto de 2014) - tem uma capacidade máxima de 15.657 espectadores no modo em que o palco se apresenta no plano mais baixo e de 13.347 quando o palco eleva-se. Após os Jogos Olímpicos de inverno de 2006, o projeto pretendia se tornar uma fábrica de eventos, pois a flexibilidade e adaptabilidade de sua arquitetura, permitiram que a arena realizasse uma variedade de categorias de eventos. Isso só foi possível devido a um sistema contemporâneo de arquibancadas móveis e retráteis, assim como a possibilidade de um deck que pode ser elevado e abaixado.

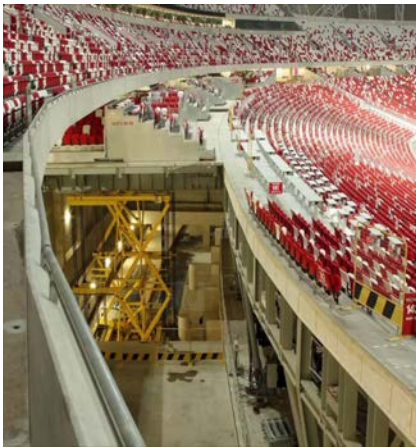


Figura 51. Singapore National Stadium



Figura 52. Singapore National Stadium



Figura 53. Pala Alpitour



**PROGRAMA**



## ESTUDOS DE CASO



SAP GARDEN - MUNIQUE

Um dos primeiros projetos a inspirar nossa abordagem foi o SAP Garden, em Munique, pela 3XN Architects (FIGURA 57). A relação óbvia que o projeto tinha com nosso contexto de parque nos ajudou a explorar como o programa de construção se relacionaria, no início, com seu contexto e, em seguida, também com a topografia.

No SAP Garden, a Arena multifuncional (para Hockey e Basquete) aproveita-se da topografia para criar entradas separadas, dividindo os fluxos de espectadores, jogadores e funcionários (FIGURA 58 E FIGURA 59). Esta divisão de entradas cria uma porção mais habitável da Arena, onde os espectadores e a comunidade podem desfrutar de um café e outros usos na vida cotidiana. Nos dias de jogo, os espectadores têm acesso direto aos dois níveis: as arquibancadas inferiores,



Figura 54. SAP Garden Multicomplex Arena by 3XN Architects. Source: 3XN Architects.



Figura 55. Topography work in SAP Garden. Source: 3XN Architects.

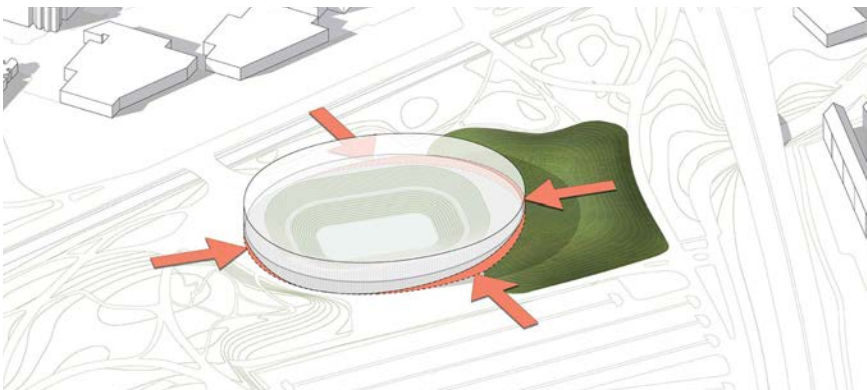


Figura 56. Flows division in SAP Garden. Source: 3XN Architects.

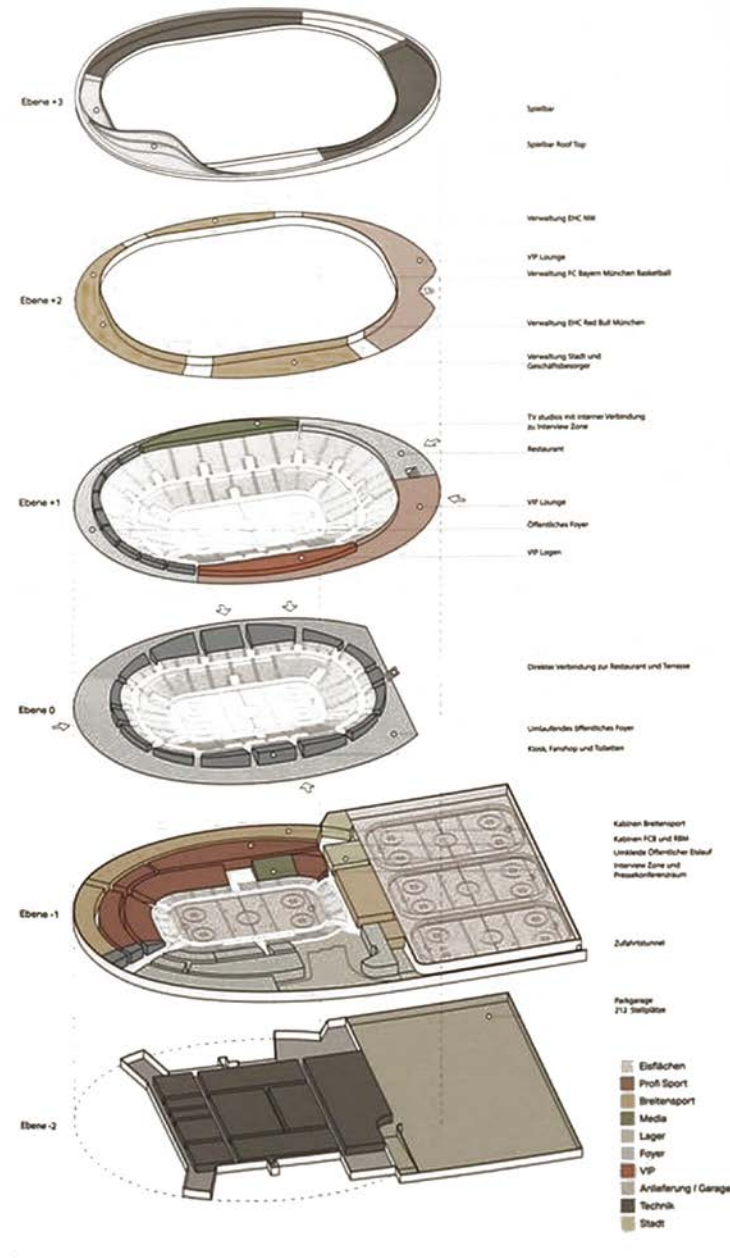


Figura 57. Functions arrangement diagram. Source: 3XN architects.

são niveladas com a rua; e as arquibancadas superiores são niveladas com a colina criada no parque.

Fruto de uma parceria entre partes privadas e públicas, o SAP Garden foi para ter ao menos 8.000 horas de uso por ano, o que só pode ser alcançado propondo um diálogo franco com a comunidade. Isto catalisará seu uso em dias sem eventos para atividades de clubes, escolas e o público.

O SAP Garden também foi considerado uma referência na distribuição do programa. Deixaram-se camarotes, restaurantes e zona de TV nos níveis superiores, deixando o uso público no andar térreo. Os rinks e espaço para equipamentos técnicos no nível subterrâneo foram também utilizados na proposta de Santa Giulia.



PALASPORT TORINO

O Palasport Torino é a Arena de Hóquei no Gelo construída para os Jogos Olímpicos de Inverno de 2006 em Turim (Figura 59). Foi projetada por Arata Isozaki e Arup e mostra algumas características programáticas interessantes reaproveitadas no processo de projeto da Arena em Santa Giulia.

A característica mais impressionante é certamente o conceito de flexibilidade de edifício. Para permitir as mais diversas configurações possíveis do campo, Isozaki projetou um sistema de plataformas elevatórias, arquibancadas deslocáveis e assentos telescópicos que possibilitam arranjos completamente diferentes. A Figura 58 mostra primeiro configuração para jogos de hóquei. Depois, vemos como os assentos telescópicos podem ser encartados para abrir espaço no nível do subsolo para esportes com quadras maiores. Então, o plano do campo pode ser elevado e nivelado com o piso térreo para receber eventos maiores. Finalmente, as arquibancadas podem ser deslocadas e abrir espaço para outros usos, como grandes conferências,



Figura 59. Palasport Torino. Fonte: Arup, 2007

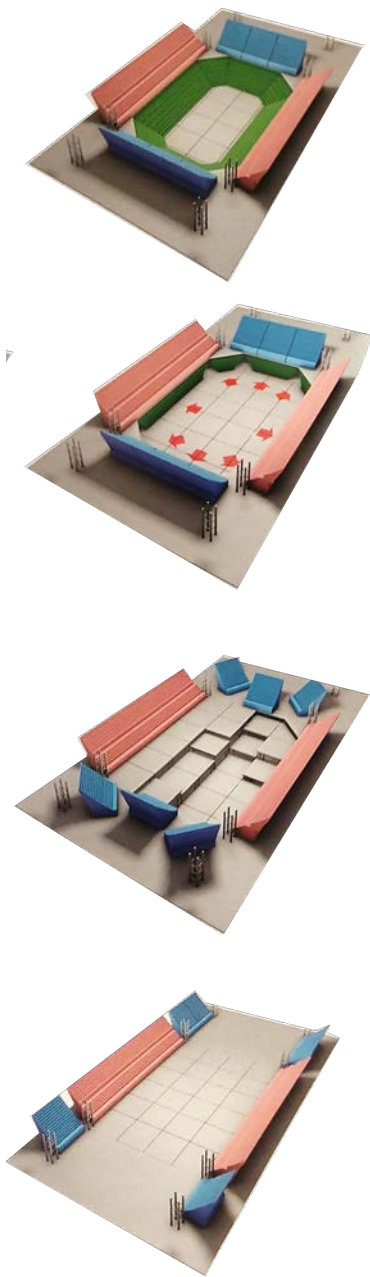


Figura 58. Diferentes configurações de arquibancadas e campos. Source: Arup, 2007

PROJETO EDEN



Figura 60. Eden project por Grimshaw Architects. Fonte: edenproject.com

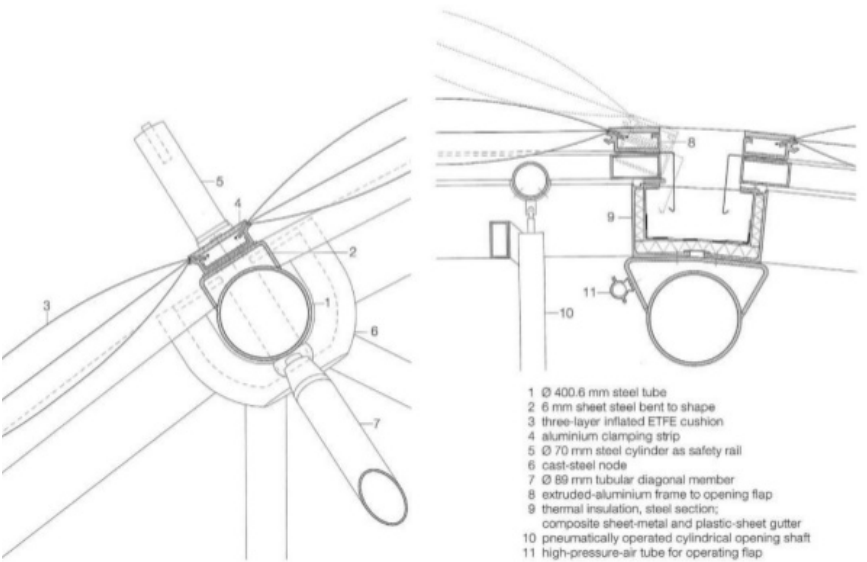


Figura 61. ETFE Cushion do Eden Project. Fonte: Kaltenbach, 2011

O Projeto Eden da Grimshaw Architects é um conjunto de coberturas em forma de bolha em Cornwall, Reino Unido (Figura 60). É uma cúpula geodésica de tripla camada de almofadas de ETFE que cobrem jardins inspirados no Mediterrâneo e no Bioma da Floresta Tropical.

A cúpula geodésica é incrivelmente leve sendo considerada no caso de Santa Giulia como uma forma de cobrir um grande vão com o mais leve material possível. A ideia da cúpula esteve muito presente desde o início dos nossos estudos para o pavilhão esportivo em Santa Giulia, como uma forma de permitir maior flexibilidade nas funções abaixo dele.



**PRIMEIRA TENTATIVA DO PROJETO**

Nossa primeira tentativa de projetar a arena de gelo para Santa Giulia (Figura 62) foi um laboratório de experimentação. Testaram-se alguns conceitos (uma tigela na cúpula), algumas abordagens de integração e flexibilidade, e aprendemos muito sobre a complexidade de fazer arquitetura do esporte. Com relação ao programa, o projeto estabeleceu a base técnica e também a intenção de fazer da arena um lugar para todos os dias, com muitos usos para a comunidade no entorno.

Tivemos alguns problemas básicos que funcionaram como aprendizado. Entre eles:

- As dificuldade de fazer uma cúpula completa, que estava fora de escala para o contexto de Santa Giulia;
- A abordagem “fachada dentro de uma fachada”, que era injustificável;
- O centro comercial subterrâneo, que exigia muito



Figura 62. Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.



Figura 63. Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.



Figura 64. Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.

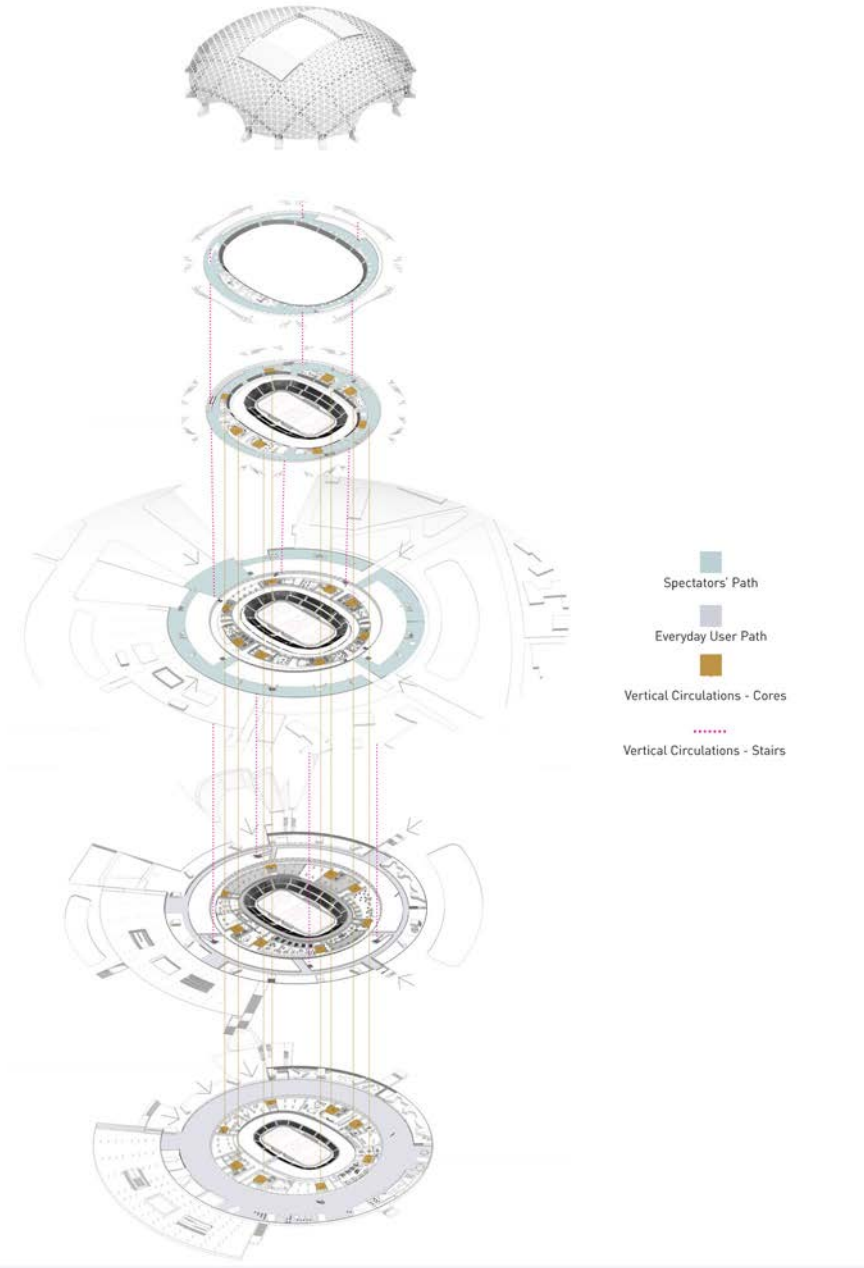


Figura 65. Primeira tentativa para a arena de Santa Giulia. Fonte: autores.

trabalho de terra;

- A abordagem insustentável, para manter o local aquecido;
- A posição da Arena na paisagem era crítica e precisávamos de mais estudos para conseguir o efeito de integração com o parque e a vizinhança, que pretendíamos.

Foi certamente uma grande experiência redesenhar o mesmo edifício para este trabalho com uma visão mais madura dos desafios que seriam enfrentados.





## PROGRAMA OLÍMPICO E TÉCNICO



# PROGRAMA OLÍMPICO E TÉCNICO

## O PLANO DOS JOGOS OLÍMPICOS DE INVERNO DE 2026

Os Jogos Olímpicos de Inverno de Milão-Cortina têm um programa distribuído em 4 cidades, que acolherão todas as competições esportivas: Cortina, Milão, Valtellina e Val di Fiemme. A Figura 66 mostra a distribuição das instalações esportivas em torno destas cidades. Abraçando a nova agenda olímpica de 2020, seu plano diretor tenta construir o mínimo possível de estruturas permanentes, tendo 93% dos locais de competição (13/14) já existentes ou temporários (Figura 67).

Milão, em um olhar mais atento, receberá apenas 3 esportes: hóquei no gelo 1 e 2, patinação artística, e patinação de velocidade de pista curta. Estes esportes serão distribuídos pela cidade em 3 locais: Milano Hockey Arena (PalaSharp), Assago Forum, e Palalitalia Santa Giulia. O Palalitalia Santa Giulia é o único novo local a ser construído em Milão, especificamente para receber os jogos de Hóquei no Gelo. Alinhada com as novas preocupações dos Jogos Olímpicos, esta nova Arena tem que deixar um forte legado para a cidade, e é por isso que é importante ser construída como uma Arena Multiúso e também ser utilizada em dias sem eventos esportivos.

Além do local dessa arena, somente a nova Vila olímpica de Milão será um local completamente novo. É importante saber que ambas as construções (Palalitalia Santa Giulia e a

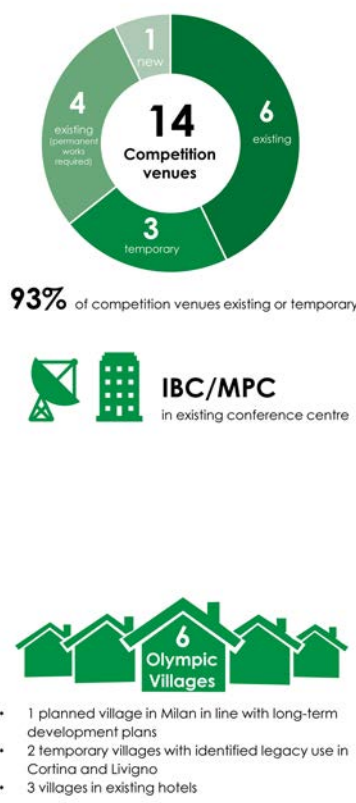


Figura 66. Distribuição dos tipos de instalações para as Milão 2026. Fonte: COI

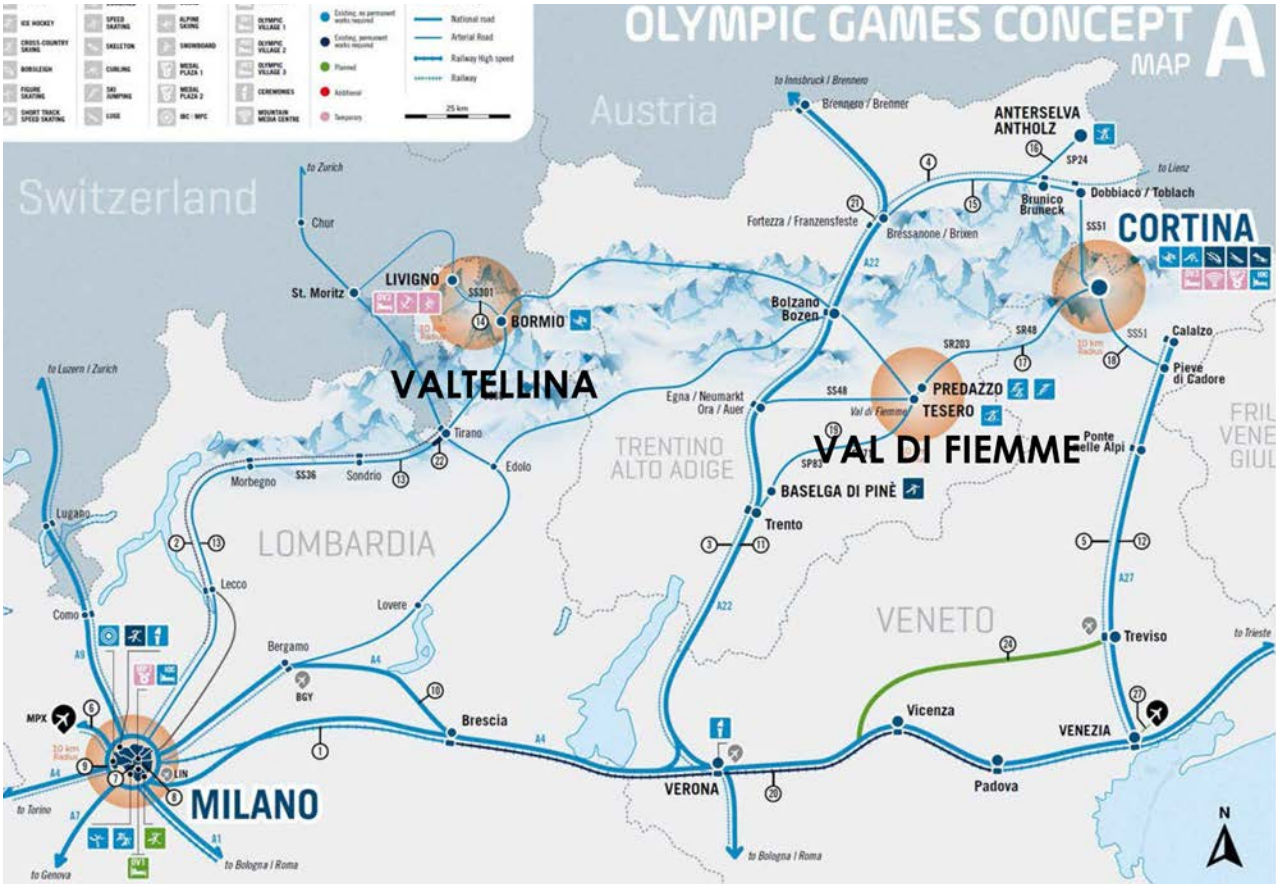


Figura 67. Distribuição de competição para as Milão-Cortina 2026. Fonte: COI

Vila olímpica) estão inseridas em um plano milanês maior, funcionando como catalisadores de regeneração urbana,

Como visto, o Palalitalia Santa Giulia está sendo desenvolvido em um grande plano executado por um desenvolvedor privado, que construirá um bairro completamente novo no bairro e planeja também ter serviços públicos como o Esporte.

É importante notar que algumas restrições ao Palalitalia foram propostas por este desenvolvedor privado. Como um trabalho de arquitetura independente, este projeto visa fornecer a

melhor proposta e isso significa não seguir exatamente todas as condições fornecidas pelo empreiteiro. É por isso que, por exemplo, a integração entre paisagem, vizinhança e Arena foi completamente redesenhada neste trabalho.

Também é necessário mencionar que a capacidade de público pretendido pela empreiteira é de 15.000 pessoas. Entretanto, o Comitê Olímpico Internacional (COI) menciona em suas diretrizes apenas 2 tipos de locais para competições de Hóquei no Gelo: um com 10 000 assentos (Hóquei no Gelo 1) e outro com 6000 assentos (Hóquei no Gelo 2). Como Milão já tinha outro local para o Hóquei no Gelo com mais de 10.000 lugares (PalaSharp), este trabalho não procurou atingir mais de 10 000 assentos. Essas metas também estão em consonância com a ideia de deixar um legado melhor para a cidade. Os esportes de pista de gelo não são tradicionais na Itália e fazer um grande espaço para esportes com pouca demanda seria irresponsável. É por isso que o foco do projeto proposto é proporcionar flexibilidade, adaptando o número de assentos de acordo com o esporte ou uso no local da Arena.

REQUISITOS PROGRAMÁTICOS PARA HÓQUEI NO GELO

O Comitê Olímpico Internacional (COI) estabelece algumas diretrizes e exigências na construção de novas instalações esportivas. Alguns princípios são recomendados para as todas as instalações olímpicas, de acordo com o Manual Técnico sobre Normas de Projeto de Instalações para Arenas de Competição (2005). Entre eles, os mais importantes dizem respeito a:

- Áreas das instalações (Figura 68)
- Frente das instalações (Figura 70)
- Fundo das instalações (Figura 69)
- Assentos e arquibancadas (Tabela 3)
- Interior das instalações (Figura 71)
- Segurança das instalações (Tabela 1)

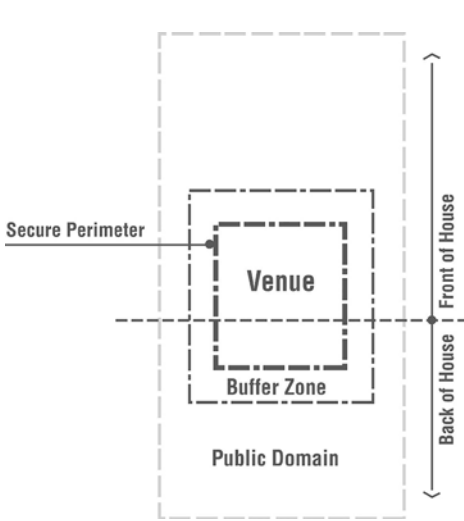


Figura 68. Área das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005

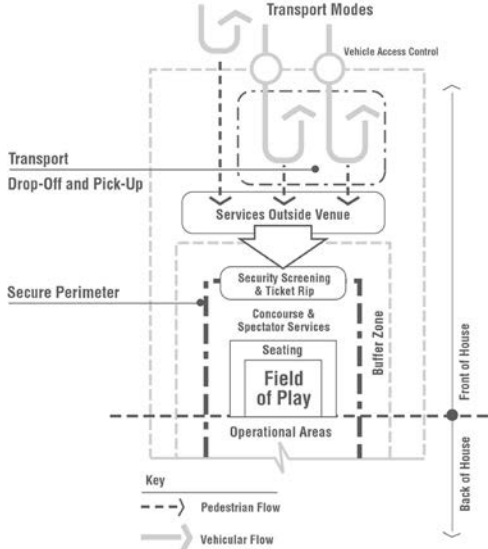


Figura 70. Frente das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005

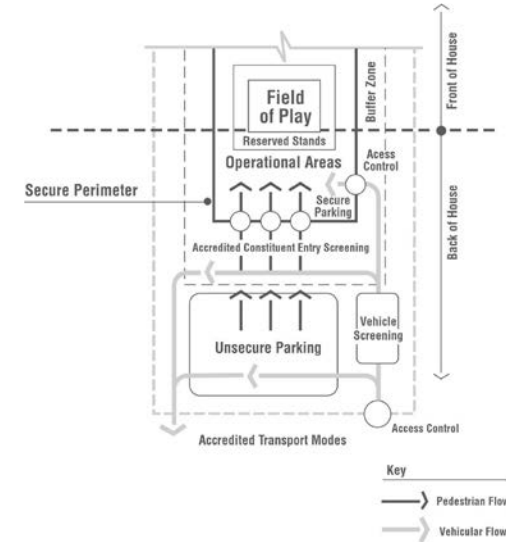


Figura 69. Fundo das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005

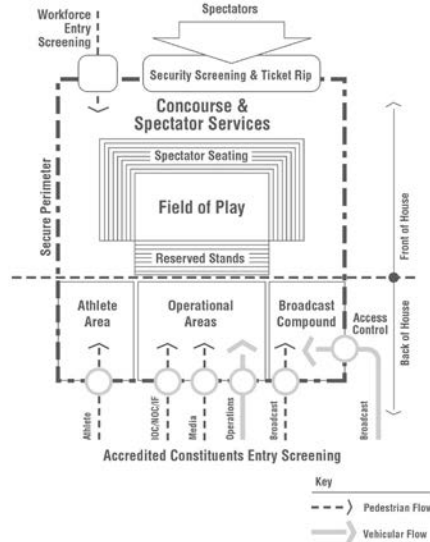


Figura 71. Interior das instalações. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005



|                           |   |
|---------------------------|---|
| Principles                |   |
| Evacuation /Escape System | • Venue designs that change the layout may, in some circumstances, increase the safety requirements and the need for additional public assembly areas.  |
|                           | • In the case of an emergency, a rapid evacuation and dispersal of spectators may be necessary; therefore both permanent and temporary venue designs should have organized evacuation routes that have been integrated into the venue design. |
|                           | • Plans for the existing facility should be considered along with the Olympic overlay that will be installed (e.g. tents, stands, trailers, fences).  |
|                           | • Evacuation plans for FOH (spectator areas) should be independent of the evacuation route used for BOH (Athletes, Olympic Family).   |
|                           | • Provisions should be developed for persons with accessibility needs (e.g. wheelchairs).   |
| Emergency Vehicle         | • Vehicular access for the ambulance and emergency vehicles should be planned with pedestrian flows and efficiency in mind.   |
| Access and Parking        | • Parking should be close to spectator areas and FOP with designated routes out of the venue.<br>• Helicopter landing pad and/or area may be necessary for certain venues.  |
| Audio capability          | • A public address system should be in place and available to communicate messages to all constituent groups if an emergency arises.  |
| Lighting                  | • A suitable level of lighting for required spaces and corridors or pathways.   |
|                           | • Sufficient backup emergency lighting for spaces/corridors/ pathways.  |
| Fire Safety               | • An automatic alarm system should be installed in the facility.  |
|                           | • Fire extinguishing systems (portable and fixed) should be installed and distributed throughout the venue.   |
|                           | • Appropriate signage identifying safety equipment should be posted throughout the facility.  |
| Lightning Strikes         | • Design measures should take into consideration the risk of a potential direct or indirect lightning strike and proper precautionary steps should be incorporated into the venue and overlay.  |

Tabela 1. Princípios de segurança. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005.

Além destes princípios gerais, o Manual Técnico do COI estabelece alguns padrões de espaço necessários nos locais de Hóquei no Gelo para os espectadores, jogadores, comitês e trabalhadores. A tabela 3 resume estes espaços. É importante notar que o projeto para Santa Giulia considerou estas referências, mas também incluiu novas características programáticas, antecipando usos futuros após as Olimpíadas.

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Seating and standing areas Principles |  |
| Minimum width                         | • 46 centimetres (18 inches).  |
| Minimum depth                         | • USA - 61 centimetres (24 inches); not generally recommended.<br>• Europe - 80 centimetres (31.5 inches); recommended minimum.<br>Note: Temporary seating systems are usually 75 centimetres (29.5 inches) in depth and are generally accepted for use by local agencies. |

Tabela 3. Princípio para área de arquibancadas de Hóquei de Gelo. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005

|   |                 |
|---|-----------------|
| Olympic Games<br>Technical Manual on Venues -<br>Design Standards for Competition<br>ICE HOCKEY 2 |                 |
| Space   | Gross Area - m² |
| Accreditation   | 164,00          |
| Broadcast   | 3953,00         |
| Catering  | 1020,00         |
| Ceremonies  | 137,00          |
| Cleaning and Waste  | 420,00          |
| Doping Control  | 208,00          |
| Event Services  | 194,00          |
| Finance   | 72,00           |
| Language Services   | 28,00           |
| Logistics   | 1355,00         |
| Medical Services  | 313,00          |
| Merchandise   | 70,00           |
| Olympic Family Services   | 560,00          |
| Press Operations  | 1080,00         |
| Security  | 1849,00         |
| Sponsor Services  | 2575,00         |
| International Federation  | 615,00          |
| Sport Presentation  | 100,00          |
| Technology Operations   | 122,00          |
| Information Technology  | 60,00           |
| Telecommunication & Audio Visual  | 198,00          |
| Timing, Scoring and Results Operations  | 116,00          |
| Technology Storage  | 110,00          |
| Ticketing   | 100,00          |
| Transport   | 1930,00         |
| Venue Development   | 680,00          |
| Venue Management  | 900,00          |
| Total   | 20326,00        |

Tabela 2. Requisitos de espaço para instalações de Hóquei de Gelo 2. Fonte: IOC Technical Manual on Design Standards for Competition venues, 2005

RECOMENDAÇÕES DO PROGRAMA DA IIHF

ATIVIDADES E SERVIÇOS

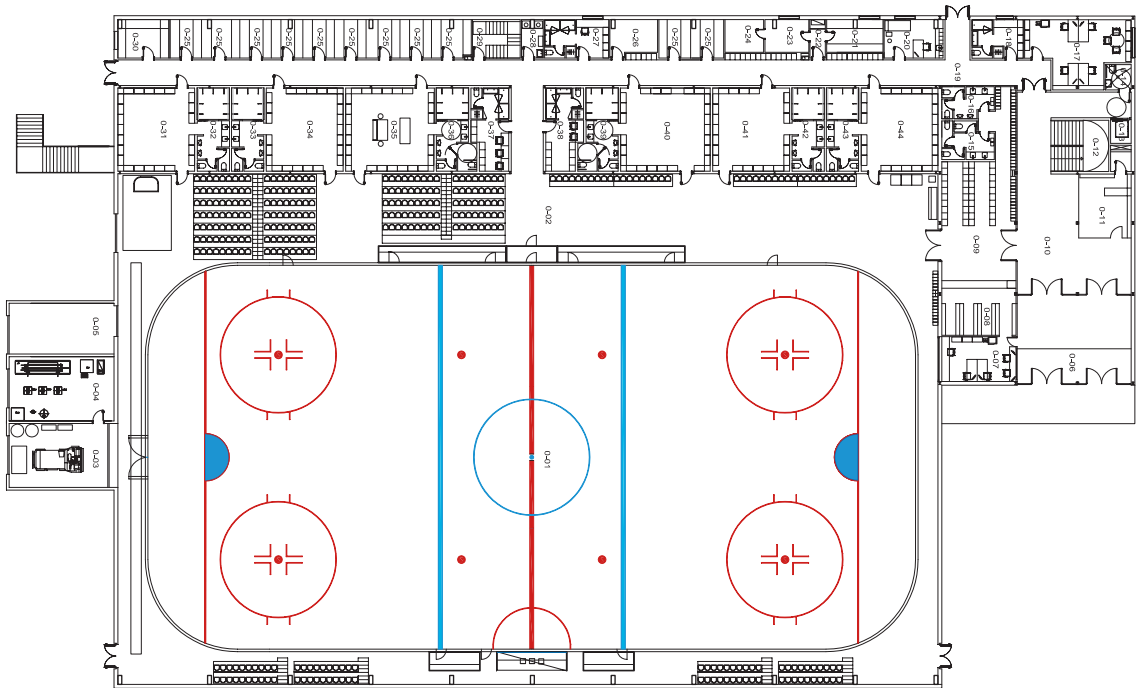
A IIHF (Federação Internacional de Hóquei no Gelo) estabelece alguns princípios programáticos básicos a serem seguidos na construção de uma instalação de Hóquei no Gelo. Há também uma ênfase no interesse que uma comunidade deve ter no local da pista de gelo para torná-lo financeiramente sustentável ao longo do tempo, É por isso que a IIHF estabelece que qualquer pista de gelo deve ser construída sob uma abordagem “Esporte para Todos”, promovendo a saúde e o desenvolvimento sociocultural de uma comunidade. Há uma necessidade latente de usos durante todo o ano, tornando os locais adequados para outros usos em meses sem gelo. Durante as estações do gelo, a administração da instalação deve fazer parcerias com a comunidade, clubes e escolas, para manter as atividades em uma base de 18h/dia.

É importante, portanto, programas para jovens e adultos, bem como misturar hockey com outros esportes de patinação, como patinação artística, patinação de velocidade de pista curta e curling. Para atingir os jovens e fornecer uma perspectiva de médio e longo prazo aos usuários, é importante definir programas “Aprenda a patinar” e “aprenda a jogar hóquei”, o que permitirá a criação de uma comunidade de usuários no futuro.

Sessões públicas de patinação, ou seja, o uso do público para patinar pagando uma taxa, também é recomendável para introduzir novas pessoas aos esportes do gelo e a manter a programação de uma instalação de gelo cheia.

PROGRAMA NECESSÁRIO PARA AS PISTAS DE GELO

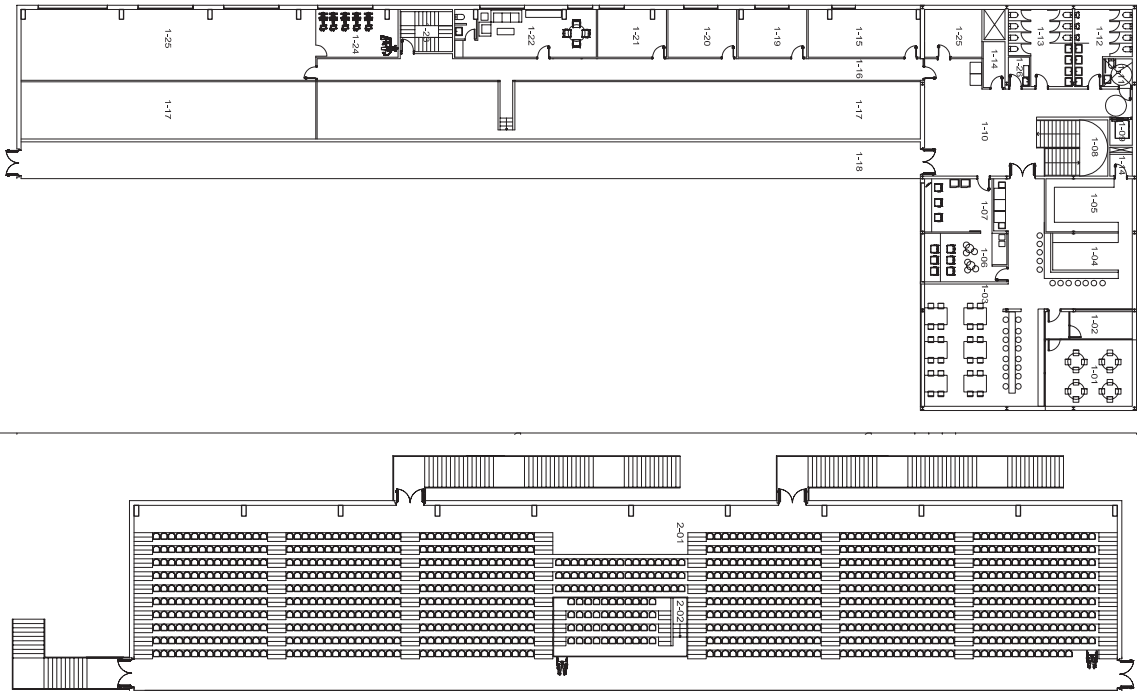
O IIHF fornece um guia de pista de gelo estabelecendo os requisitos técnicos e espaciais para construir uma pista de gelo economicamente



| Rooms        |  | m2       |        |  |        |
|--------------|--|----------|--------|--|--------|
| Ground floor |  | 3.959.75 | O - 25 | Drying rooms (11 un)                     | 102.55 |
| O - 01       | Ice pad                                | 1.791.50 | O - 26 | Figure skating storage room              | 12.85  |
| O - 02       | Main hall                              | 795.80   | O - 27 | Figure skating coaches room              | 17.60  |
| O - 03       | Ice resurfer                           | 47.00    | O - 28 | Laundry & cleaning room                  | 6.20   |
| O - 04       | Mechanical room (compressors)          | 45.50    | O - 29 | Inner stairs                             | 13.55  |
| O - 05       | Storage ( goals and short track)       | 36.30    | O - 30 | Ice hockey equipment room                | 15.05  |
| O - 06       | Entrance                               | 64.80    | O - 31 | Dressing room hockey 1                   | 43.50  |
| O - 07       | Ticketing, arena office & control area | 23.60    | O - 32 | Showers & lavatory hockey 1              | 19.30  |
| O - 08       | Rental skates counter                  | 26.90    | O - 33 | Showers & lavatory hockey 2              | 19.30  |
| O - 09       | Public skating dressing room           | 71.00    | O - 34 | Dressing room hockey 2                   | 42.00  |
| O - 10       | Lobby                                  | 95.00    | O - 35 | Dressing room hockey home team           | 48.45  |
| O - 11       | Shop                                   | 26.60    | O - 36 | Showers & lavatory hockey home team      | 20.90  |
| O - 12       | Stairs                                 | 20.20    | O - 37 | Dressing room referees                   | 20.80  |
| O - 13       | Lift                                   | 4.10     | O - 38 | Dressing room hockey coaches             | 20.80  |
| O - 14       | Lavatory (disabled)                    | 5.60     | O - 39 | Showers & lavatory hockey visitor team   | 20.95  |
| O - 15       | Public skating lavatory female         | 13.00    | O - 40 | Dressing room hockey visitor team        | 49.00  |
| O - 16       | Public skating lavatory male           | 10.80    | O - 41 | Dressing room figure skating male        | 42.10  |
| O - 17       | Club office                            | 40.60    | O - 42 | Showers & lavatory figure skating male   | 19.30  |
| O - 18       | Staff locker room                      | 14.70    | O - 43 | Showers & lavatory figure skating female | 19.30  |
| O - 19       | Corridor                               | 171.65   | O - 44 | Dressing room female figure skating      | 42.30  |
| O - 20       | Medical/ first aid room                | 16.35    |        |  |        |
| O - 21       | Skates and maintenance room            | 15.90    |        |  |        |
| O - 22       | Electrical control room                | 4.15     |        |  |        |
| O - 23       | Fire extinguish room                   | 12.10    |        |  |        |
| O - 24       | Plumbing room                          | 10.80    |        |  |        |

Figura 72. Requisitos básicos do IIHF para um rink de gelo, térreo. Fonte: IIHF Ice rink guide, 2018





| Rooms       |                                      | m2       |
|-------------|--------------------------------------|----------|
| First floor |                                      | 1,239.05 |
| 1- 01       | Terrace                              | 36.95    |
| 1- 02       | Smoking area                         | 9.30     |
| 1- 03       | Restaurant                           | 92.65    |
| 1- 04       | Café                                 | 48.10    |
| 1- 05       | Kitchen                              | 30.95    |
| 1- 06       | Vip box                              | 23.05    |
| 1- 07       | Game supervisor & timing box         | 20.55    |
| 1- 08       | Stairs                               | 20.20    |
| 1- 09       | Lift                                 | 4.40     |
| 1-10        | Spectators lobby                     | 76.30    |
| 1-11        | Lavatory (disabled)                  | 5.60     |
| 1-12        | Spectators lavatory male             | 21.20    |
| 1-13        | Spectators lavatory female           | 24.40    |
| 1-14        | Restaurant storage                   | 5.50     |
| 1-15        | Team meeting room                    | 30.45    |
| 1-16        | Corridor                             | 70.95    |
| 1-17        | Under seats zone (height minus 2,50) | 279.15   |
| 1-18        | Spectators passage                   | 168.35   |
| 1-19        | Figure skating office                | 19.00    |
| 1- 20       | Short track office                   | 19.00    |
| 1- 21       | Ice hockey office                    | 19.00    |

|              |                               |        |
|--------------|-------------------------------|--------|
| 1- 22        | Vip reception & catering room | 39.40  |
| 1- 23        | Inner stairs                  | 12.05  |
| 1- 24        | Gym                           | 22.90  |
| 1- 25        | Warm-up & stretching zone     | 114.00 |
| 1- 25        | Mechanical room (air)         | 21.30  |
| 1- 26        | Cleaning room                 | 4.35   |
| Second floor |                               | 749.94 |
| 2 - 01       | Emergency exit zone           | 147.40 |
| 2 - 02       | Spectators zone               | 602.54 |

Figura 73. Requisitos básicos do IIHF para um rinkue de gelo, primeiro andar. Fonte: IIHF Ice rink guide, 2018

THE CONSTRUCTION, PLANT SYSTEM AND OPERATION  
DEFINE ENERGY CONSUMPTION OF AN ICE RINK

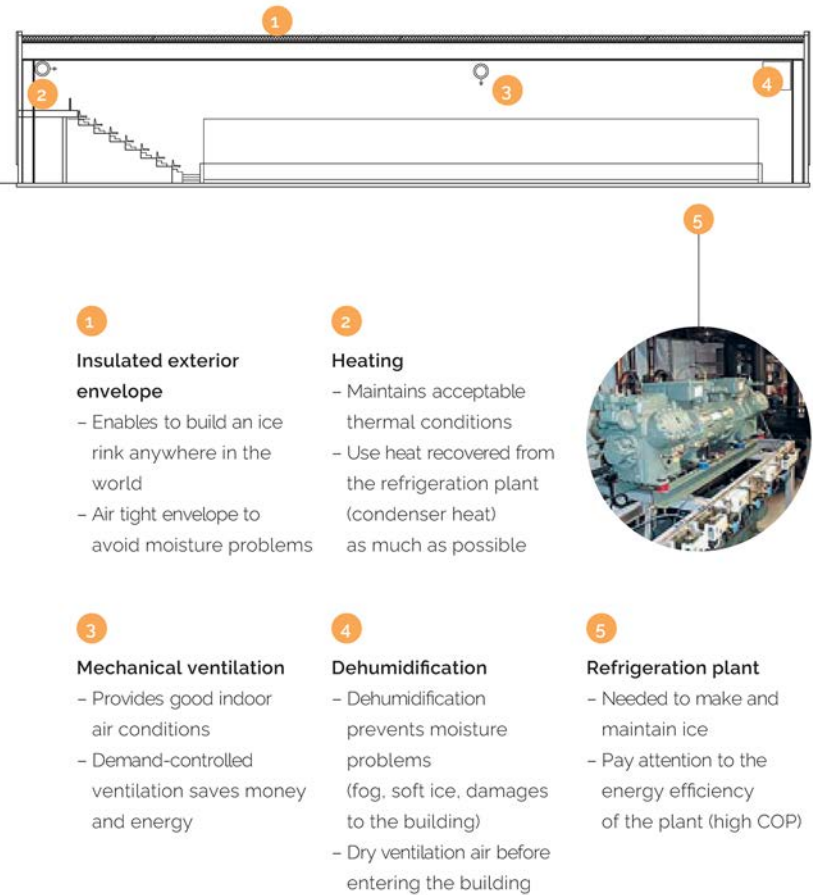


Figura 74. Requisitos básicos técnicos do IIHF para um rinkue de gelo. Fonte: IIHF Ice rink guide, 2018

sustentável. Embora utilizando um exemplo em pequena escala, o guia da IIHF fornece boas diretrizes para o programa de uma pista de gelo e mostra necessidades técnicas básicas que a construção de uma pista de gelo exige. As descrições espaciais apresentadas na Figura 72 e Figura 73 foram utilizadas como referência para a distribuição espacial do projeto em Santa Giulia. As Figura 72 e Figura 73 também exemplificam um projeto básico para uma pista de gelo de pequenas dimensões, mas definiram uma organização importante que foi ponto de partida para a proposta deste trabalho.

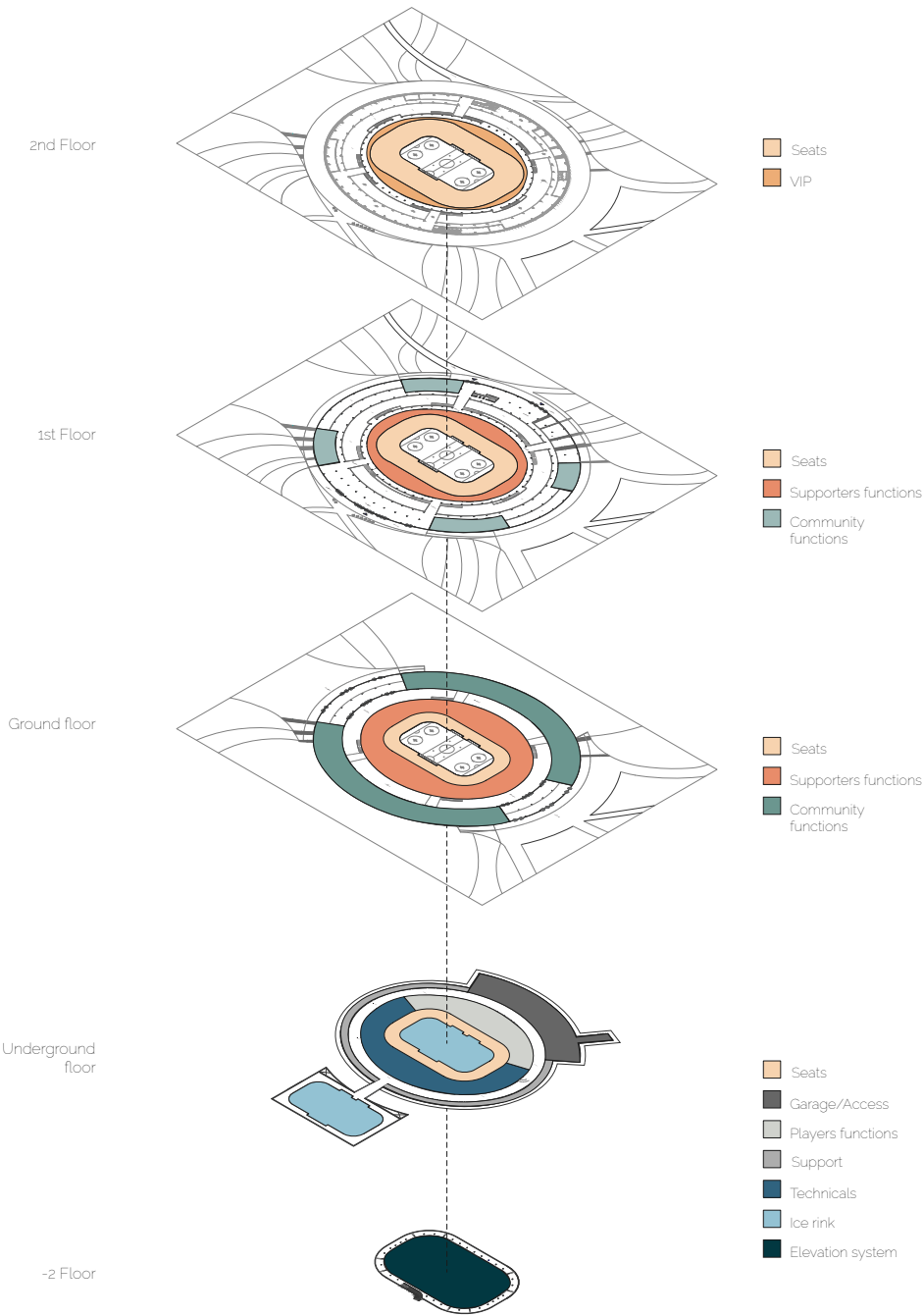
Finalmente, alguns aspectos técnicos também são influentes nas caracterizações do programa do edifício. A Figura 74 representa esquematicamente estas necessidades básicas.

# PROGRAMA

## DISTRIBUIÇÃO DO PROGRAMA PELO EDIFÍCIO

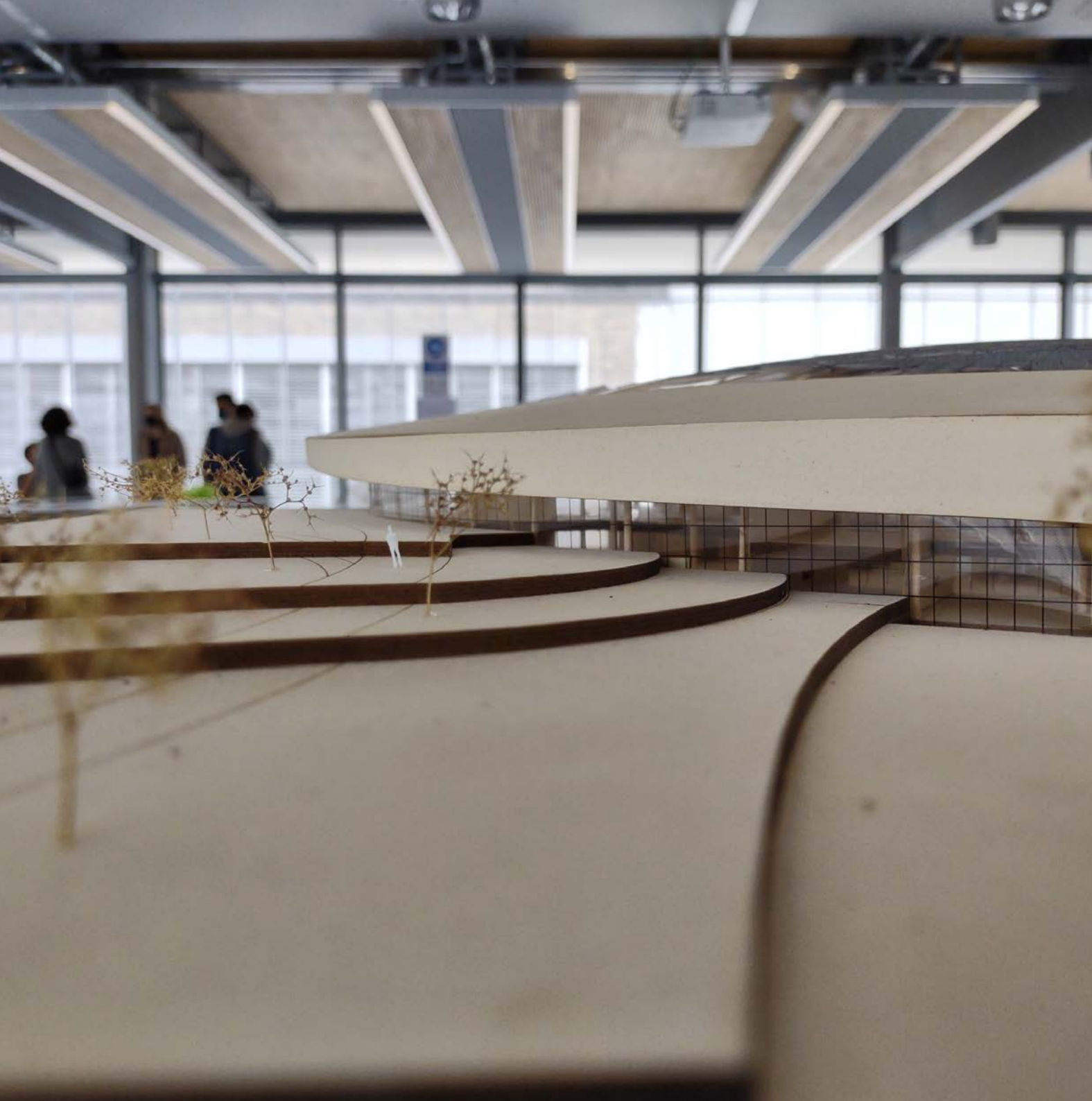
Após analisar as referências arquitetônicas e as restrições técnicas, a distribuição das funções ao redor do edifício segue alguns princípios básicos: dividir os fluxos de pessoas, “esconder” as partes técnicas, dividir o uso cotidiano do uso de dias de eventos. É por isso que, em geral, foram localizados nos andares subterrâneo e -2 todos os equipamentos técnicos, enquanto encontramos no andar térreo os usos para a comunidade e espectadores, e o último andar é dedicado às áreas VIP.

Figura 75. Distribuição do programa do edifício. Fonte: autor.





**PROJETO**



## PROPOSTA DO PLANO DIRETOR

*Figura 76. Maquete. Elaboração: Lara,  
Martins, Nassar, 2021.*



# PROPOSTA DO PLANO DIRETOR

## INTERVENÇÃO E ESTRATÉGIA DE PROJETO

Após a análise do plano diretor proposto pela Risanamento SPA e Foster & Partners, conseguimos entender melhor o terreno e destacar os pontos críticos que deveríamos enfrentar para projetar um plano diretor coerente e funcional.

Concentramos esforços na promoção de espaços verdes, especialmente considerando as diretrizes do PGT de Milão e da Visão para 2030 de tornar Santa Giulia um ponto focal de uma rede de sistemas verdes da cidade.

Na abordagem do plano diretor proposto, procedemos conforme a parte do projeto já existente, ampliando o Boulevard que liga a estação Rogoredo ao sítio, e alcançando um bolsão que forma a praça principal conectada à arena. O próprio eixo conecta diferentes caminhos que permitem uma circulação dinâmica, ligando o parque esportivo ao ar livre, a área de encontro ao ar livre, e a rua comercial projetada. As áreas do zoneamento feito são conectadas através de caminhos principais e menores, permitindo relação direta com o restante, enquanto cada uma preserva suas próprias formas composicionais.

O parque onde a arena foi instalada foi projetado para definir uma forma geométrica trapezoidal munida de diferentes instalações esportivas e de exercício ao ar livre, permitindo uma relação contínua com a instalação esportiva. Além disso, a arena é coberta nas laterais com colinas verdes, trazendo elevação para um terreno plano e para trazer a visibilidade do todo aos usuários do parque.

Figura 77. Terreno existente: Nassar, 2021.



Extensão do Boulevard da atual área construída de Santa Giulia, conectando-a com os edifícios residenciais já construídos e com a estação Rogoredo FS.



Respeito da vizinhança circundante e morfologia de quadras abertas do bairro. Essa estratégia permite melhor continuidade do plano diretor com o bairro residencial no entorno.

Figura 78. Lógica do plano diretor proposto. Elaboração: Nassar, 2021.



Parque geométrico definido em forma trapezoidal, onde será incluída a arena esportiva e uma área verde com instalações para recreação, propondo conectividade e relação constante entre elas.

Rua comercial, atuando como um ponto de ligação entre as diferentes áreas do zoneamento. Ela tem dimensões para suportar o fluxo de pessoas da área residencial, bem como da área esportiva e comercial. É uma área de lazer e funcional para o plano diretor, atuando como uma zona de encontro entre as outras áreas do plano.

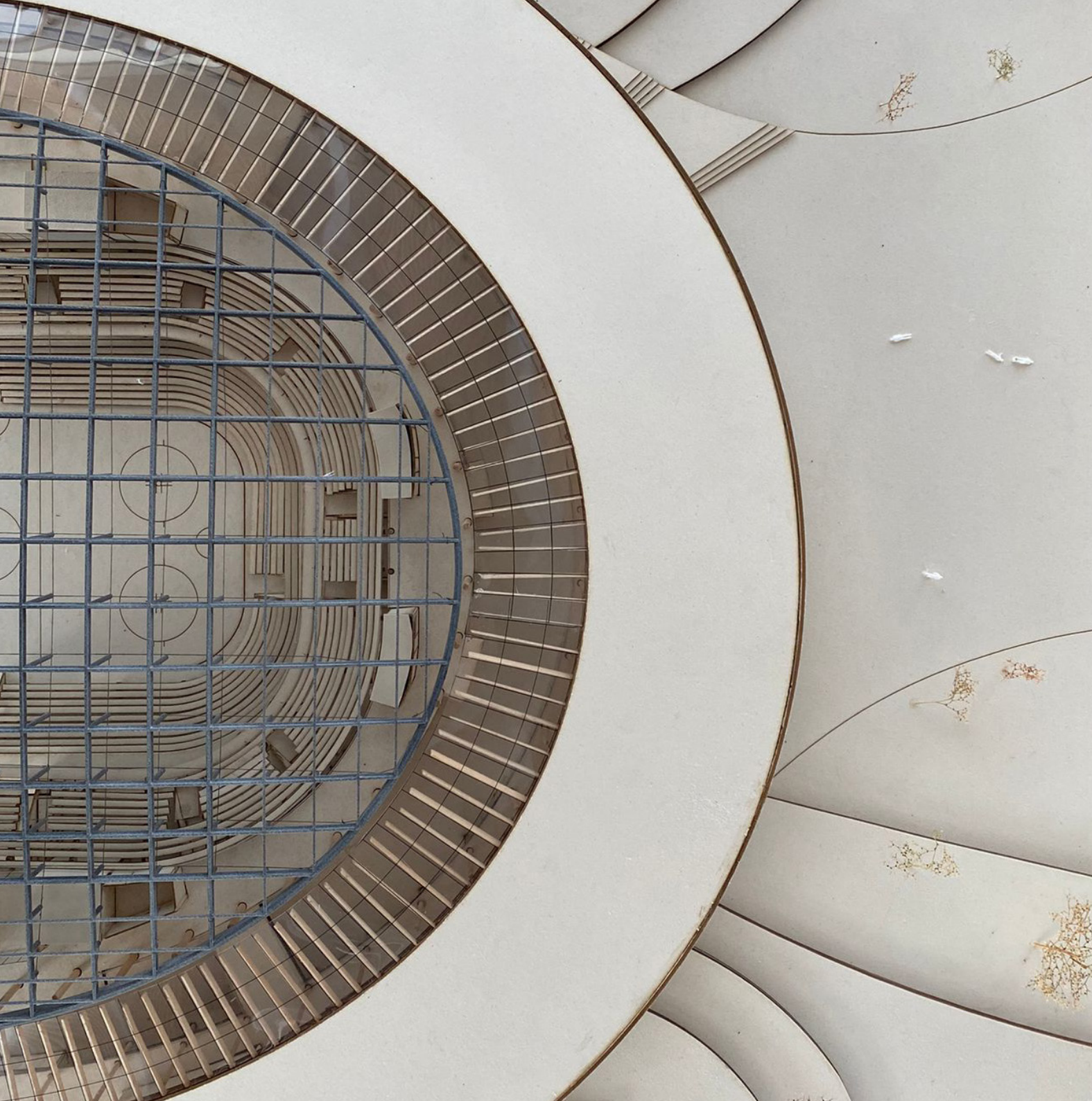




Figura 79. Plano diretor da proposta.  
Elaboração: Nassar, 2021.







## CONCEITO

*Figura 80. Maquete. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.*



## ESPAÇOS ABERTOS E INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA

O conceito do edifício baseia-se em uma forte relação com o contexto e os possíveis diálogos que podemos estabelecer com ele.

O primeiro passo do processo do conceito foi baseado em uma característica comum de importantes parques milaneses: o apelo por altura. Como no Monte Stella, Parco del Portello e Parco Lambro, a proposta de uma colina se relaciona com o aspecto simbólico de nosso projeto, onde a altura em uma cidade plana como Milão traz relevância no contexto. Além disso, a altura dos parques é uma expressão poética da memória do pré-existente – os parques citados utilizaram destroços da Segunda Guerra Mundial ou de antigas instalações para ganhar altura. No nosso caso, a altura simboliza reutilizar os remanescentes dos terrenos fabris ali antes instalados como memória industrial de Santa Giulia.

O segundo passo consistiu em um diálogo franco com o contexto existente. Aproveitando a alameda existente em Santa Giulia, que apresenta boas qualidades arquitetônicas e conecta o lugar com a Estação Rogoredo, prolonga-se o eixo e cruza-se a colina, criando a oportunidade de inserir a Arena.

O terceiro passo consiste em entender como podemos modelar a paisagem para criar a inserção da Arena. A inserção da Arena intrínseca

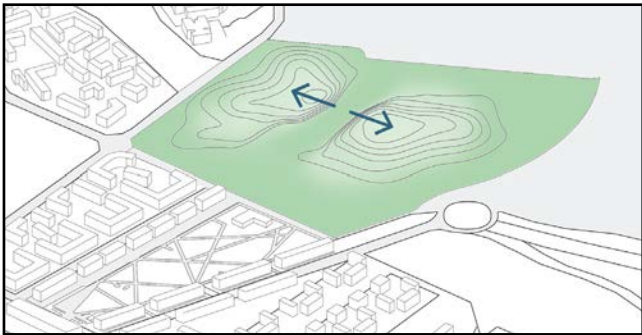
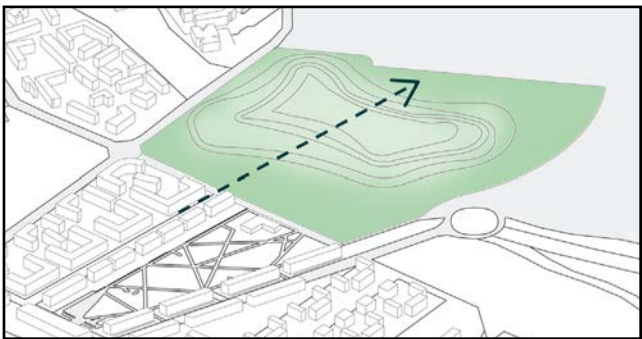
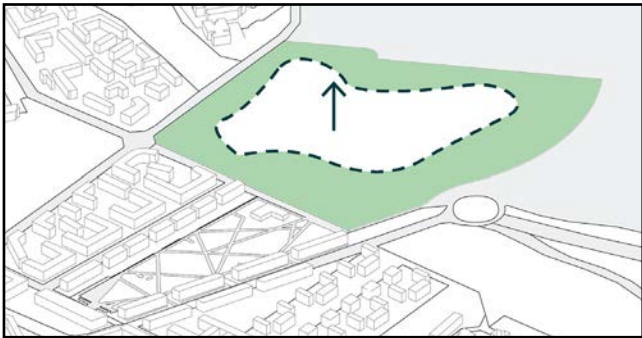


Figura 81. Diagrama de conceito – Paisagem. Fonte: autor.

## CHEIOS E VAZIOS

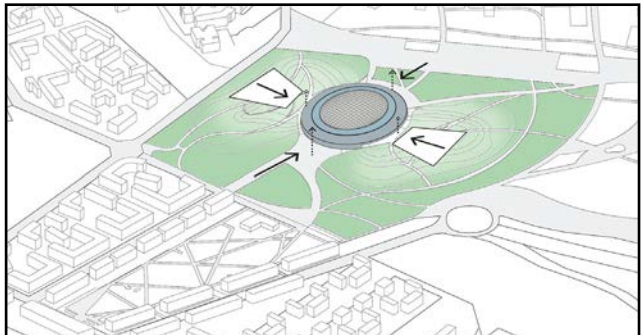
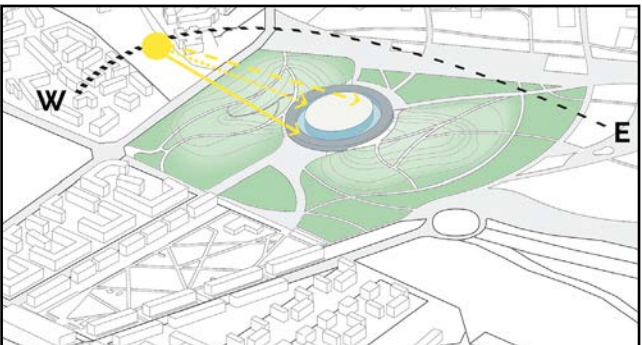
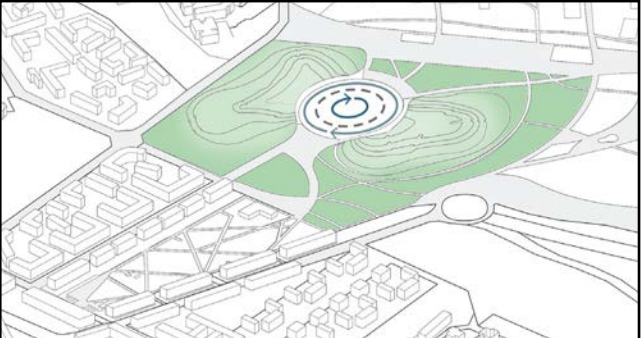


Figura 82. Diagrama de conceito – edifício. Fonte: autor.

à colina propõe um diálogo direto com a paisagem e uma continuidade da colina com a entrada do edifício.

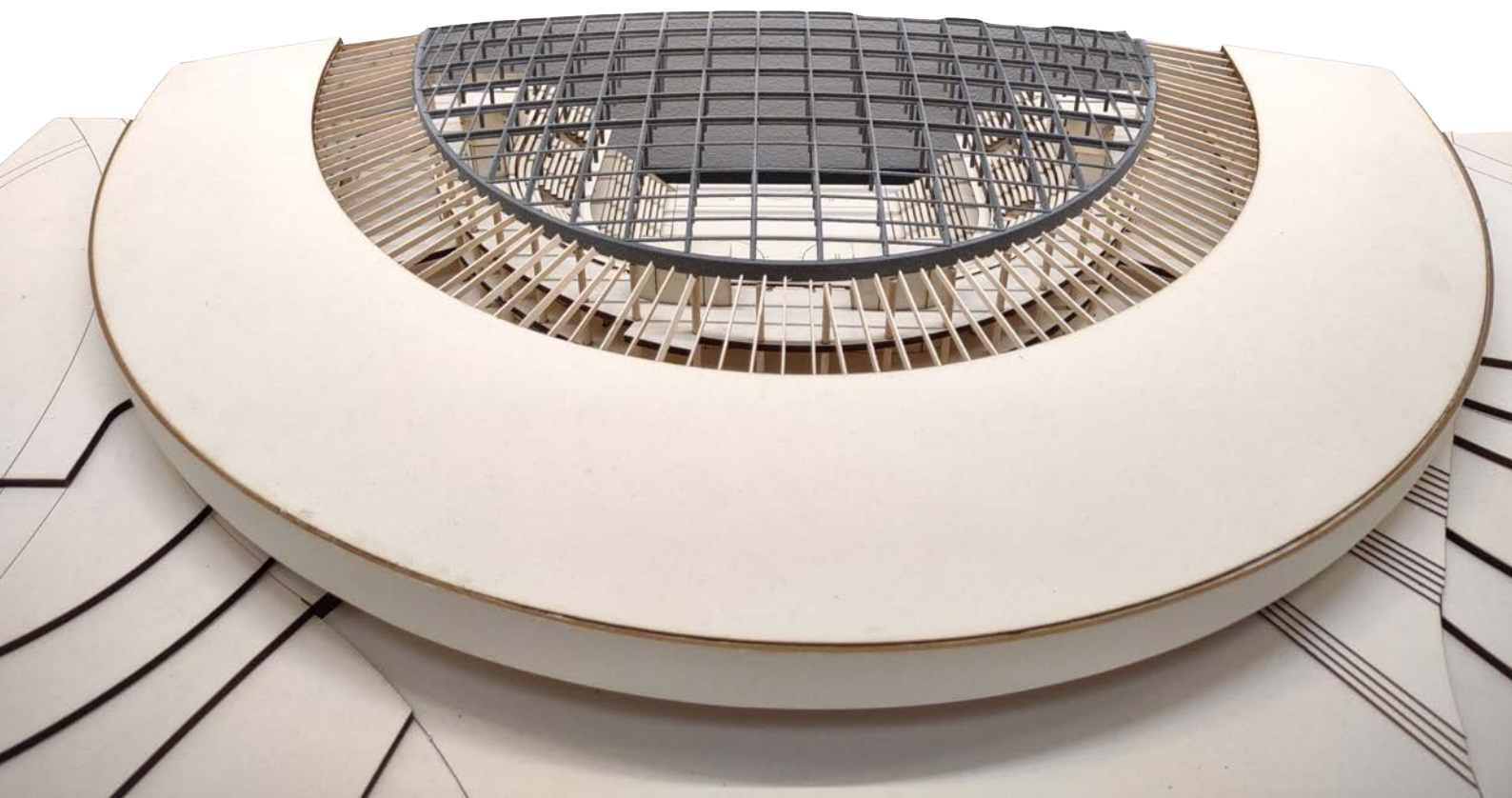
O quarto passo foi criar volumes a partir de elipses concêntricas, tomando como referência a relação entre cheios e vazios em edifícios relevantes em Milão, como a Rotonda Della Besana e Lazzaretto, cujo espaço é uma construção central, cercada por anéis de vazio e uma construção de perímetro. Com isso, definimos nosso edifício como a construção principal (o recinto esportivo), cercado por um vazio (a galeria) e uma construção de perímetro (o anel exterior). A ideia de uma galeria retoma exemplos conhecidos da arquitetura milanesa, como a Galleria Vittorio Emanuele.

O quinto passo foi cobrir esses volumes. Para isso, utilizamos 3 tipos de cobertura com diferentes tipos de penetração solar: a cobertura em almofadas de ETFE para a Arena, a cobertura em sanduíches de fibra de vidro reforçada (FRP) para a galeria e a cobertura opaca para o anel exterior. Estas diferentes coberturas permitirão variações na penetração da luz solar de acordo com o uso que temos abaixo.

Finalmente, é preciso fazer aberturas na fachada para criar a entrada. Isso é feito por um movimento orgânico suave que segue a inclinação da colina e oferece as entradas no eixo oeste-leste, e sombreamento no eixo sul-norte.



## PERSPECTIVAS



*Figura 83. Maquete. Elaboração: Lara,  
Martins, Nassar, 2021.*



## CORTE TRANSVERSAL

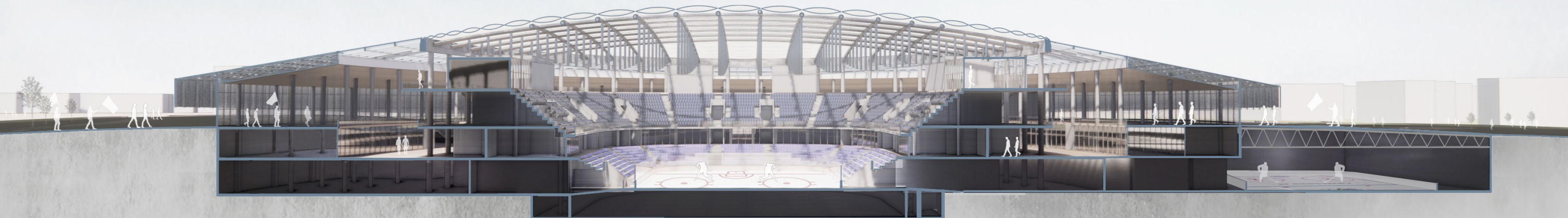


Figura 84. Corte transversal. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.



## CORTE LONGITUDINAL

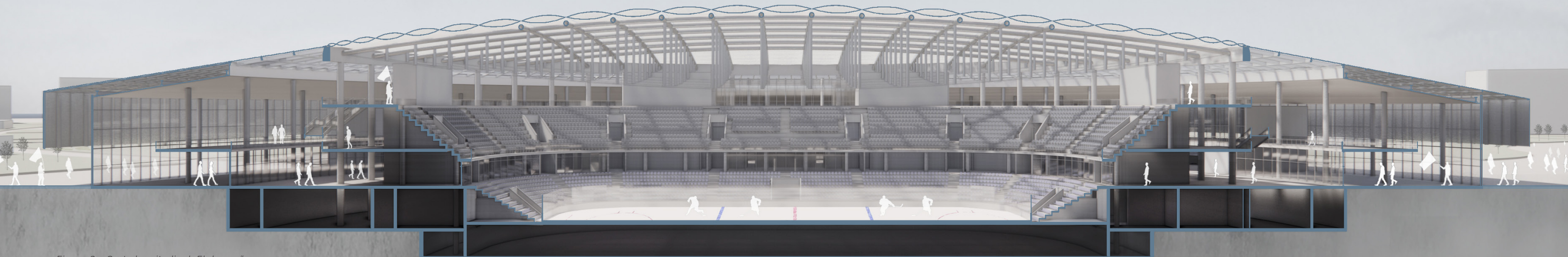


Figura 85. Corte longitudinal. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.

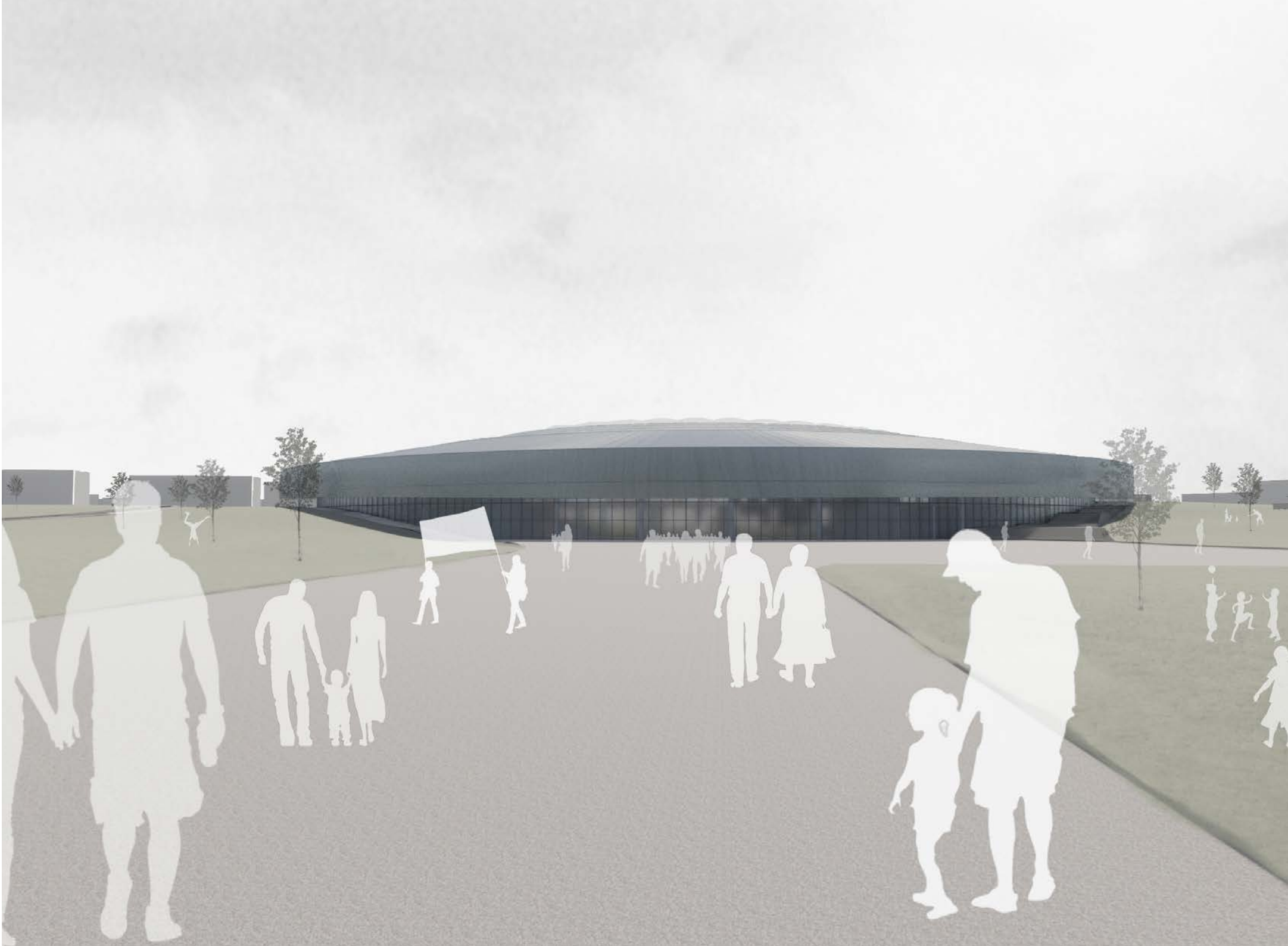


# A JORNADA

## ONDE A EXPERIÊNCIA COMEÇA

Como mencionado anteriormente, nosso projeto está ligado a um Boulevard já existente em Santa Giulia, e esta perspectiva mostra a extensão dessa avenida no projeto, formando o principal eixo de circulação para as pessoas, e criando um caminho que passa pelos edifícios residenciais existentes com lojas no térreo, pelo parque e pela arena. A cobertura da arena se destaca na paisagem, pois parece flutuar sobre a paisagem e a cortina de vidro, como se houvesse apenas pousado sobre a cena. Como o vidro é translúcido e não permite uma conclusão do que acontece no edifício à primeira vista, um visitante de primeira viagem é instigado a entrar no edifício pela curiosidade.

Figura 86. Perspectiva sul. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.





## A PRAÇA

Aproximando-se do estádio, uma ampla praça recebe os torcedores nos dias de jogo, e a comunidade nos outros dias. Um local de agregação para todos os usos da arena e do parque.



Figura 87. Perspectiva norte. Elaboração: Lara,  
Martins, Nassar, 2021.





Figura 88. Perspectiva interior. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.





Figura 89. Perspectiva para o rinque.  
Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.

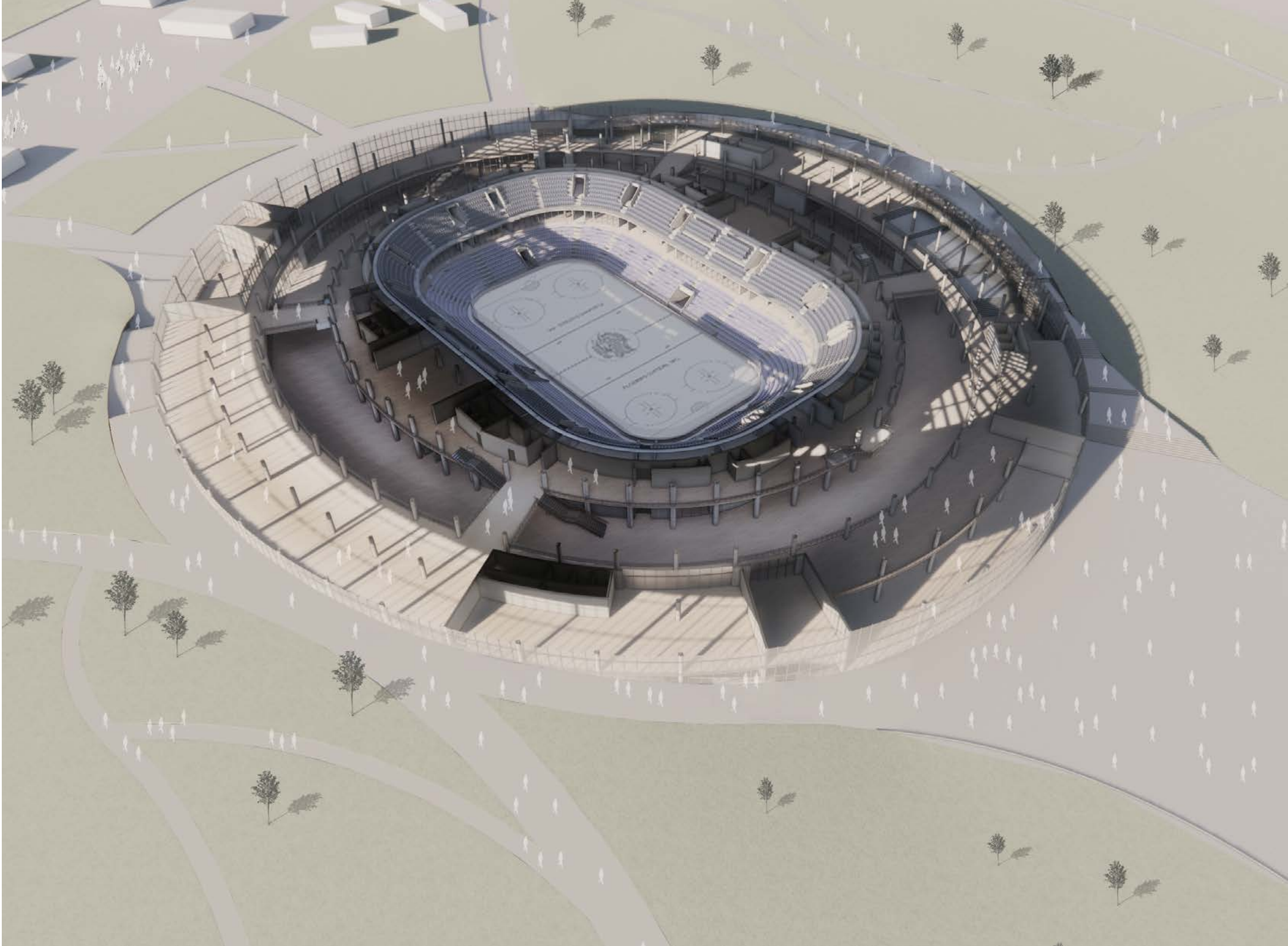


# EXPERIÊNCIA GERAL

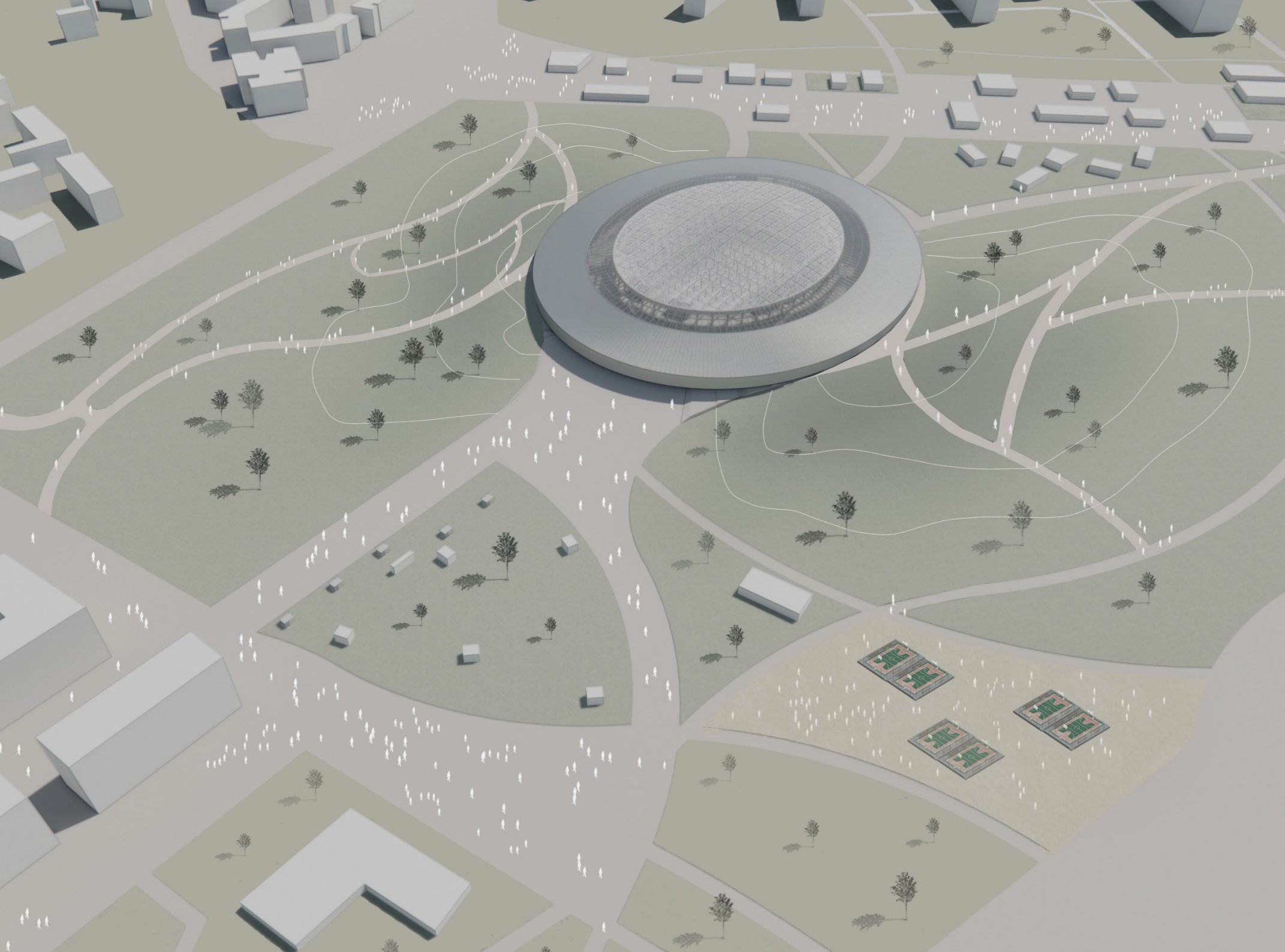
## ESPAÇOS INTERIORES E AXONOMETRIA

Mostramos, nas perspectivas anteriores, a atmosfera externa e interna do edifício. Esta axonometria tenta sintetizar os diferentes diálogos que o público pode ter dentro da arena, com os diferentes terraços e níveis com vista um para o outro, e conexões por escadas para uma percepção contínua do salão interior. A ampla galeria, onde acontece a circulação principal, uma arquitetura típica milanesa, permite o fluxo de pessoas e serve de acesso às diferentes funções tanto no anel exterior quanto do local dos jogos. O térreo e o primeiro andar podem ser conectadas por escadas ou acessados tanto da entrada nivelada quanto pelo acesso da colina.

Figura 90. Axonometria. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.







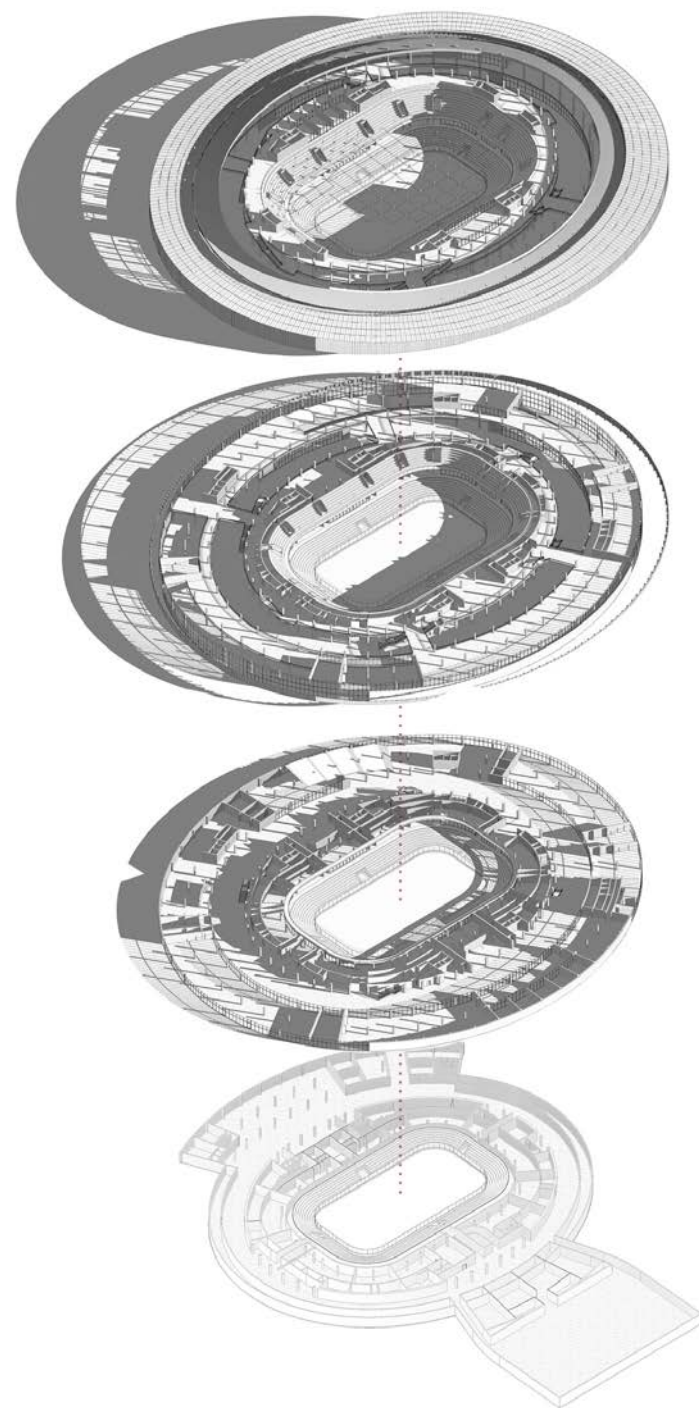
## A EXPERIÊNCIA DE CIMA

### RELAÇÃO VOLUMÉTRICA COM O ENTORNO

O projeto foi concebido com um interessante plano diretor, com usos variados, como o centro comercial e residencial, o parque verde, e as instalações esportivas ao ar livre. Essa variedade de uso traz valor ao projeto, oferecendo diferentes possibilidades para se desfrutar da nova área de Santa Giulia, e, especificamente, do pavilhão esportivo. O desenho da cobertura do projeto se expressa por 3 anéis, sendo a cobertura de membrana ETFE o volume central, permitindo a difusão de luz para a atmosfera interior. Assim, a transparência é obtida a partir dos dois níveis do solo com fachada de vidro fosco, e através da penetração de luz nos materiais da cobertura.

*Figura 91. Vista aérea. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.*





## DESENHOS ARQUITETÔNICOS

*Figura 92. Andares explodidos. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.*

# ATERRISSAGEM

## NÍVEL TÉRREO E CONEXÃO COM O EXTERIOR

A experiência começa com a conexão do andar térreo, onde a hierarquia das entradas é definida pelas praças de entrada. Elas oferecem mais de uma opção de circulação para entrar na arena, seja pelo térreo ou pelas rampas e escadas laterais que conduzem ao primeiro nível. O Boulevard de Santa Giulia se expande para esta praça e guia os pedestres para dentro do edifício, onde usos comerciais e comunitários estão por todo o perímetro. O objetivo da arena é que ela funcione o ano inteiro; assim, espaços como mercearias, oficinas, biblioteca, escola de dança, sala de música, sala de exposições e restaurantes, estão distribuídos ao redor do andar térreo e acessível pela galeria.

O anel intermediário, a galeria, serve tanto para o acessos cotiadiano desses usos quanto para a entrada dos espectadores na arena. Com várias portas e acessos ao longo da elipse, os torcedores serão direcionados para sua entrada correspondente e número de cadeira.

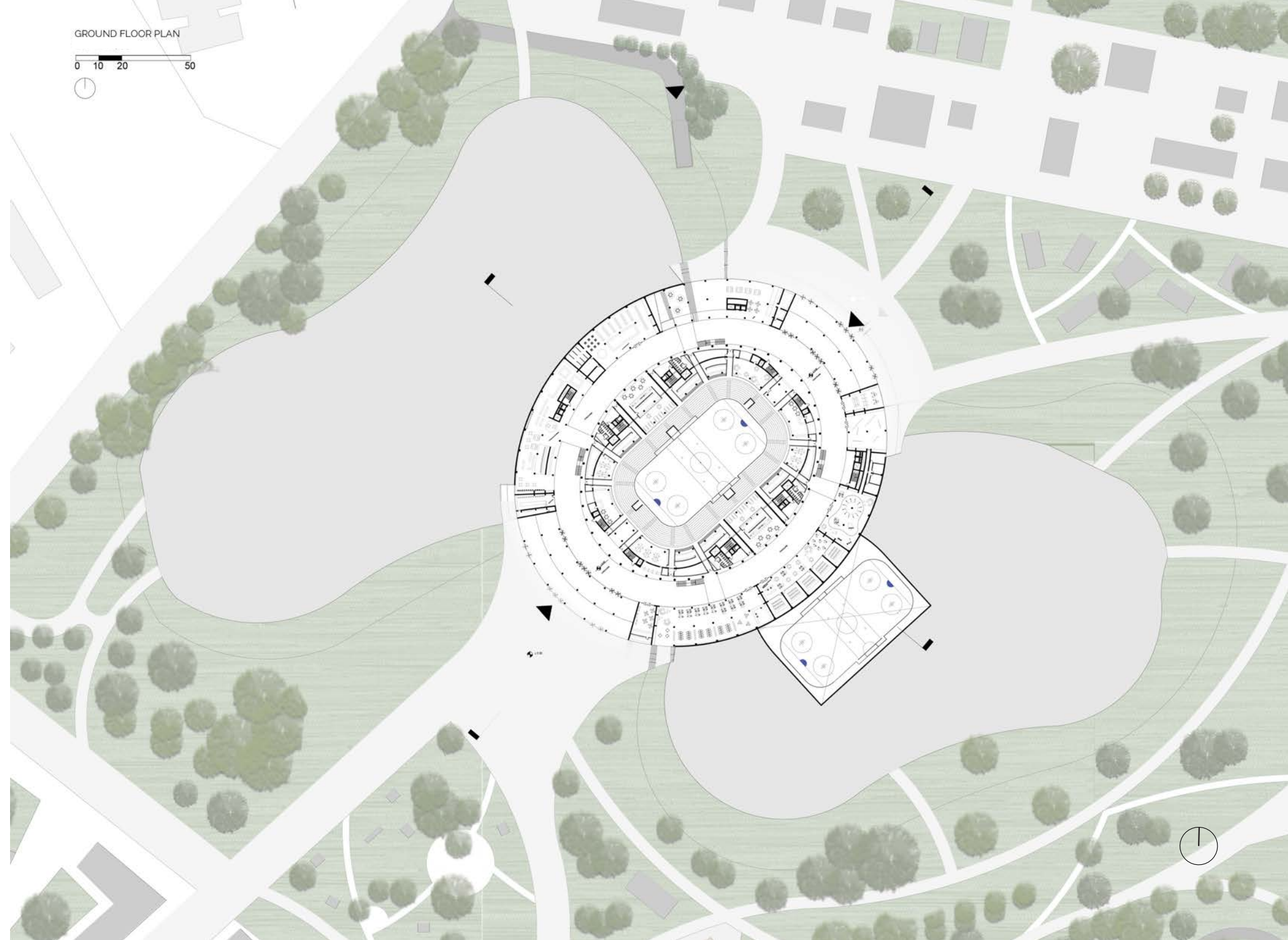
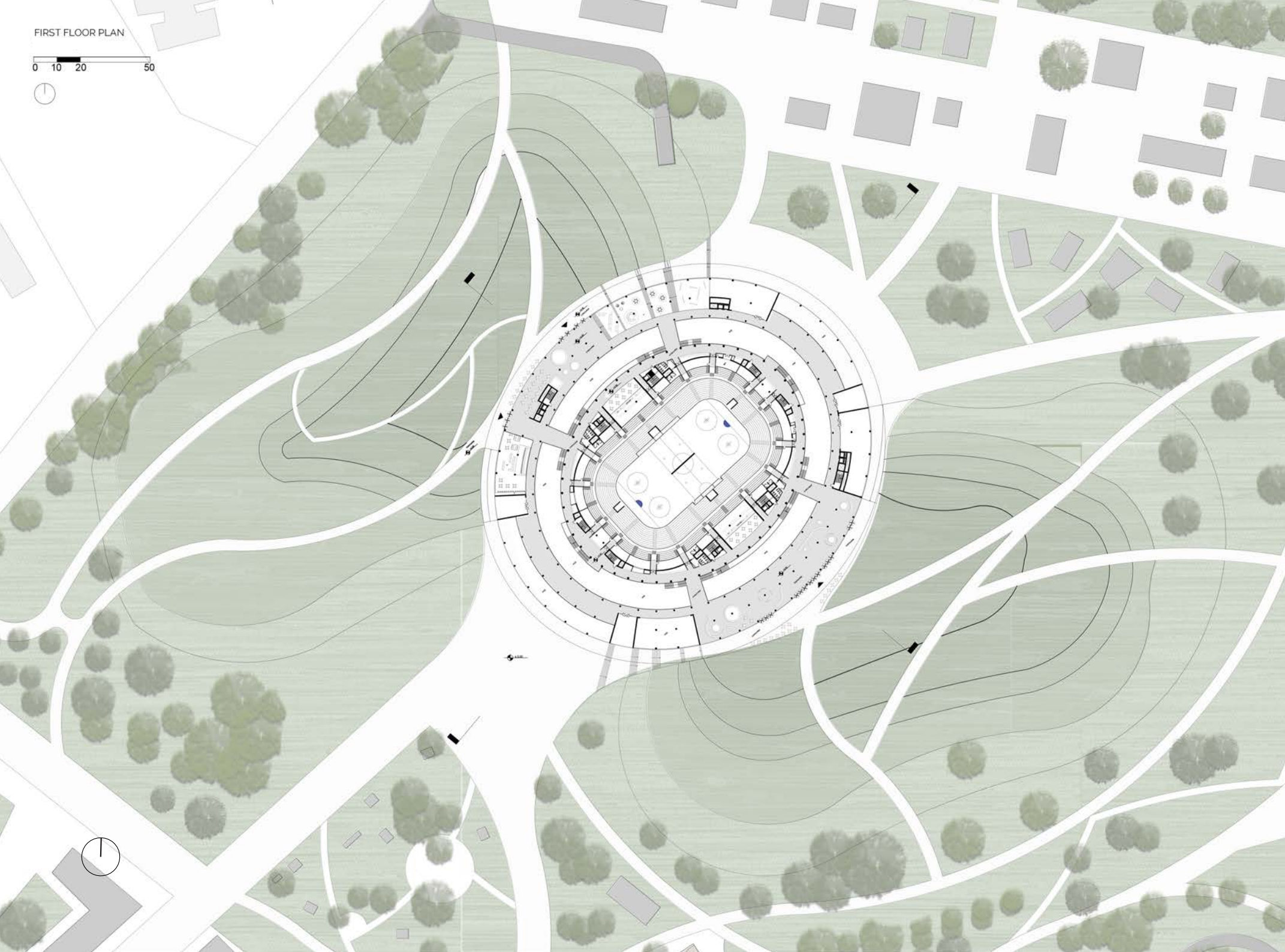


Figura 93. Térreo. Elaboração: Nassar, 2021.





## ELEVADO

### PRIMEIRO ANDAR E DIFERENTES VISUALIDADES

Outro acesso ao pavilhão esportivo pode ser por meio dos níveis superiores, onde as pessoas terão que caminhar ao longo de um caminho verde que atravessa a colina feita do material escavado durante o processo de construção. Estes caminhos, com suas formas orgânicas, conduzem o o público ao longo dos montes para dentro do edifício, onde se experiencia diretamente um espaço interior bem iluminado com luzes naturais, vindas da cobertura translúcida. Neste andar, vazios e pontes vazios e pontes criam uma relação visual com o público em diferentes níveis. Uma esplanada é colocada frente de uma da entrada sudeste, enquanto um restaurante é colocado na frente da entrada noroeste para uma permitir acesso ao ar livre com vista para o parque.

Para acessar os assentos através deste nível, será necessário caminhar pelas pontes projetadas e acessar seu corredor correspondente, ou se necessário, utilizar as escadas paralelas para alcançar o nível desejado

*Figura 94. Primeiro andar. Elaboração:  
Nassar, 2021.*



TÉRREO

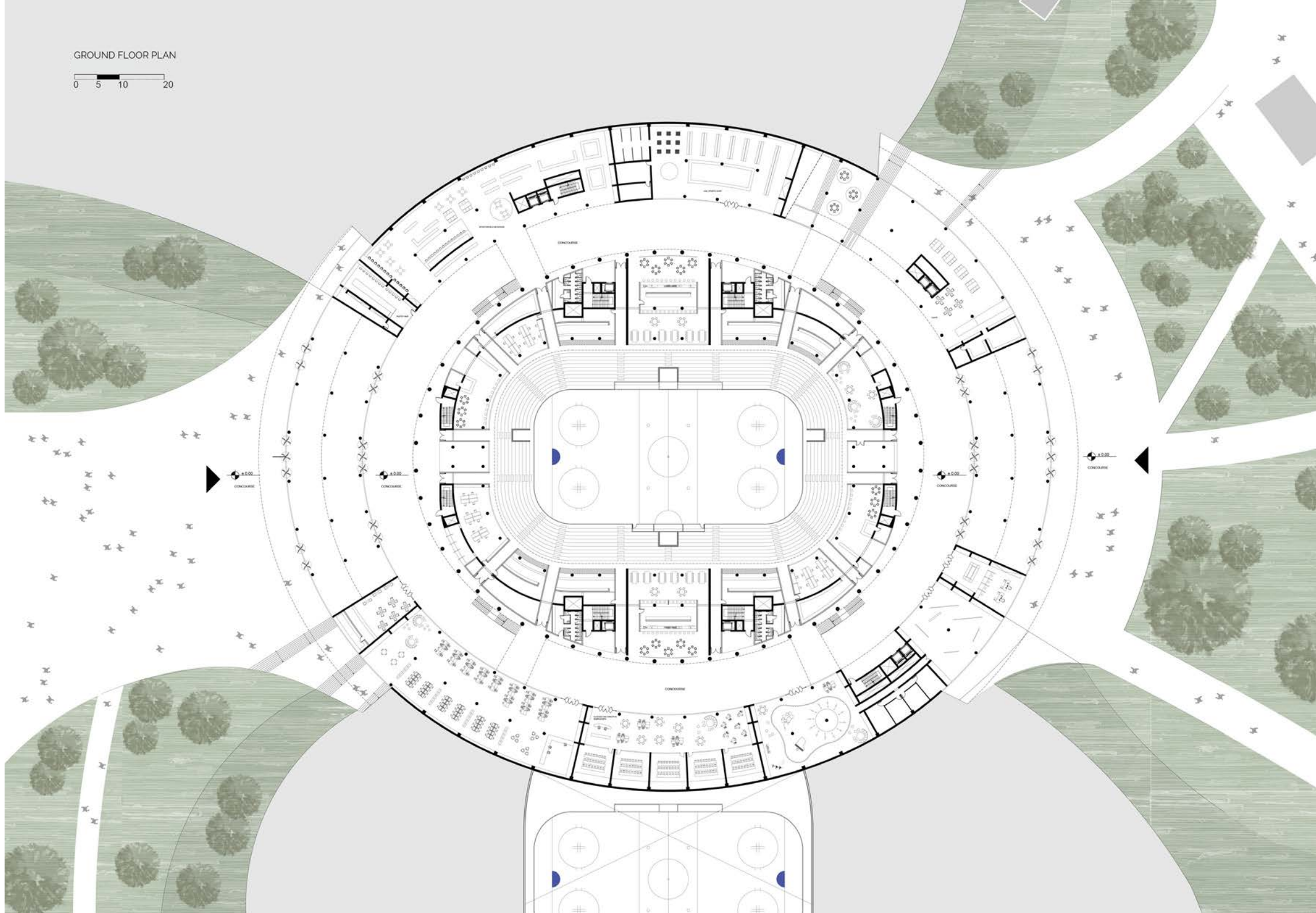
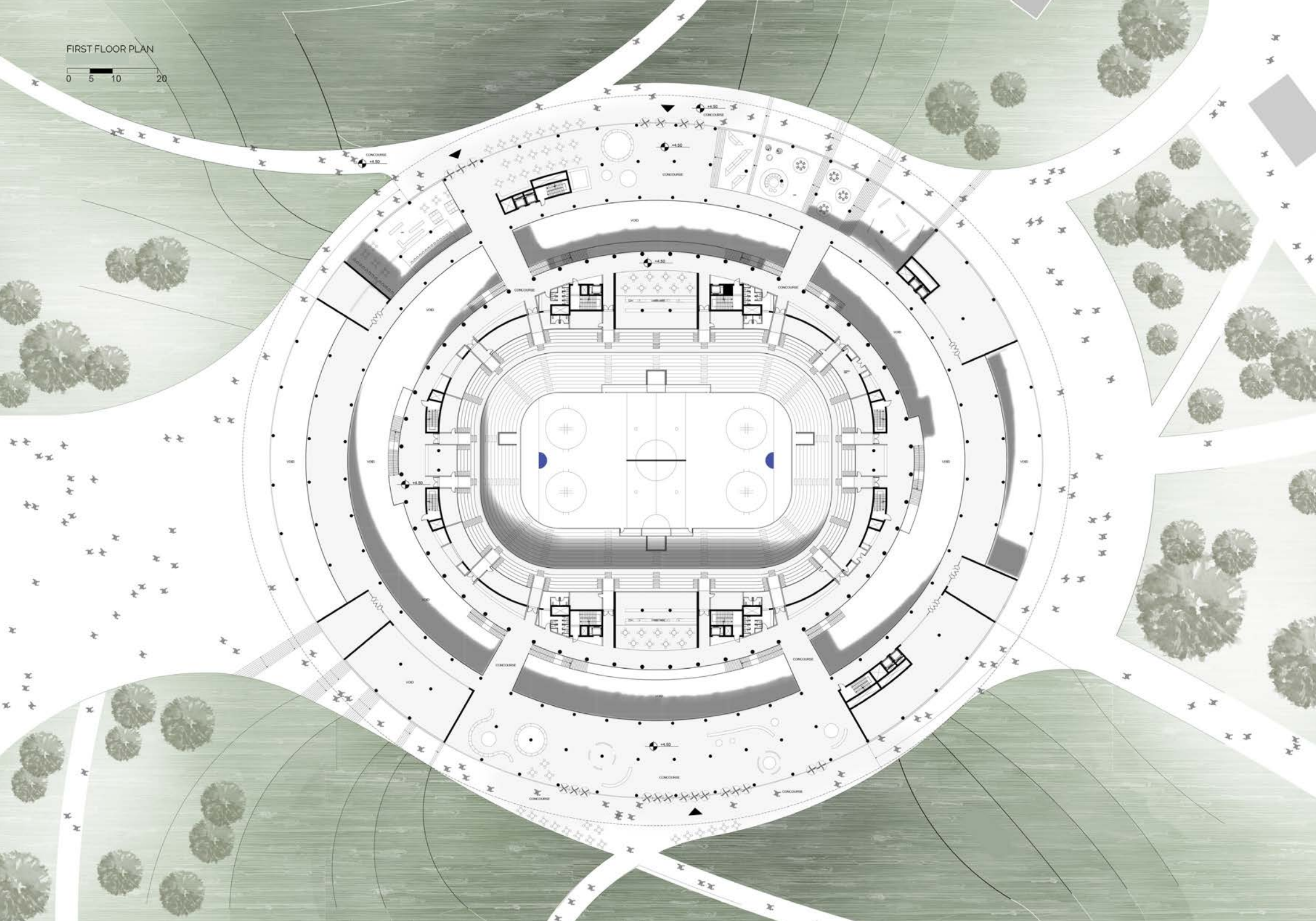


Figura 95. Térreo. Elaboração: Nassar, 2021.





## 1º ANDAR



Figura 96. 1º andar. Elaboração: Nassar, 2021.



2º ANDAR

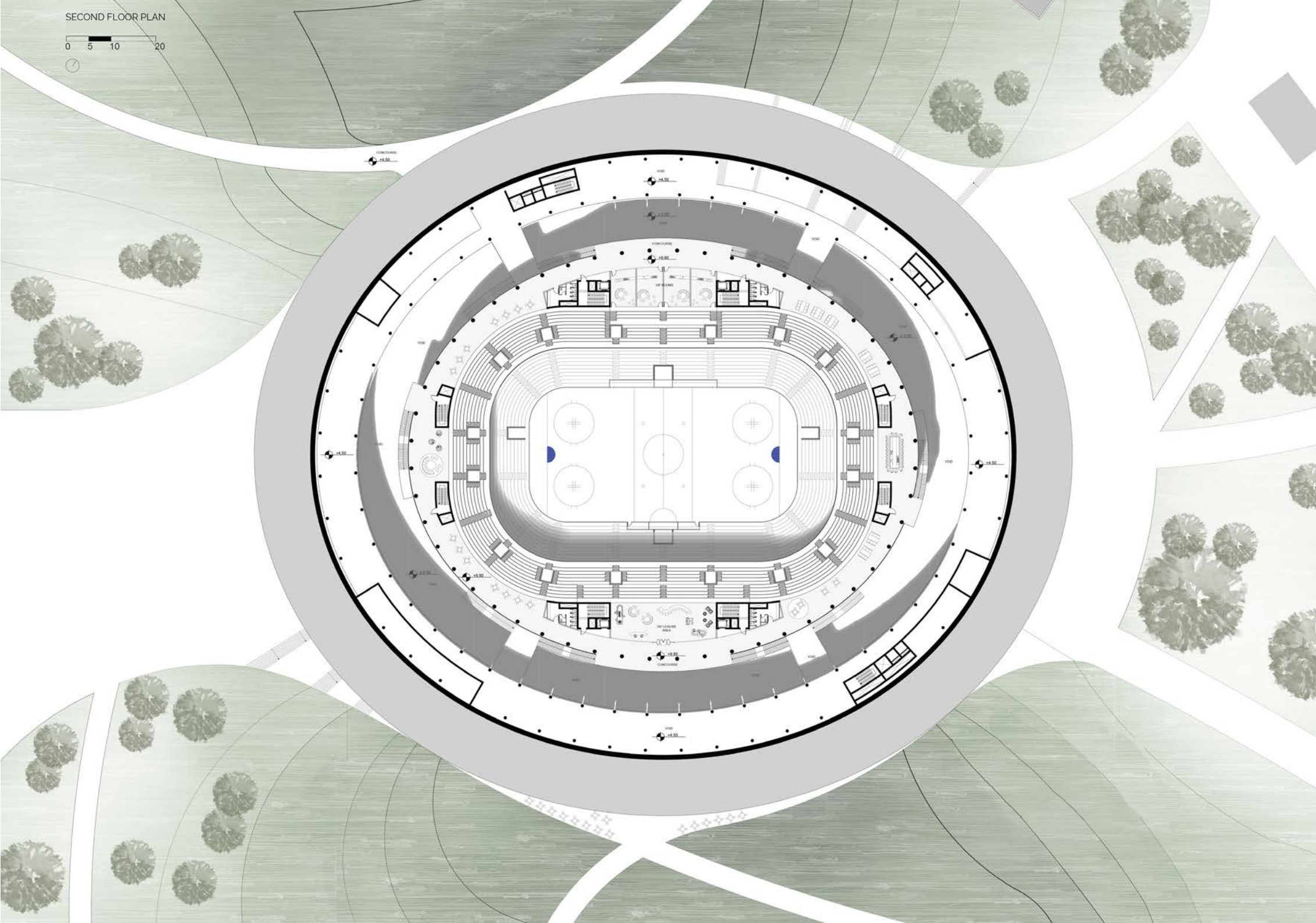


Figura 97. 2º andar. Elaboração: Nassar, 2021.



# SUBSOLO

UNDERGROUND FLOOR PLAN

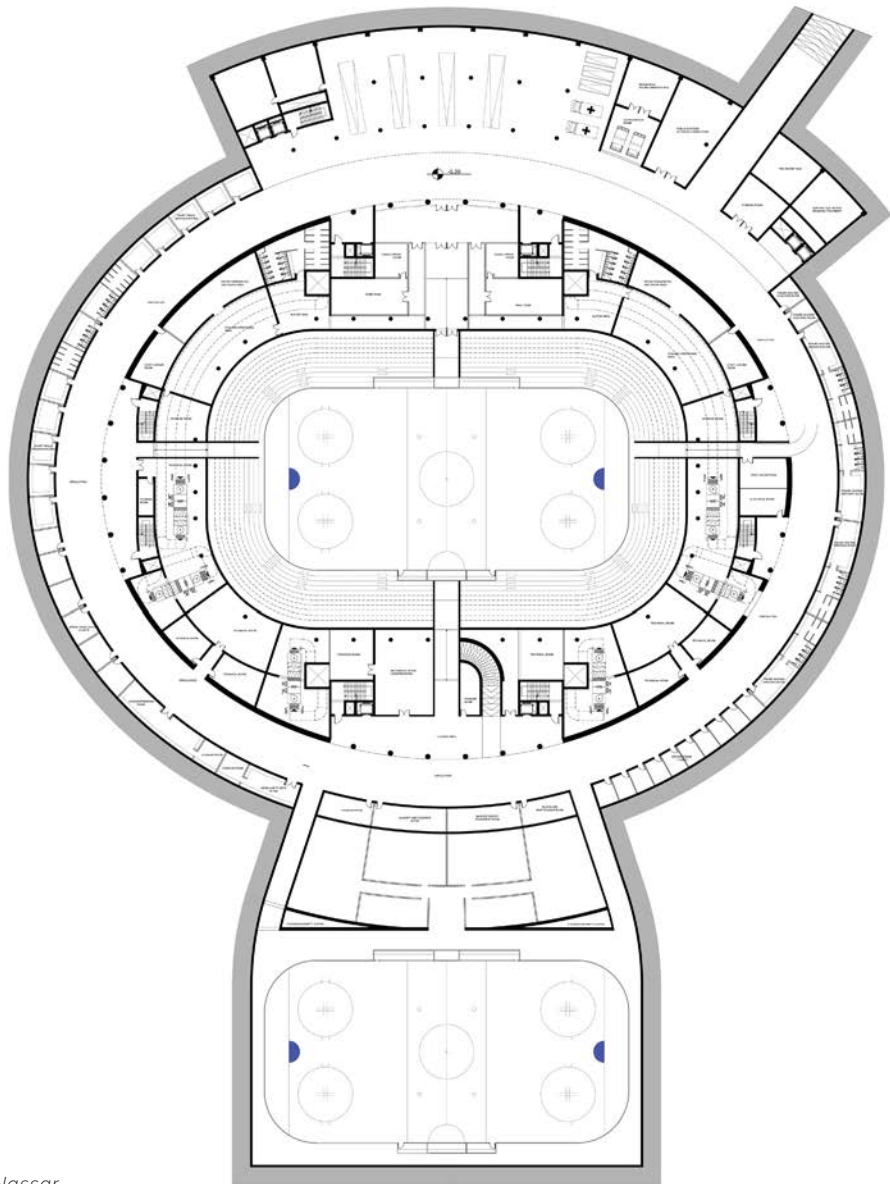
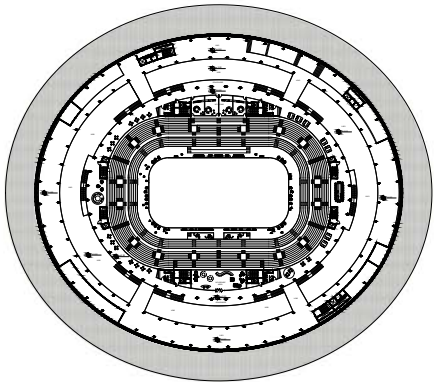
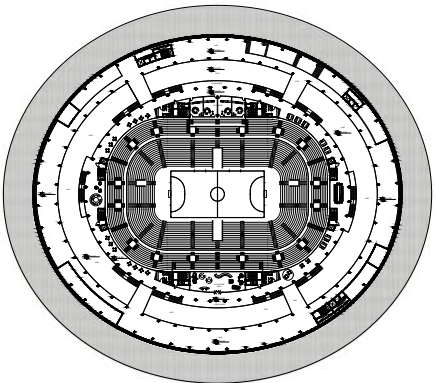


Figura 98. Subsolo. Elaboração: Nassar, 2021.

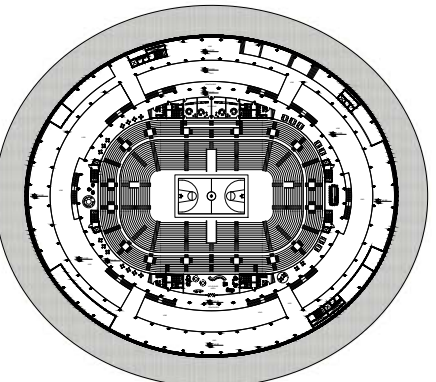
FIGURE SKATING AND ICE DANCING FIELD



MINI-FOOTBALL (FUTSAL) FIELD



BASKETBALL FIELD



Na tentativa de projetar uma arena esportiva sustentável economicamente, deve haver demanda diariamente. Uma das maneiras de atingir esse objetivo é tornando-a multiúso. Para conseguir abrigar diferentes funções, foi aplicado um sistema de assentos telescópicos nos níveis inferiores e plataformas elevatórias.

Assim, diferentes atividades esportivas podem ocorrer, através da retração ou expansão dos assentos, e da elevação ou rebaixamento das plataformas. Dessa maneira, é possível ajustar o campo para as dimensões de, por exemplo, hóquei do gelo, patinação artística, basquete e futsal. É possível também ajustar a arena para abrigar conferências e eventos sociais.

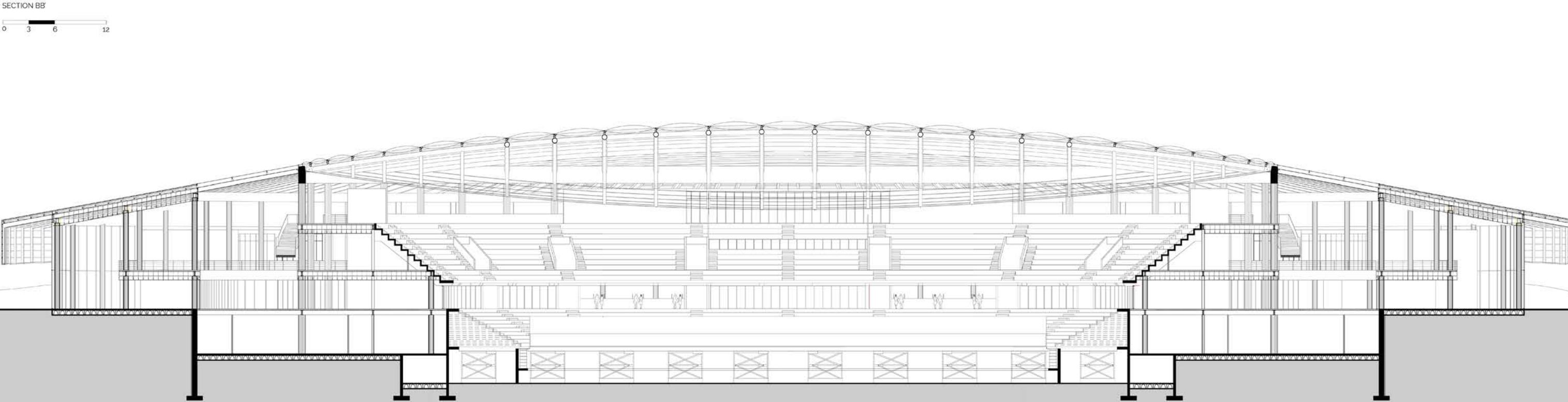
Esses cenários diferentes beneficiam a arena porque permite uma flexibilidade de atividades. Pode-se dividir o uso da arena durante o ano em esportes de gelo e esportes de verão. Além disso, durante o interstício dos jogos, pode-se aproveitar a infraestrutura para a realização de eventos sociais.

# SEÇÃO LONGITUDINAL

Na seção, vemos a relação entre os diferentes níveis do edifício e o como a estrutura protendida da cobertura de ETFE consegue gerar uma estrutura baixa e superar grandes vãos.

Outra característica do projeto percebido no corte é o efeito de proximidade dos assentos dos estádios com o ringue/quadra, gerando uma melhor atmosfera dos torcedores. Percebe-se também o uso de plataformas elevatórias sob o ringue e a utilização de arquibancadas telescópicas nos níveis inferiores.

Figura 99. Corte longitudinal. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.



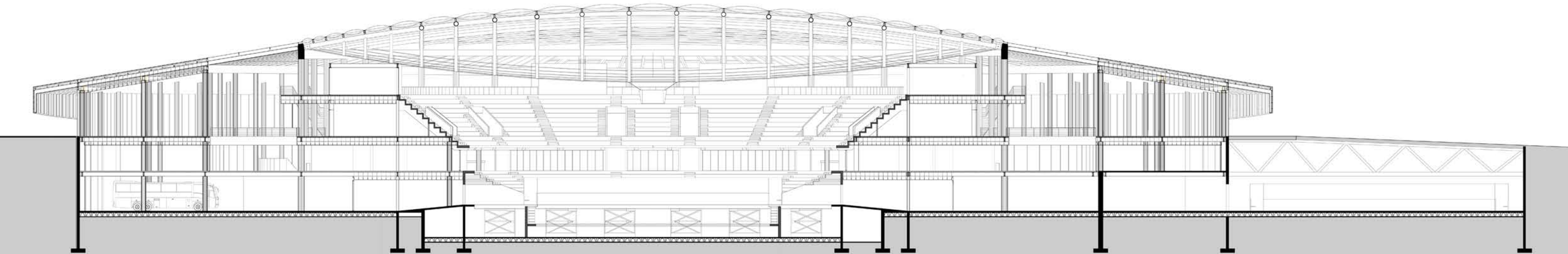


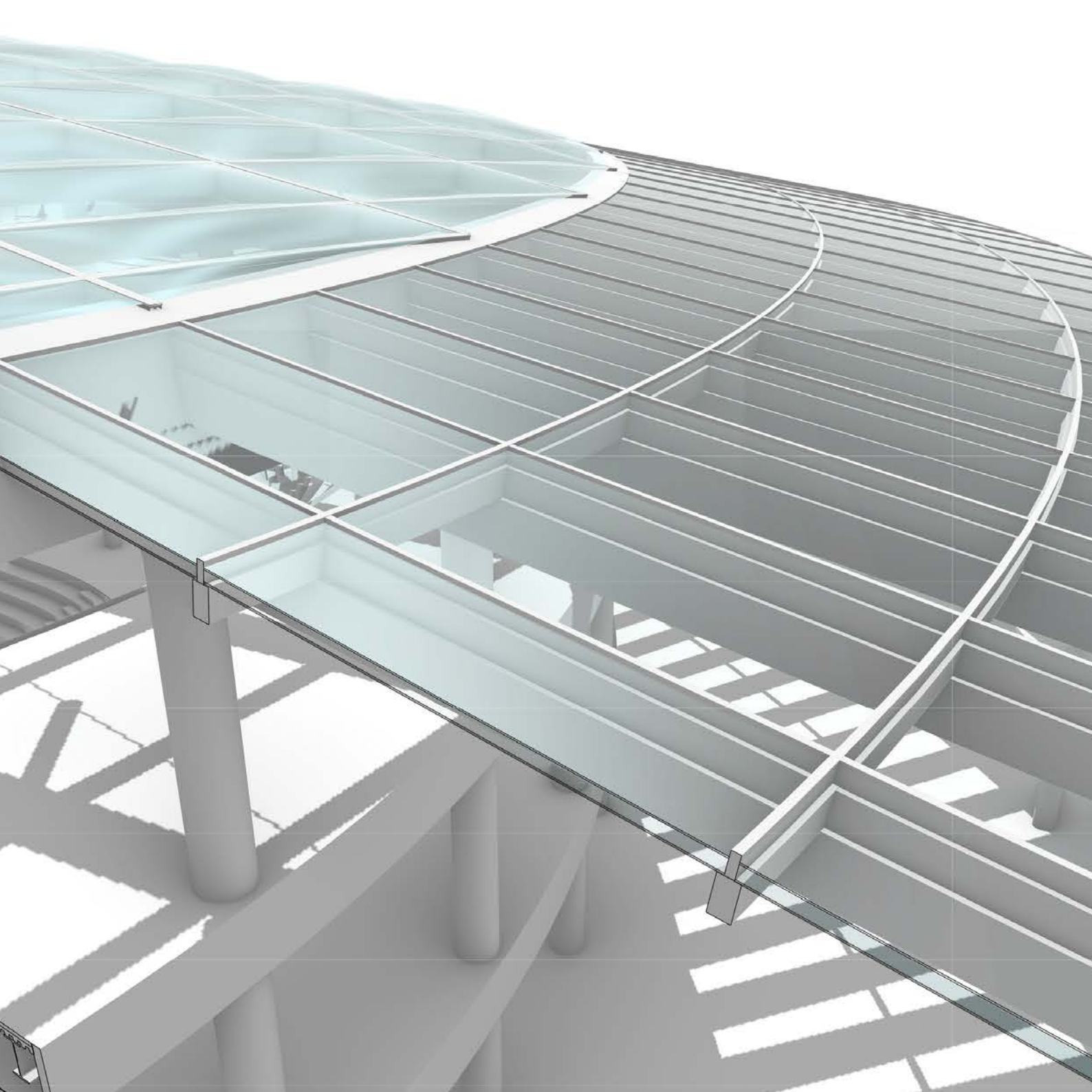
# SEÇÃO TRANSVERSAL

Além das características vistas no corte longitudinal, o transversal nos permite ver a pista de gelo para prática projetada sob o monte a sudeste, permitindo o uso pela comunidade em dias sem jogos e uma área de aquecimento e prática para os jogadores

Figura 100. Corte longitudinal. Elaboração:  
Lara, Martins, Nassar, 2021.

SECTION AA'  
0 3 6 12





## DETALHES



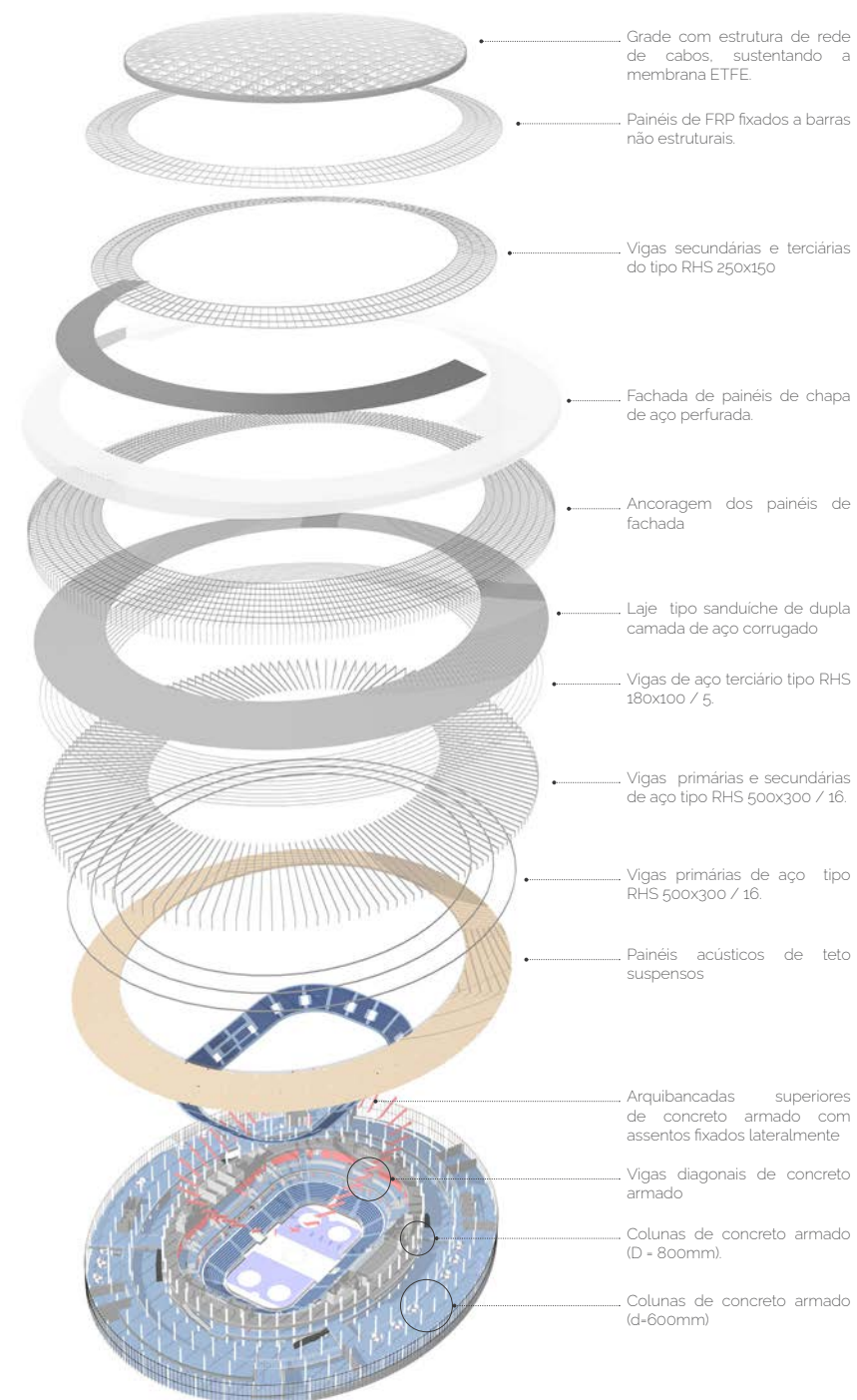
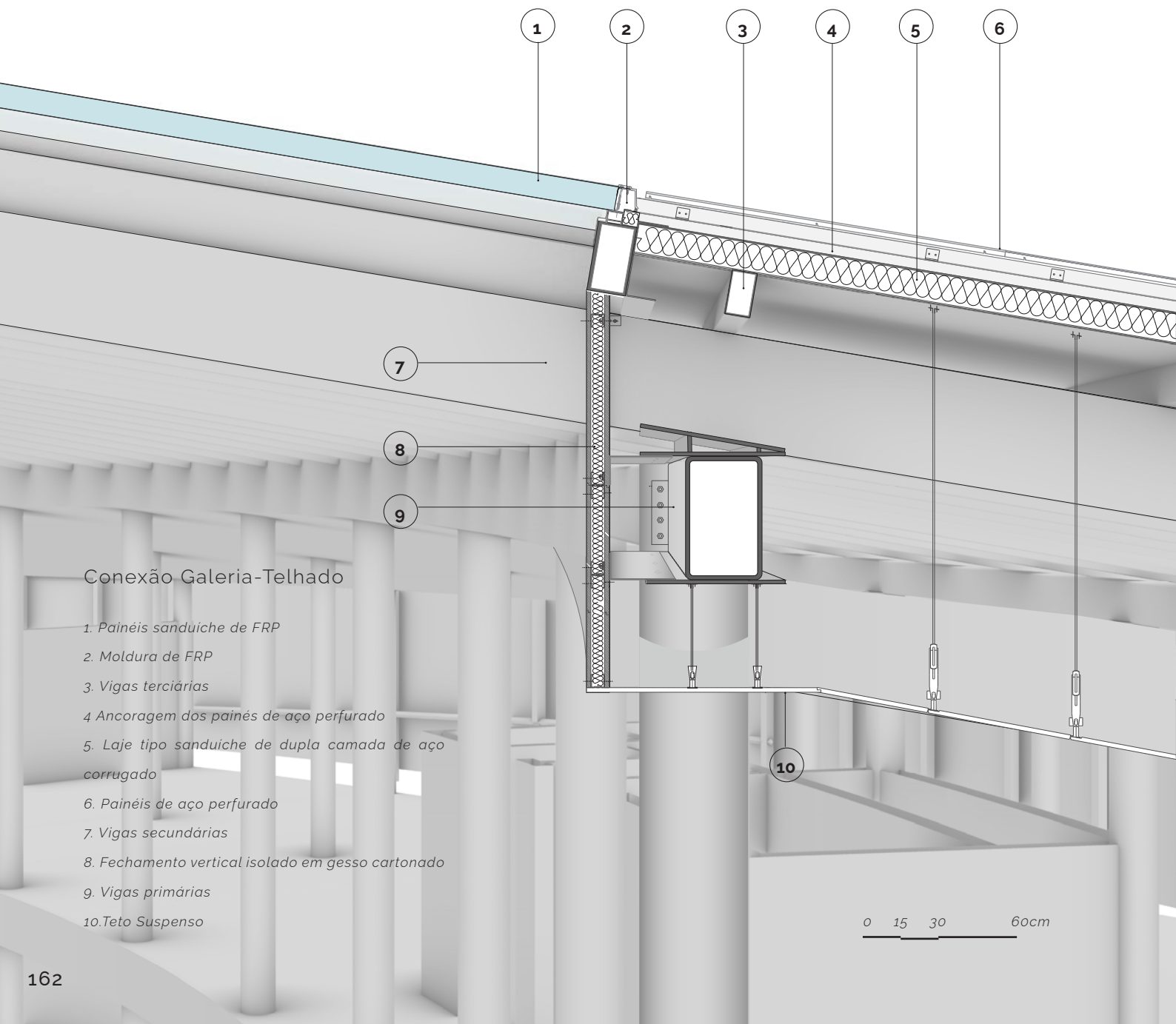


Figura 101. Corte longitudinal. Elaboração:  
Lara, Martins, 2021.

## ESTRATIGRAFIA DO EDIFÍCIO

A estratigrafia do edifício define os elementos básicos da construção. É importante destacar que os aspectos escolhidos da fachada (os 3 anéis translúcidos) acrescentaram complexidade no processo de construção. Cada tipo de telhado deve ser sustentado por uma subestrutura particular que ultrapasse vãos diferentes. Este aspecto requer uma subestrutura robusta em cada um dos anéis e cria um arranjo desafiador.

Figura 102. Detalhe. Elaboração: Lara, Martins, 2021.

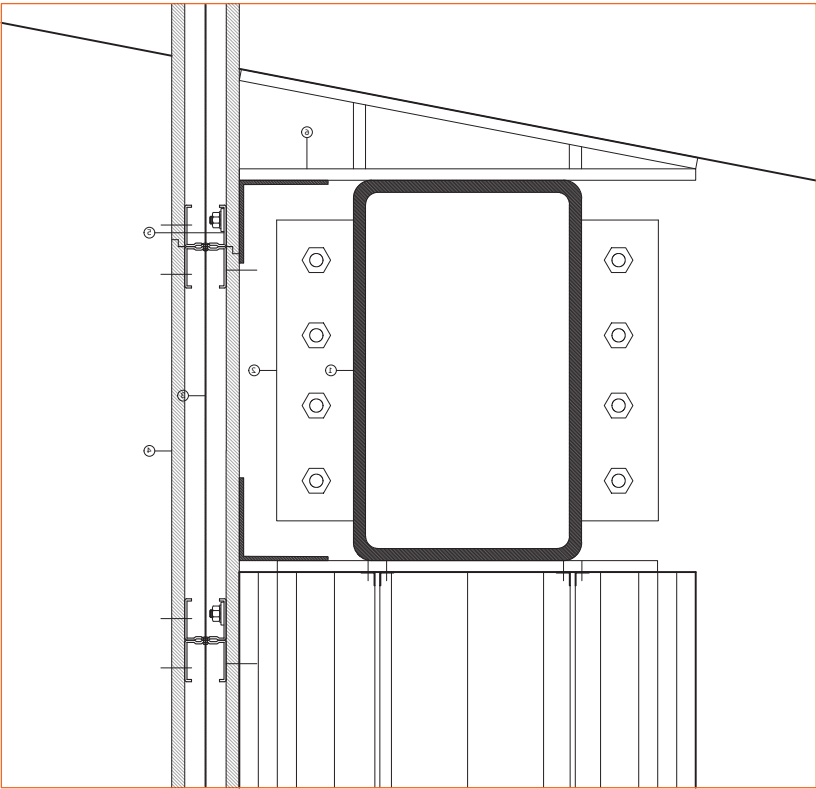


Conexão Galeria-Telhado

- 1. Painéis sanduíche de FRP
- 2. Moldura de FRP
- 3. Vigas terciárias
- 4. Ancoragem dos painéis de aço perfurado
- 5. Laje tipo sanduíche de dupla camada de aço corrugado
- 6. Painéis de aço perfurado
- 7. Vigas secundárias
- 8. Fechamento vertical isolado em gesso cartonado
- 9. Vigas primárias
- 10. Teto Suspenso

CONEXÃO  
GALERIA-TELHADO

Um dos maiores desafios do projeto foi conectar 3 tipos de coberturas distintas. Na conexão entre a Galeria e a telhado do anel exterior, foi estabelecida uma continuidade da viga primária e isso criou um arranjo complexo de estruturas secundárias e terciárias sobre a Galeria em FRP e o Telhado.



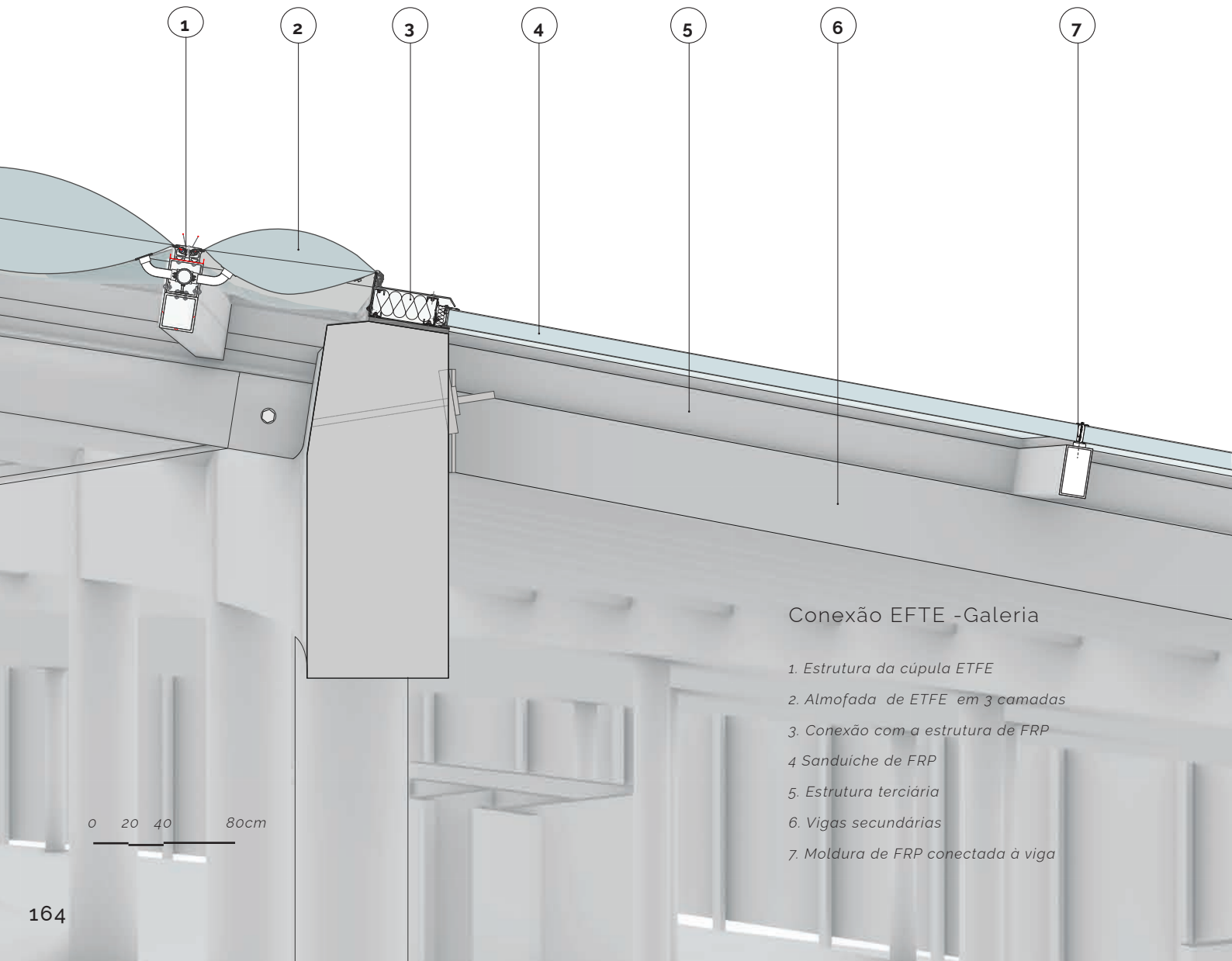
Revestimento do teto

- 1. Viga tipo RHDS 500X300/16
- 2. Placa de conexão
- 3. Isolamento Rígido
- 4. Placa de gesso
- 5. Perfil laminado a frio
- 6. Conexão de aço em placa soldada



CONEXÃO COBERTURA EFTE - GALERIA

Figura 103. Detalhe. Elaboração: Lara, Martins, 2021.



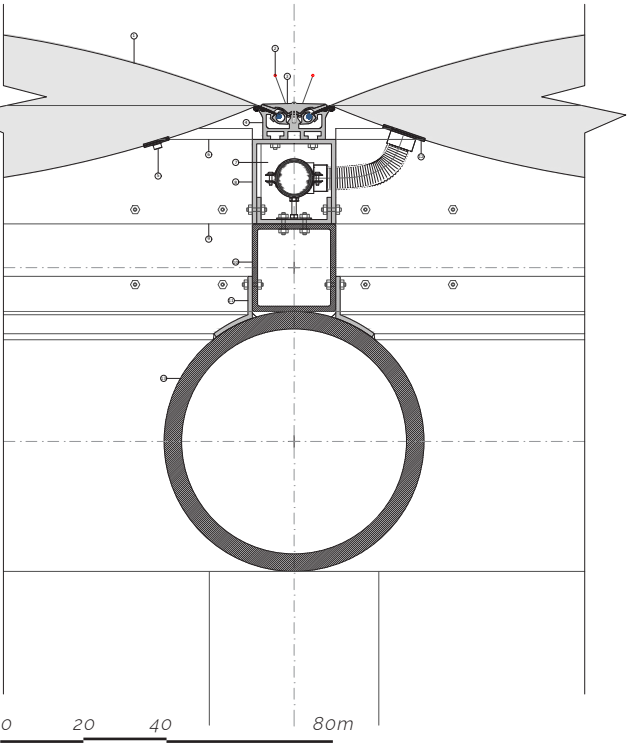
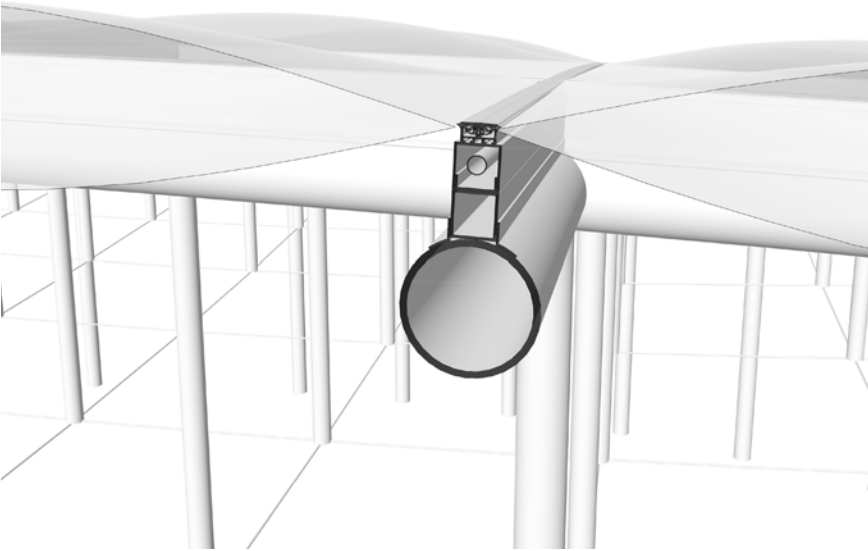
Conexão EFTE -Galeria

- 1. Estrutura da cúpula EFTE
- 2. Almofada de EFTE em 3 camadas
- 3. Conexão com a estrutura de FRP
- 4. Sanduiche de FRP
- 5. Estrutura terciária
- 6. Vigas secundárias
- 7. Moldura de FRP conectada à viga

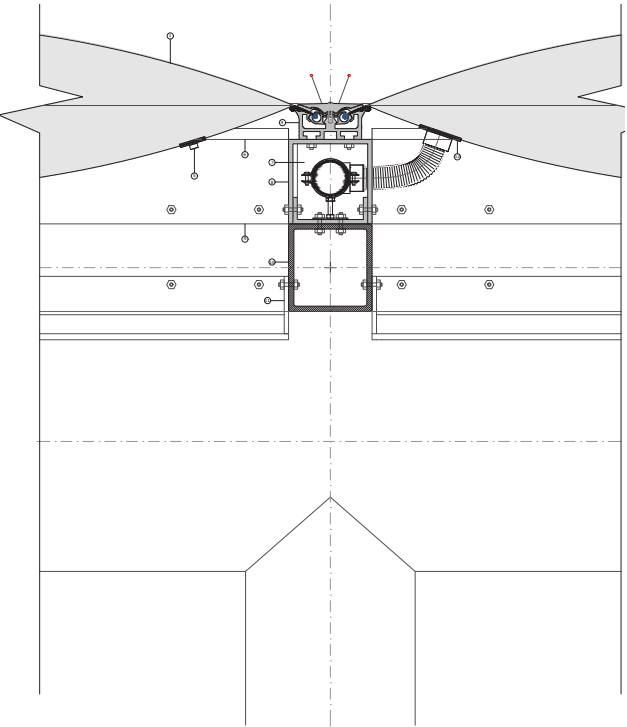
0 20 40 80cm

Detalhe da estrutura de ETFE

- 1. Membrana superior de ETFE
- 2. Bird Wire (para derreter gelo)
- 3. Selante
- 4. Moldura de alumínio para o ETFE
- 5. Saída de ar
- 6. Caleira de condensação
- 7. Bypass de ar
- 8. Suporte da moldura
- 9. Mangueira Flexível
- 10. Viga Secundária 200x200/12mm
- 11. Placa de montagem
- 12. Viga primária
- 13. Entrada de ar



0 20 40 80m

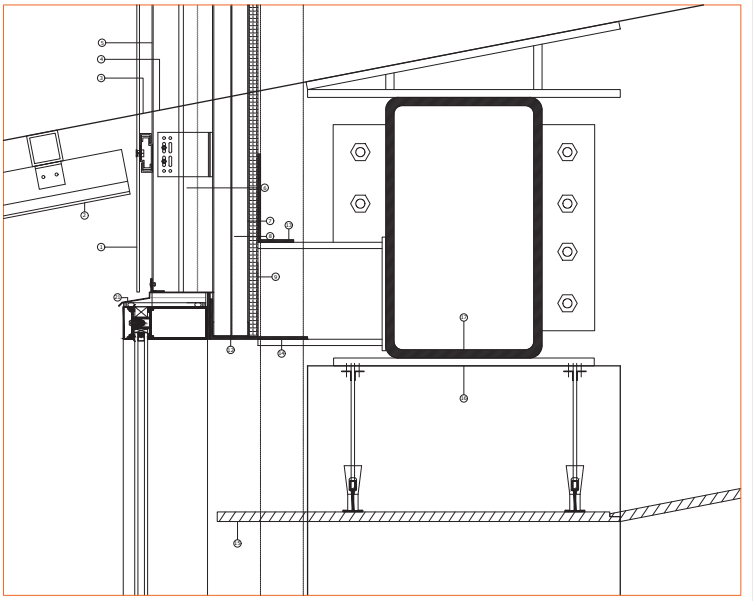


FACHADA EXTERNA

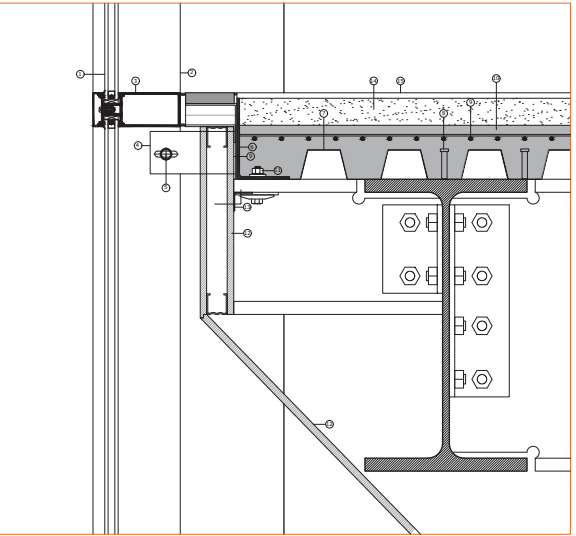
Figura 104. Detalhe. Elaboração: Lara, Martins, Nassar, 2021.

A fachada exterior é composta por uma fachada cortina protegida por um sombreamento projetado de chapas de aço perfurado. Isto oferece não só sombra solar, mas também um visual translúcido que instiga a curiosidade do público para entrar e descobrir a arquitetura interior.

0 30 60 120cm



0 30 60m



0 30 60m

Junção Fachada-Telhado

- 1. Painel metálico (5mm)
- 2. Painéis de zinco
- 3. Perfil horizontal
- 4. Suporte de alumínio
- 5. Perfil Vertical T
- 6. Isolamento Rígido
- 7. Canais laminados a frio
- 8. Isolamento flexível
- 9. Painel interno resistente ao fogo (20mm)
- 10 Isolamento acústico
- 11. Perfil base do canal
- 13. Ângulo L descontinuo
- 14. Painel de gesso cartonado (18mm)
- 15. Chapa de aço
- 16. Perfil RHS 500x300/16 mm

Junção Fachada-Laje

- 1. Vidro duplo
- 2. Caixilho vertical de alumínio
- 3. Caixilho horizontal de alumínio
- 4. Suporte de aço ancorado à laje
- 5. Parafuso em furo alongado
- 6. Ângulo de aço
- 7. Steel deck
- 8. Pino de cisalhamento
- 9. Reforço da laje
- 10. Enchimento de concreto
- 11. Parafuso
- 12. Painel de gesso cartonado (12 mm)
- 13. Ângulo de aço em L ancorado ao painel
- 14 Contrapiso
- 15 Tinta epóxi



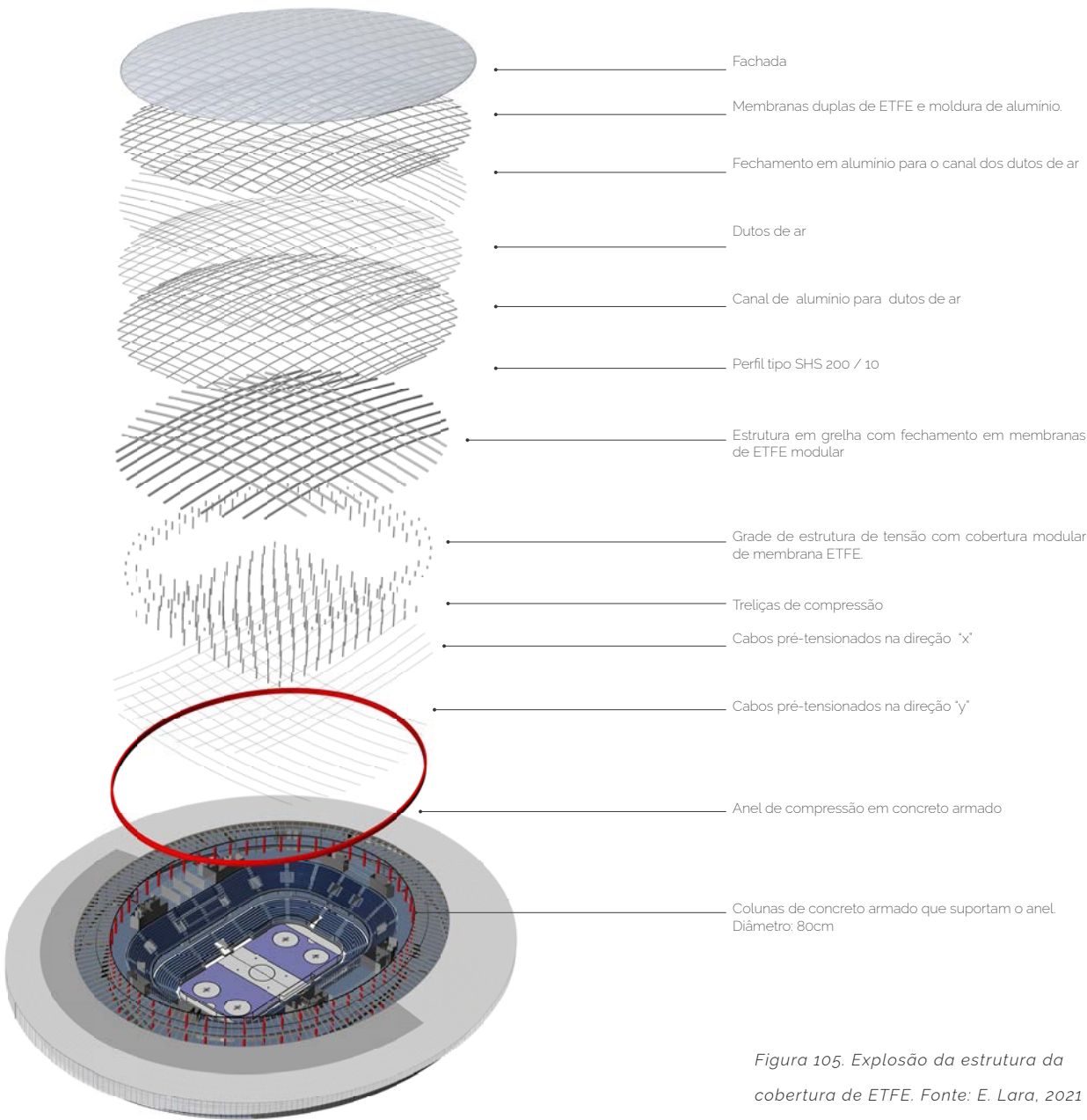
**ESTRUTURAS**

# ESTRUTURAS

Na tese apresentada no Politecnico di Milano, havia um grande foco no estudo da estrutura do projeto. Foram realizados cálculos preliminares para as lajes, vigas e colunas para atingir as dimensões necessárias para o projeto de arquitetura. Além disso, para a estrutura da cobertura de ETFE, foram realizadas simulações utilizando software para entender seu comportamento e , com isso, atingir um dimensionamento preliminar.

Como o foco deste trabalho não é o cálculo das estruturas, irei suprimir essa parte, mas acrescento o esquema estrutural do projeto para auxiliar no entendimento do funcionamento do edifício como um todo.

## MONTAGEM DA ESTRUTURA DA COBERTURA DE ETFE





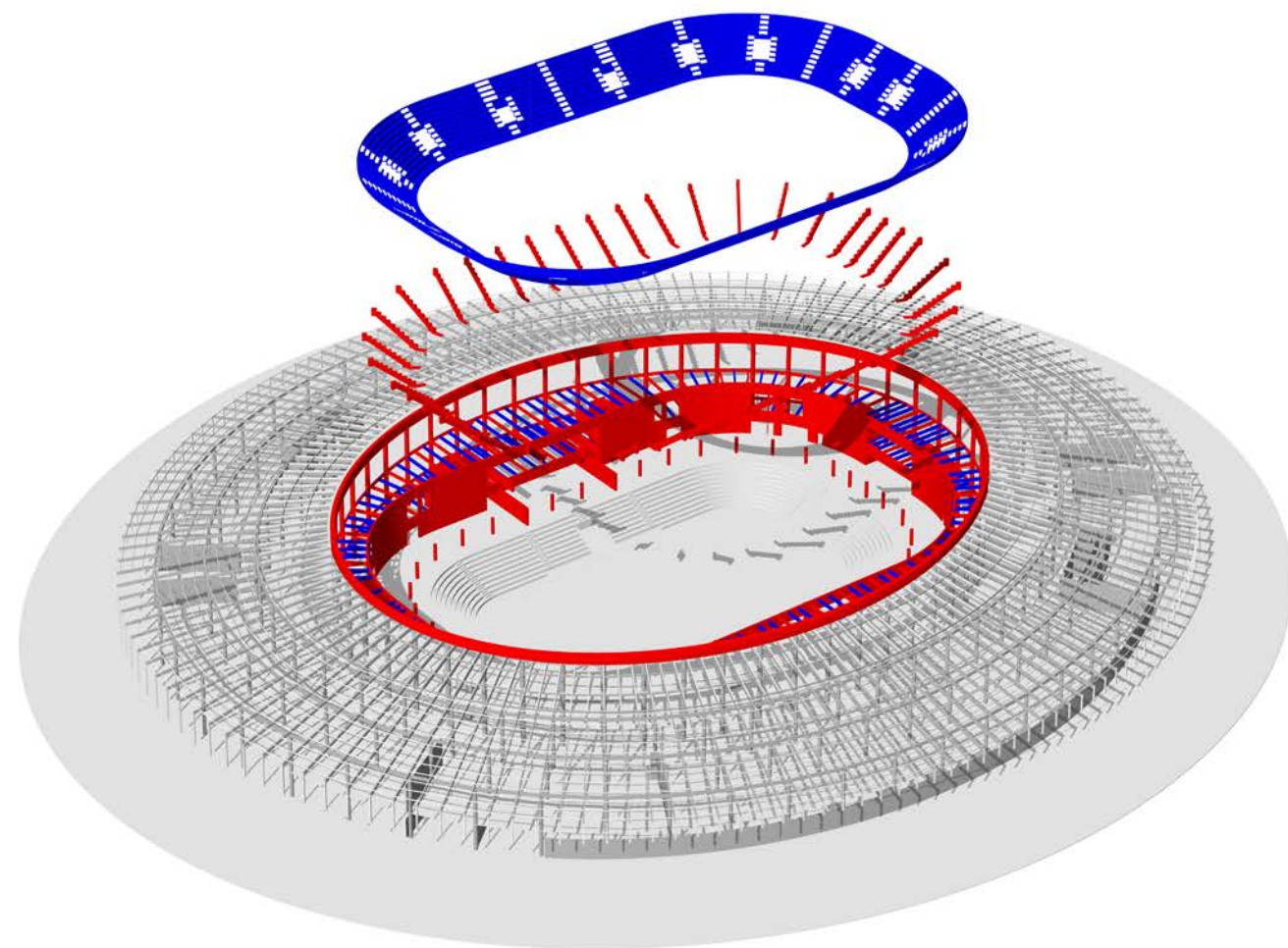


Figura 106. Arranjo das estruturas horizontais, diagonais e verticais da área da arena. Fonte: E. Lara, 2021

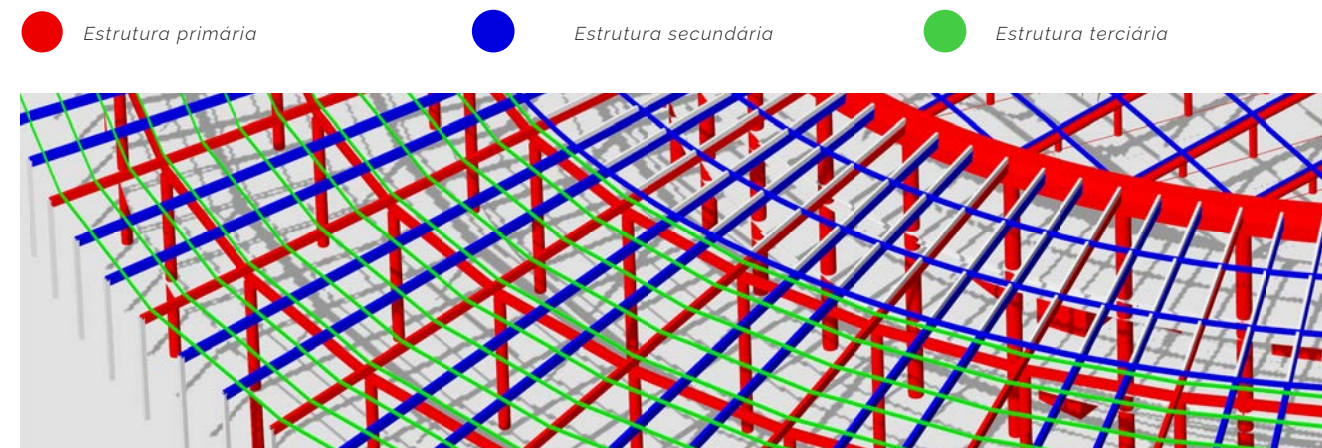


Figura 107. Detalhe do arranjo da estrutura do telhado no anel exterior do edifício. Fonte: E. Lara, 2021

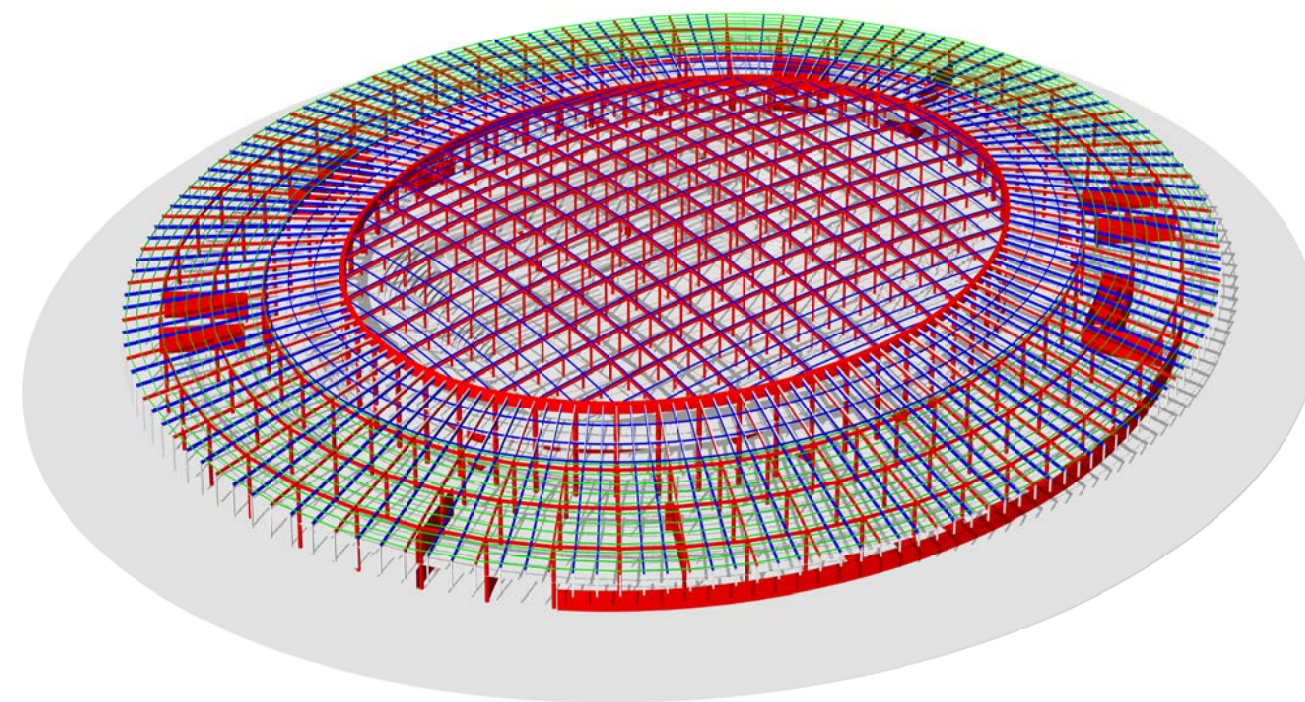


Figura 108. Arranjo geral da estrutura das coberturas. Fonte: E. Lara, 2021

● Estrutura primária      ● Estrutura secundária      ● Estrutura terciária



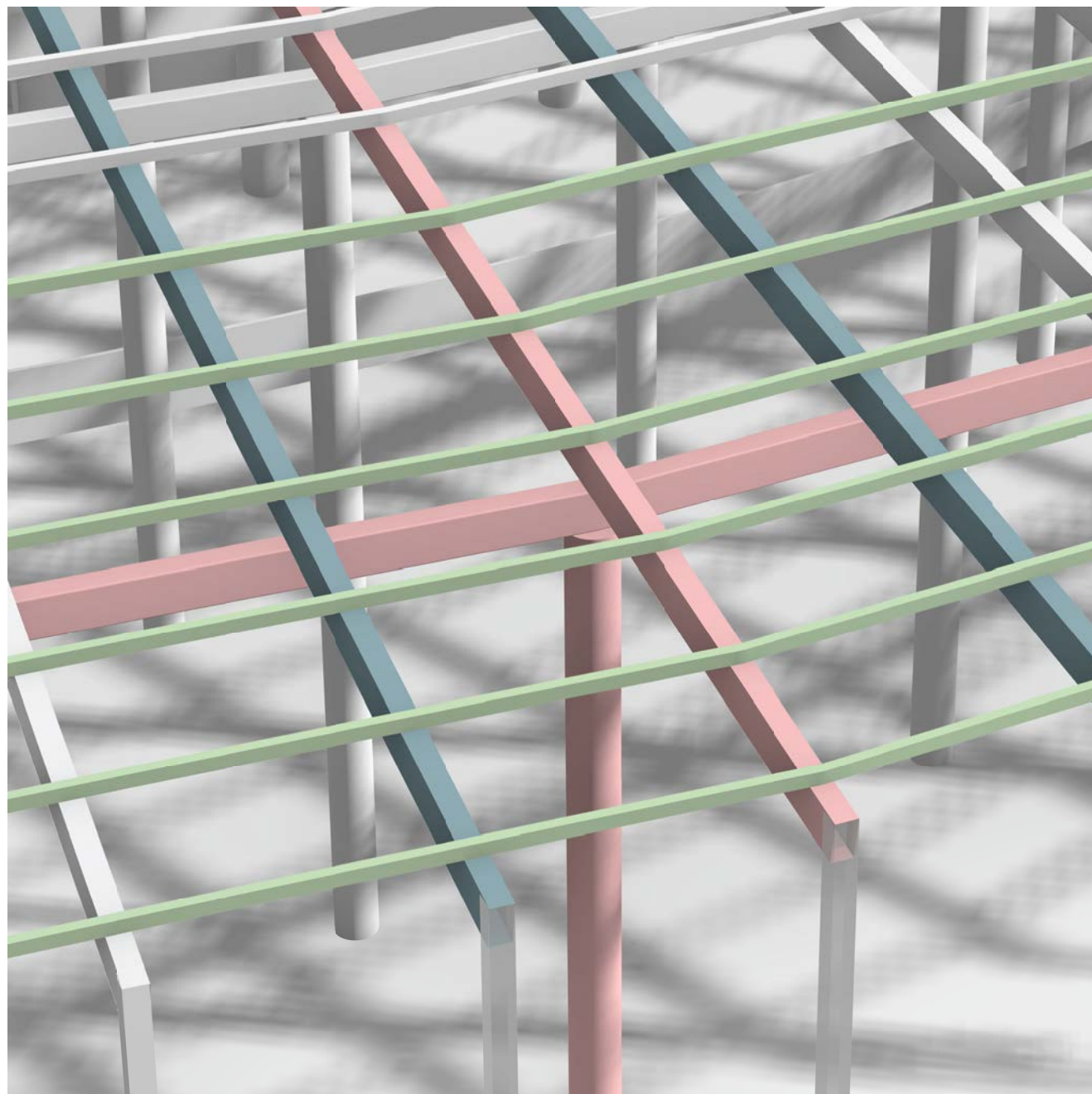


Figura 109. Estruturas primária, secundária e terciária conduzindo as cargas para coluna no anel exterior. Fonte: E. Lara, 2021

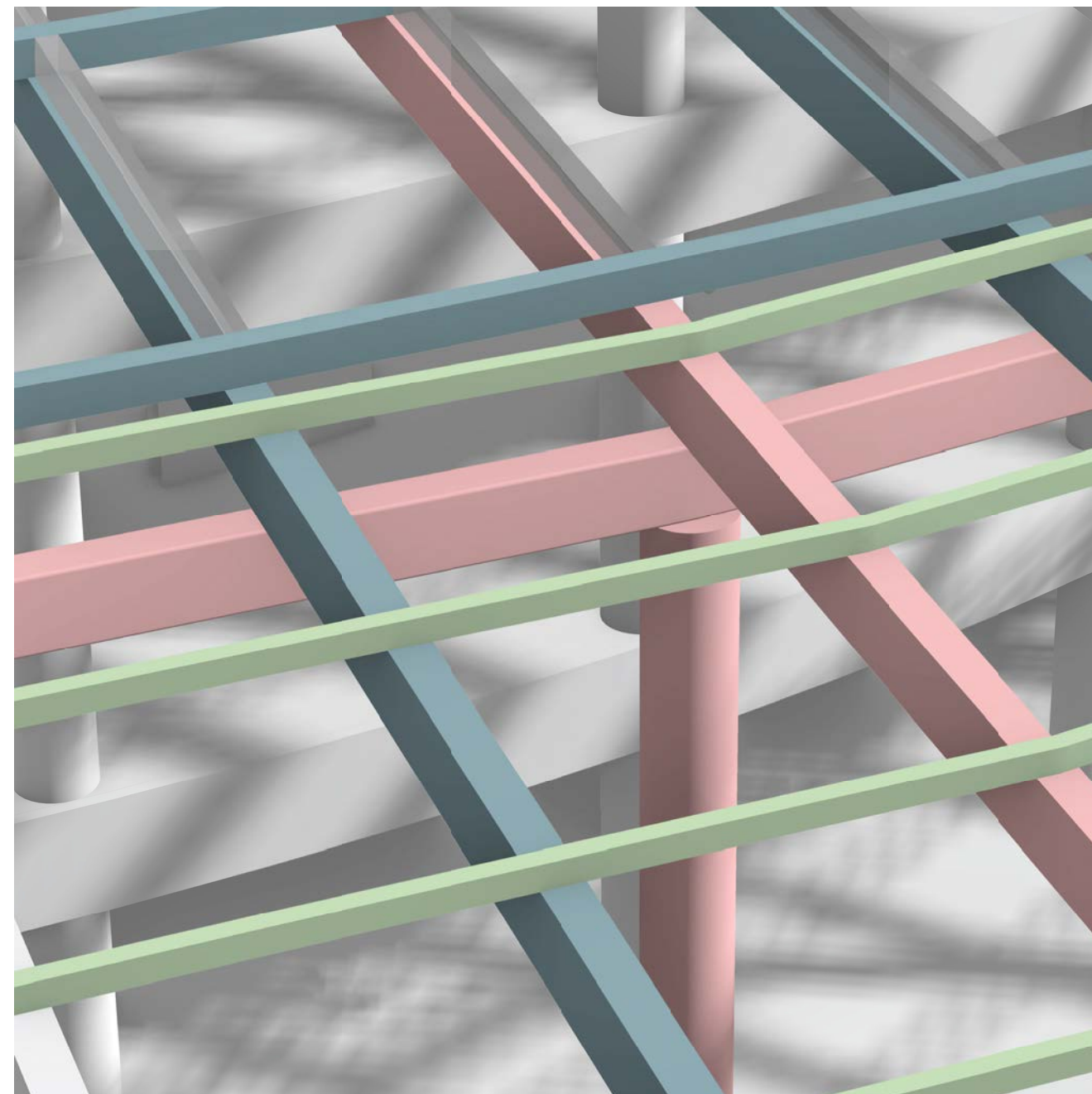


Figura 110. Vigas primárias, secundárias e terciárias transmitindo cargas à coluna da galeria. Fonte: E. Lara, 2021



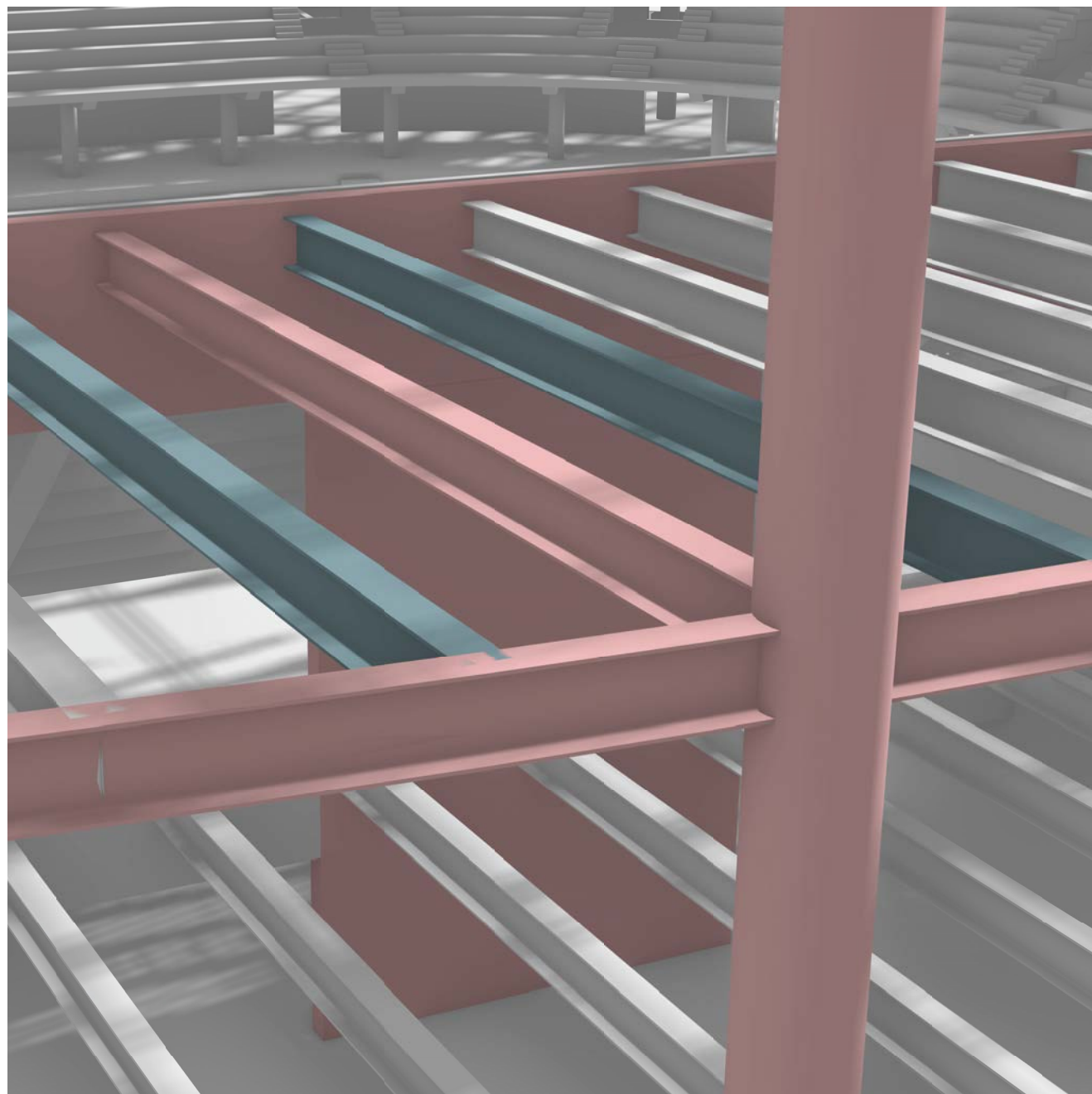


Figura 111. Estruturas primária e secundária das lajes transmitindo cargas às colunas de 800mm no perímetro da Arena. Fonte: E. Lara, 2021

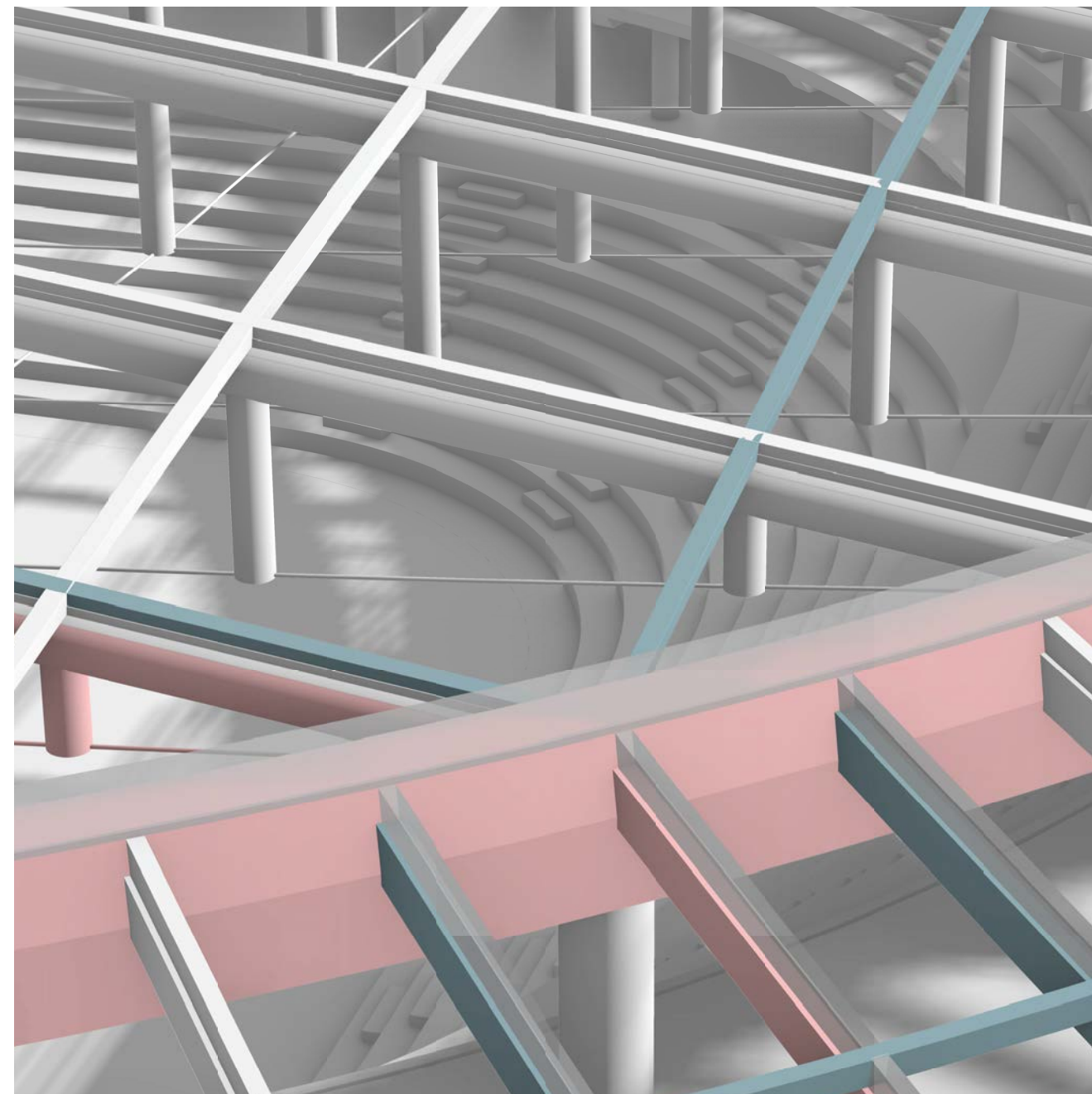


Figura 112. Descarregamento de vigas primárias e da cobertura de ETFE sobre o anel de compressão. Fonte: E. Lara, 2021.

**SERVIÇOS PREDIAIS**



# PRÉ DIMENSIONAMENTO PARA CONDICIONAMENTO

## OBJETIVOS DO ESTUDO

Pela complexidade do projeto, considerou-se que era necessário ter mais realismo em relação às dimensões necessárias para as instalações técnicas do edifício, Para alcançar esse objetivo, duas perguntas eram críticas:

- 1. Qual é o tamanho dos shafts que precisamos dimensionar?
- 2. Qual é o espaço técnico que precisamos reservar no edifício?

Obviamente, num cenário de projeto multidisciplinar, o engenheiro de serviços prediais realizaria esses cálculos. No entanto, para que o projeto arquitetônico sofresse o menor número de alterações possíveis no futuro, considerou-se que era necessário ter um valor aproximado de quais seriam as dimensões desses espaços no edifício.

Para realizar essas estimativas, precisávamos saber qual seria a quantidade de energia térmica que precisaríamos suprir ou retirar do edifício, para então alcançar uma dimensão dos volumes dos dutos principais de ventilação que precisaríamos para realizar a refrigeração do edifício e o número de equipamentos para isso, em especial as unidades de tratamento de ar (*Air Handling Units* - *AHU*),

Utilizando como base um sistema de ventilação *All air system*, foi necessário dimensioná-lo pensando nos picos de energia que seriam necessários para refrigerar o dia mais quente do ano ou

aquecer o dia mais frio. Para isso, realizaremos um estudo de ganho de cargas térmicas no verão (*summer cooling loads*) e de perda de cargas térmicas no inverno (*winter heating loads*).

Faremos essas estimativas baseando-se no método de cálculo de cargas do “Carrier System Design Manual. Part 1, Load Estimating” (CARRIER, 1972).

Entendendo que o edifício deve estar preparado para a situação mais extrema, calcularemos essas cargas para entender qual delas é a maior e, a partir dessa carga, fazer um dimensionamento básico da área de *shafts* necessária no edifício e do número de *Air Handling Units*, Esse último valor nos indicará qual é o espaço necessário de área técnica para a instalação desses equipamentos, que geralmente são os que mais ocupam área técnica em um edifício.

Obtendo a áreas dos shafts e, o número e modelo das AHUs, não prosseguiremos com as especificação das AHUs (dimensionamento de *coils*, suprimento de calor, especificação de filtros, etc) por entender que isso é matéria da engenharia.

CÁLCULO DAS CARGAS DE RESFRIAMENTO NO VERÃO

RESUMO DA ABORDAGEM PARA SISTEMA ALL AIR

As cargas de projeto para resfriamento do verão podem ser calculadas por:

Q\_{TOTAL} = Q\_{Sensivel} + Q\_{Latente} [W] (Tabela 16)

Onde a carga sensível é expressa por:

Q\_S = Q\_{OP,T,E} + Q\_{OP,T,NC} + Q\_{OP,T,C} + Q\_{T,T,E} + Q\_{T,I,E} + Q\_{V,S} + Q\_{INT,S}

Onde:

Q\_{OP,T,E} – Ganhos por transmissão de cargas por superfícies externas opacas [W] (ver Tabela 11)

Q\_{OP,T,NC} – Ganhos por transmissão de cargas por superfícies de espaços opacos não condicionados → Desconsiderado nesse cálculo simplificado

Q\_{OP,T,C} – Ganhos por transmissão de superfícies opacas em espaços condicionados → Desconsiderado nesse cálculo simplificado

Q\_{T,T,E} – Ganhos por transmissão de superfícies externas transparentes (por convecção) [W] (ver Tabela 7 e Tabela 11)

Q\_{T,I,E} – Ganhos por transmissão de superfícies externas transparentes [W] (por radiação) (ver Tabela 11)

Q\_{V,S} – Ganho sensível por ventilação → Desconsiderado nesse cálculo simplificado

Q\_{INT,S} – Cargas internas [W] ( ver Tabela 8 e Tabela 9) → Pontes de calor

foram desconsideradas.

As cargas latentes, por sua vez, são expressas por:

Q\_L = Q\_{V,L} + Q\_{INT,L} (ver Tabela 10)

Onde:

Q\_{V,L} – Cargas latentes de ventilação → Desconsideradas para este sistema All air.

Q\_{INT,L} – Cargas internal latentes ( ver Tabela 9)

Começando com os cálculos, precisamos inserir o clima, os parâmetros básicos de conforto, e a taxa de suprimento de ar externo (Tabela 4). Para chegar na taxa de suprimento de ar, usamos os parâmetros da norma UNI10339 (Tabela 5) a partir da nossa área da edificação (Figura 113).

| General data                      |                 |         |       | Notes                              |
|-----------------------------------|-----------------|---------|-------|------------------------------------|
| Location                          | Milan           |         | -     |                                    |
| External design temperature       | T <sub>e</sub>  | 34      | °C    | *Value between 5 and 17 °C         |
| Daily thermal amplitude*          | ΔT <sub>e</sub> | 12      | °C    | **Value between:                   |
| Maximum external absolut humidity | X <sub>e</sub>  | 14.4    | g/kg  | Vertical walls: 100 e 700 kg/mq    |
| Latitude                          |                 | 45      | °     | Horizontal exposed: 50 e 400 kg/mq |
| Internal design temperature       | T <sub>a</sub>  | 27      | °C    | ***Value between 150 e 730 kg/mq   |
| Internal design humidity          | X <sub>a</sub>  | 12.7    | g/kg  |                                    |
| Mass in plan***                   | M <sub>a</sub>  | 150     | kg/mq |                                    |
| External air supply renewal       | V               | 187.898 | mc/h  |                                    |

Tabela 4. Dados gerais do projeto. Fonte: Prof. Francesco Romano e autor.



| External air flow rate calculation |           |        |                 |                |              |                           |                  |                  |
|------------------------------------|-----------|--------|-----------------|----------------|--------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Areas description                  | Area (m²) | Floors | Total Area (m²) | Ns (people/m²) | Total people | External Air (L/s/person) | Simultaneity (%) | Total Air (m³/h) |
| General recreative use             | 5866      | 2      | 11732           | 0,3            | 3519,6       | 6                         | 20%              | 15.205           |
| Sport activity - Hall              | 5934      | 1      | 5934            | 0,2            | 1186,8       | 5                         | 20%              | 4.272            |
| Sports crown                       | 4489      | 3      | 13467           | 0,2            | 2693,4       | 5                         | 30%              | 14.544           |
| Bathroom                           | 228       | 3      | 684             | -              | -            | Extraction                | 50%              | -                |
| Kitchen/Bar                        | 150       | 2      | 300             | 0,8            | 240          | 11                        | 50%              | 4.752            |
| Spectators area                    | 1610      | 2      | 3220            | -              | 7864         | 5                         | 100%             | 141.552          |
| Field of game                      | 1753      | 1      | 1753            | 0,1            | 175,3        | 12                        | 100%             | 7.573            |
| Total                              | 20030     |        |                 |                |              |                           |                  | 187.898          |

Tabela 5. Cálculo do suprimento de ar externo. Source: Authors

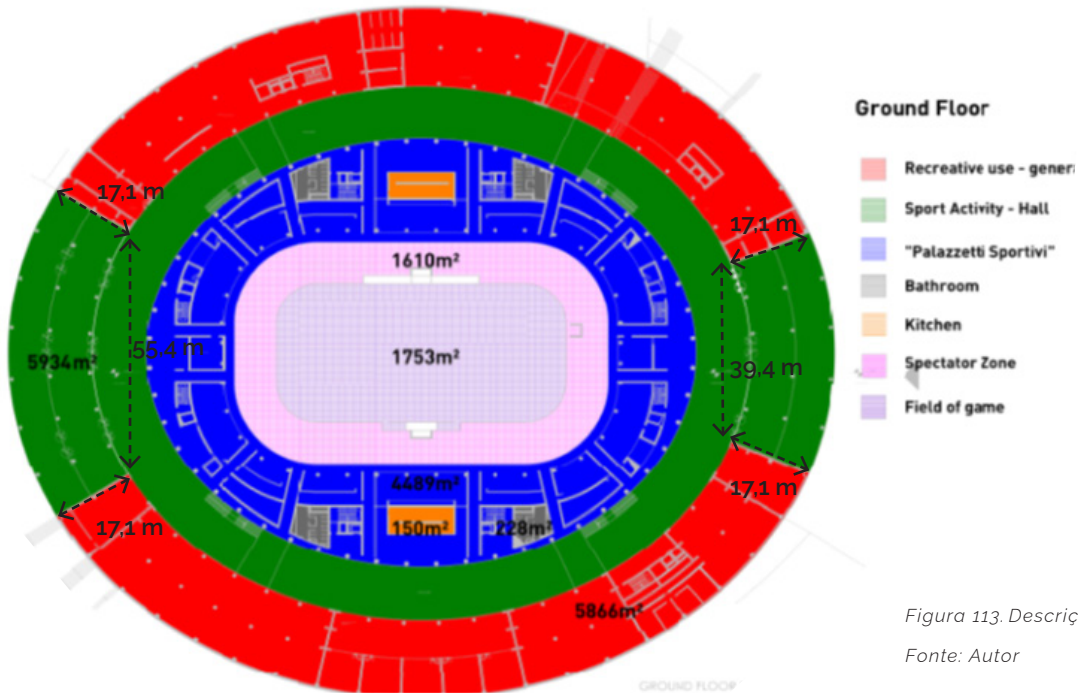


Figura 113. Descrição das áreas da arena.  
Fonte: Autor

Prosseguindo com os cálculos, precisamos simplificar a geometria do edifício para realizar uma estimativa global (Figura 114) , projetando a forma elíptica do edifício em um paralelepípedo e realizando uma média dos parâmetros dos materiais das superfícies (Tabela 6).

### Lump sum approach

We will do a weighted envelope materials average, according to materials areas and projecting the ellipse in a shoe box

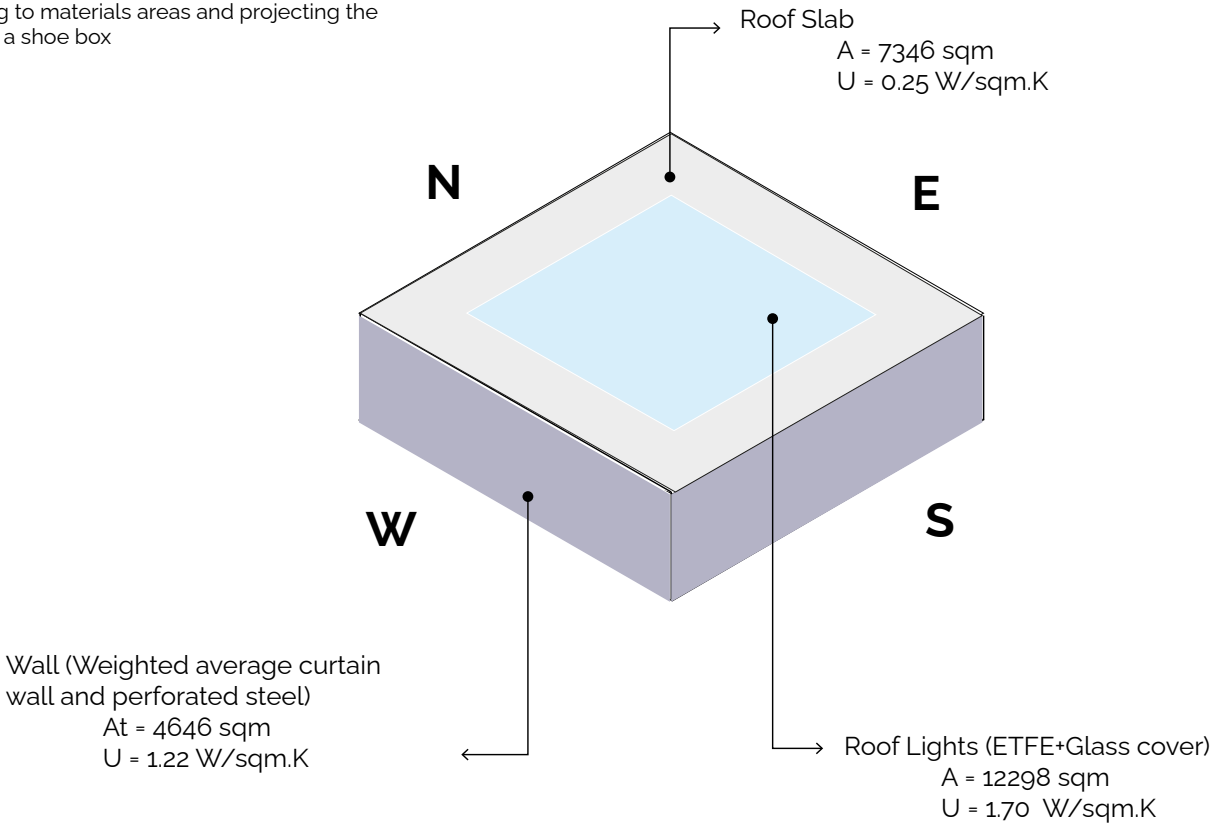


Figura 114. Abordagem simplificada do cálculo de cargas. Fonte: Autor.

| Material Properties |           |               |               |                        |                    |   |   |
|---------------------|-----------|---------------|---------------|------------------------|--------------------|---|---|
|                     | ETFE      | Curtain wall  | Kallwall      | Perforated Steel (40%) | Roof slab approx.  | Roof Lights Approx.   | Sum Walls Approx.   |
| Obs.                | Catalogue | Double glazed | Insulated FRP | Catalogue              | Standard reference | (U <sub>e</sub> *A <sub>e</sub> + U <sub>g</sub> *A <sub>g</sub> ) / A <sub>t</sub> | (U <sub>cw</sub> *A <sub>cw</sub> + U <sub>pf</sub> *A <sub>pf</sub> ) / A <sub>t</sub> |
| Mass (kg/m²)        | 9,52      | 125,00        | 16,00         | 7,10                   | 200,00             | 150   | 150   |
| U (W/m²K)           | 1,96      | 1,50          | 1,25          | 60%                    | 0,25               | 1,70  | 1,22  |

| Envelope Areas |                  |       |                   |
|----------------|------------------|-------|-------------------|
| Roof           |                  |       |                   |
|                |                  | A[m²] | A [m²]            |
| Roof Light     | ETFE             | 7801  | Roof slab<br>7346 |
|                | Kallwall         | 4497  |                   |
|                | SubTotal         | 12298 |                   |
| Total Roof     |                  |       | 19644             |
| Walls          |                  |       |                   |
|                |                  |       | A [m²]            |
| Walls          | Curtain Wall     |       | 2839              |
|                | Perforated Steel |       | 1807              |
| Total Floor    |                  |       | 4646              |
| Area/Façade    |                  |       | 1162              |

Tabela 6. Dados dos materiais utilizados no cálculo. Fonte: Autores.

Indo além, determinamos as condições para o nosso envelope do edifício (notar que estamos usando apenas fachadas cortina nos limites exteriores) (Tabela 7).

| Envelope data approximation |                 |                     |                |                |     |                      |                |
|-----------------------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|-----|----------------------|----------------|
|                             | Opaque surfaces |                     |                | Windows        |     |                      |                |
| Exposition                  | U <sub>p</sub>  | M <sub>f,p</sub> ** | S <sub>p</sub> | U <sub>F</sub> | f   | F=SC F <sub>vs</sub> | S <sub>F</sub> |
|                             | W/(mq K)        | kg/mq               | mq             | W/(mq K)       | -   | -                    | mq             |
| North                       | 0,00            | 150                 | 0,0            | 1,22           | 0,9 | 0,7                  | 1161,5         |
| East                        | 0,00            | 150                 | 0,0            | 1,22           | 0,9 | 0,7                  | 1161,5         |
| West                        | 0,00            | 150                 | 0,0            | 1,22           | 0,9 | 0,7                  | 1161,5         |
| South                       | 0,00            | 150                 | 0,0            | 1,22           | 0,9 | 0,7                  | 1161,5         |
| Horizontal covered          | 0,25            | 200                 | 7346           |                |     |                      |                |
| Horizontal exposed          | 1,70            | 150                 | 12298          |                |     |                      |                |

Tabela 7. Dados do envelope. Fonte: Prof. Francesco Romano e autores.



O próximo passo é calcular as cargas latentes para o nosso caso. Começamos calculando as cargas internas baseadas na norma EN 12831 (Tabela 8 and Tabela 9) e continuamos a calcular essas cargas internas numa abordagem horária para alcançar a máxima carga latente (Tabela 10).

| Internal Loads          |              |                   |               |                  |               |                  |
|-------------------------|--------------|-------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
| People loads            | Total people | Simultaineity (%) | Qint,S,pp (W) | Total int,S (kW) | Qint,L,pp (W) | Total int,L (kW) |
| General recreative use  | 3519,6       | 20%               | 70            | 49,3             | 65            | 228,8            |
| Sport activity - Hall   | 1186,8       | 20%               | 70            | 16,6             | 265           | 314,5            |
| Sports crown            | 2693,4       | 30%               | 75            | 60,6             | 80            | 215,5            |
| Kitchen/Bar             | 240          | 50%               | 70            | 8,4              | 115           | 27,6             |
| Spectators area         | 7864         | 100%              | 80            | 629,1            | 200           | 1572,8           |
| Field of game           | 175,3        | 100%              | 210           | 36,8             | 450           | 78,9             |
| Total int,p (kW)        |              |                   |               | 800,8            | 2438,0        |                  |
| Equipament (negligible) |              |                   |               |                  |               |                  |
|                         |              |                   |               |                  | Qint,S,app    | Qint,L,app       |
|                         |              |                   |               |                  | 0             | 0                |
| Total Qint (kW)         |              |                   |               |                  |               | 3238,9           |

Tabela 8. Cálculo de cargas internas. Fonte: Autores.

| Latent Loads [W]    |          |           |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|
|                     |          |           |      |      |      |      |      |      |
| Time of the day     |          | 4         | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
| INFILTRATION        |          | 74,1      | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 |
| INTERNAL LOADS      | Constant | 0,0       | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
|                     | Variable | 0,0       | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  |
| Total               |          | 74,1      | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 |
| MAXIMUM LATENT LOAD |          | 1.651.759 |      |      |      |      |      |      |

| Internal loads                   |                          |          |   |
|----------------------------------|--------------------------|----------|---|
| Constant sensible internal loads | Q <sub>int,s, cost</sub> | 134891,1 | W |
| Constant latent internal loads   | Q <sub>int,L, cost</sub> | 786348   | W |

| Total internal loads | Hour | Constant                 | Variable                | Constant                 | Variable                |
|----------------------|------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                      | H    | Q <sub>int,s, cost</sub> | Q <sub>int,s, var</sub> | Q <sub>int,L, cost</sub> | Q <sub>int,L, var</sub> |
|                      | h    | W                        | W                       | W                        | W                       |
|                      | 8    | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 9    | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 10   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 11   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 12   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 13   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 14   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 15   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 16   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 17   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 18   | 134891,1                 | 665933                  | 786348                   | 1651685                 |
|                      | 19   | 134891,1                 | 665933                  | 786348                   | 1651685                 |
|                      | 20   | 134891,1                 | 665933                  | 786348                   | 1651685                 |
|                      | 21   | 134891,1                 | 665933                  | 786348                   | 1651685                 |
|                      | 22   | 134891,1                 | 665933                  | 786348                   | 1651685                 |
|                      | 23   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |
|                      | 24   | 134891,1                 | 0                       | 786348                   | 0                       |

Tabela 9. Distribuição de cargas internas ao longo do dia. Fonte: Prof. Francesco Romano e autor.

| 11   | 12   | 13   | 14   | 15        | 16        | 17        | 18        | 19   | 20   |
|------|------|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|
| 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1      | 74,1      | 74,1      | 74,1      | 74,1 | 74,1 |
| 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0       | 0,0  | 0,0  |
| 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 1651685,0 | 1651685,0 | 1651685,0 | 1651685,0 | 0,0  | 0,0  |
| 74,1 | 74,1 | 74,1 | 74,1 | 1651759,1 | 1651759,1 | 1651759,1 | 1651759,1 | 74,1 | 74,1 |
|      |      |      |      |           |           |           |           |      |      |

Tabela 10. Cálculo da carga latente máxima no verão. Fonte: Prof. Francesco Romano e autores.

Com isso as cargas latentes em mãos, conseguimos realizar um cálculo horário das cargas externas sensíveis por transmissão no dia mais quente do verão e, somando-as, atingir a carga máxima de refrigeração para o verão (Tabela 11).

| Sensible Loads [W]    |         |              |             |         |         |         |         |         |         |
|-----------------------|---------|--------------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Time of the day       |         |              | 4           | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
| North                 | Walls   | Transmission | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
|                       | Windows | Transmission | 9.903       | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   |
| East                  | Windows | Irradiation  | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
|                       | Walls   | Transmission | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
|                       | Windows | Transmission | 9.903       | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   |
|                       | Windows | Irradiation  | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| West                  | Walls   | Transmission | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
|                       | Windows | Transmission | 9.903       | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   |
|                       | Windows | Irradiation  | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
|                       | Walls   | Transmission | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| South                 | Windows | Transmission | 9.903       | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   | 9.903   |
|                       | Windows | Irradiation  | 0           | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Hor. Covered          | Slab    | Transmission | 14.692      | 16.529  | 18.365  | 20.202  | 22.038  | 23.875  | 25.711  |
| Hor. Exposed          | Skyroof | Transmission | 167.290     | 188.201 | 209.112 | 230.023 | 250.935 | 271.846 | 292.757 |
| Infiltration          |         |              | 440.622     | 440.622 | 440.622 | 440.622 | 440.622 | 440.622 | 440.622 |
| Internal loads        |         | Constant     | Qint,s.cost | W       | 134.891 | 134.891 | 134.891 | 134.891 | 134.891 |
|                       |         | Variable     | Qint,s.var  | W       | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| Total                 |         |              | 662.217     | 684.964 | 842.603 | 865.351 | 888.099 | 910.846 | 933.594 |
| Maximum Sensible Load |         |              | 1.827.004   |         |         |         |         |         |         |

| 11      | 12      | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        | 19        | 20        |
|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 9.903   | 9.903   | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903.3   |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 9.903   | 9.903   | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903.3   |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 9.903   | 9.903   | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903.3   |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 9.903   | 9.903   | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903     | 9.903.3   |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0,0       |
| 27.548  | 29.384  | 31.221    | 33.057    | 34.894    | 36.730    | 38.567    | 40.403    | 42.240    | 44.076,0  |
| 313.668 | 334.579 | 355.491   | 376.402   | 397.313   | 418.224   | 439.135   | 460.047   | 480.958   | 501.869,0 |
| 440.622 | 440.622 | 440.622   | 440.622   | 440.622   | 440.622   | 440.622   | 440.622   | 440.622   | 440.621,9 |
| 134.891 | 134.891 | 134.891   | 134.891   | 134.891   | 134.891   | 134.891   | 134.891   | 134.891   | 134.891,1 |
| 0       | 0       | 0         | 0         | 0         | 665.933   | 665.933   | 665.933   | 665.933   | 665.933,0 |
| 956.342 | 979.089 | 1.001.837 | 1.024.585 | 1.047.333 | 1.736.013 | 1.758.761 | 1.781.509 | 1.804.256 | 1.827.004 |

Tabela 11. Cálculo da carga de refrigeração mámixa de verão. Fonte: Prof. Francesco Romano e autor.



# CÁLCULO DAS CARGAS DE AQUECIMENTO NO INVERNO

## RESUMO DA ABORDAGEM PARA ALL AIR SYSTEM

As cargas de projeto para aquecimento no inverno podem ser calculadas por:

$Q_{HL,i} = Q_{T,i} + Q_{V,i} + Q_{hu,i}$  ( ver Tabela 15)

Onde:

$Q_{T,i}$ - Perda de cargas térmicas por transmissão [W] (ver Tabela 12)

$Q_{V,i}$ - Perda de cargas térmicas por ventilação [W] → Desprezadas por ser um *All-Air System*

$Q_{hu,i}$ - Potência de aquecimento adicional para o funcionamento intermitante do aquecimento [W] (ver Tabela 14)

A perda de cargas pela transmissão é calculada da seguinte maneira:

$Q_T = Q_{T,ie} + Q_{T,iae} + Q_{T,ia} + Q_{T,ig}$  (ver Tabela 12 e Tabela 13)

Onde:

$Q_{T,ie}$  - Dispersão térmica de espaços aquecidos para o exterior [W] (ver Tabela 12)

$Q_{T,iae}$  - Dispersão térmica de espaços aquecidos para espaços internos não aquecidos [W] (ver Tabela 13)

$Q_{T,ia}$  - Dispersão térmica de espaços aquecidos para espaços aquecidos em uma temperatura inferior [W] → Desconsiderado, por não acontecer no projeto

$Q_{T,ig}$  - Dispersão térmica de espaços aquecidos para o solo [W] (ver Tabela 12).

Pode-se desprezar a perda de cargas por ventilação em sistemas *All-air*. Portanto,  $Q_v=0$  .

A potência de aquecimento adicional para o funcionamento intermitante do aquecimento é dada por:

$Q_{hu,i} = A_i \varphi_{hu,i}$  ( ver Tabela 14)

Onde:

$A_i$ –área do espaço aquecido [m²]

$\varphi_{hu,i}$ – fator de correção [W/m²]

Começamos calculando as cargas perdidas por transmissão, calculando-as para componentes opacos, transparente e horizontais (Tabela 12). As propriedades dos materiais se mantêm as mesmas do cálculo de cargas de refrigeração de verão (Tabela 6).

| TRANSMISSION                      |                        |                     |                      |                     |                |            |                |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------|------------|----------------|
| Load loss to exterior environment |                        |                     |                      |                     |                |            |                |
|                                   | Opaque components      |                     |                      |                     |                |            |                |
| Exposition                        | U <sub>p</sub> [W/m²K] | S <sub>p</sub> [m²] | ti-te [°C]           | f                   | Q1,o [W] (ext) |            |                |
| Obs.                              |                        |                     |                      | exposition          | U.A.(ti-te).f  |            |                |
| North                             | 0.91                   | 239.5               | 25                   | 1,2                 | 6538           |            |                |
| East                              | 0.91                   | 394.5               | 25                   | 1,15                | 10321          |            |                |
| West                              | 0.91                   | 407.5               | 25                   | 1,1                 | 10198          |            |                |
| South                             | 0.91                   | 244,0               | 25                   | 1                   | 5551           |            |                |
|                                   | Transparent components |                     |                      |                     |                |            |                |
|                                   | U <sub>F</sub> [w/m²K] | f                   | F=SC F <sub>vs</sub> | S <sub>F</sub> [m²] | ti-te [°C]     | f          | Q1,t [W] (ext) |
| Obs.                              |                        | Aglass              | shading              |                     |                | exposition | U.A.(ti-te).f  |
| North                             | 1.5                    | 0.9                 | 0.7                  | 528.5               | 25             | 1,2        | 23783          |
| East                              | 1.5                    | 0.9                 | 0.7                  | 708.5               | 25             | 1,15       | 30554          |
| West                              | 1.5                    | 0.9                 | 0.7                  | 130.4               | 25             | 1,1        | 5379           |
| South                             | 1.5                    | 0.9                 | 0.7                  | 512                 | 25             | 1          | 19200          |
|                                   | Horizontal components  |                     |                      |                     |                |            |                |
|                                   | U <sub>p</sub> [W/m²K] | S <sub>p</sub> [m²] | ti-te [°C]           | f                   | Q1,o [W] (ext) |            |                |
| Obs.                              |                        |                     |                      | exposition          | U.A.(ti-te).f  |            |                |
| Horizontal covered                | 0.25                   | 19644               | 25                   | 1                   | 122775         |            |                |
| Horizontal exposed                | 2.2                    | 4499                | 25                   | 1                   | 247445         |            |                |
| Total Loss to exterior (Q1) [W]   |                        |                     |                      |                     |                |            |                |
| 481.744                           |                        |                     |                      |                     |                |            |                |

Tabela 12. Perda por transmissão para o ambiente externo. Fonte: Autor.

Para espaços não aquecidos (Tabela 13), consideramos o recuo das entradas como um espaço intermediário não aquecido. As dimensões dessas paredes estão presentes na Figura 113.

| TRANSMISSION                                   |                 |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
|--|-----------------|---------------|---------------|------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|---------|
| Load loss to non heated spaces                 |                 |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
|  | Up<br>[W/m²K]   | Length[<br>m] | Height[<br>m] | Sp<br>[m²] | ti-tu [°C]        | Q2,o [W]<br>(ext) |                |                   |         |
|  |                 |               |               |            | Tab C.<br>UNI7357 | U.A.(ti-te).f     |                |                   |         |
| Curtain walls                                  | 1.5             | 94.8          | 9             | 853.2      | 10                | 12798             |                |                   |         |
| Opaque walls                                   | 0.91            | 68.4          | 9             | 615.6      | 10                | 5602              |                |                   |         |
| Total Loss to unheated spaces<br>(Q2) [W]      |                 |               |               |            |                   | 18,400            |                |                   |         |
| Thermal bridges losses                         |                 |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
| Approximation                                  | 15% of<br>Q1+Q2 |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
| Obs.   | Reference       |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
| Total Loss through thermal<br>bridges (Q3) [W] | 75022           |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
| Load loss to the ground                        |                 |               |               |            |                   |                   |                |                   |         |
|  | Up<br>[W/m²K]   | Length[<br>m] | Depth[<br>m]  | Sp<br>[m²] | t gw [°C]         | ti - tgw          | λgr.<br>[W/mK] | Ut<br>[W/M²K]     | Qgr     |
| Obs.   |                 |               |               |            | ground<br>water   |                   | Referenc<br>e  | 1/(1/Up+h<br>/λg) |         |
| Ground slab                                    | 0.25            |               | 4.5           | 13173      | 15                | 5                 | 2.3            | 0.17              | 11058   |
| Opaque walls                                   | 0.35            | 445           | 6             | 2670       | 15                | 5                 | 2.9            | 0.20              | 2710    |
| Total Loss to the ground (Q4) [W]              |                 |               |               |            |                   |                   |                |                   | 13768   |
| Total Loss due to transmittance<br>(QT) [W]    |                 |               |               |            |                   |                   |                |                   | 588.933 |

Tabela 13. Perdas por transmissão para ambientes não aquecido. Fonte: Autor.



A potência de aquecimento adicional pode ser calculada considerando um fator de correção de 16 W/m² (de acordo com a EN 12831:2017) e a área total aquecida do edifício (Tabela 14).

| HEATING UP                             |       |       |         |
|--|-------|-------|---------|
| Additional Heating Up                  |       |       |         |
|  | fhu,i | Area  | Qhui    |
|  | 16    | 24143 | 386288  |
| Total Loss due to Heating Up (Qhu) [W] |       |       | 386.288 |

Tabela 14. Potência de aquecimento adicional. Fonte: Autor.

Com esses cálculos em mão, podemos somá-los e encontrar o valor total das cargas de projeto de aquecimento de inverno (Tabela 15).

| TOTAL WINTER DESIGN HEAT LOAD (ALL AIR SYSTEM) |         |
|--|---------|
| Q1 - Loss to exterior                          | 481.744 |
| Q2 - Loss to unheated spaces                   | 18.400  |
| Q3 - Loss through thermal bridges              | 75.022  |
| Q4 - Loss due to transmittance                 | 588.933 |
| Qhu - Loss due to Heating Up                   | 386.288 |
| Qtot [kW]                                      | 1550    |

Tabela 15. Carga de projeto de aquecimento de inverno total. Fonte: Autor.

Podemos comparar os valores das cargas de verão e inverno e descobrir que a carga de resfriamento necessário no verão será maior. Portanto, ela servirá como parâmetro para o cálculo da taxa de fluxo de ar  $V_{supply}$  da Tabela 18 e do dimensionamento dos shafts da Tabela 19.

| Summer Cooling Load Supply |             |            |               |           |
|----------------------------|-------------|------------|---------------|-----------|
| Qsensible [W]              | Qlatent [W] | Qtotal [W] | Nº Heat pumps | Q/HP [kW] |
| 1.827,004                  | 1.651.759   | 3.478.763  | 9             | 387       |

| Winter Heating Load Supply |            |           |               |           |
|----------------------------|------------|-----------|---------------|-----------|
| Qsensible(W)               | Qlatent(W) | Qtotal(W) | Nº Heat pumps | Q/HP [kW] |
| 1.550,386                  | 0          | 1.550.386 | 4             | 388       |

Tabela 16. Cargas de projeto de inverno e verão total e número de bombas de calor necessárias Fonte: Autor.

De acordo com as condições de projeto (Tabela 17), podemos calcular o suprimento de ar total para o controle de temperatura para as unidades de tratamento de ar (AHU), somando as taxas de fluxo de ar primárias (externa) e de recirculação (Tabela 18). Desconsideramos o suprimento para controle de umidade.

| Design Conditions |                       |               |                   |                  |              |                   |                         |                            |
|-------------------|-----------------------|---------------|-------------------|------------------|--------------|-------------------|-------------------------|----------------------------|
| Variable          | Ma fresh [kg/s]       | Vfresh [m³/s] | c p,air [kJ/kg.K] | T air,amb,sp     | T air,in     | r [kJ/kg]         | ha                      | he                         |
| Obs.              | Sanitary requirements | Airflow rate  | specific heat     | T design ambient | T intro. ref | latent vapor heat | design relative humidty | external relative humidity |
| Summer            | 62,6                  | 52,2          | 1.012             | 26               | 14           | 2416              | 50%                     | 50%                        |
| Winter            | 62,6                  | 52,2          | 1.012             | 20               | 35           | 2416              | 50%                     | 80%                        |

Tabela 17. Condições de projeto. Source: authors.

| Air supply for temperature control |                       |                            |                          |                     |                    |                           |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|
|                                    | Ma primary [kg/s]     | Ma supply[kg/s]            | Ti [°C]                  | Vprimary [m³/s]     | Vsupply [m³/s]     | Vrecirc [m³/s]            |
| Obs.                               | Sanitary requirements | Qs / c p,air . (+-Ti +-Ta) | Ti,w = Ta + Qs/(Ma . cp) | Ma primary /density | Ma supply/ density | Vrec = Vsupply - Vprimary |
| Summer                             | 62.6                  | 150.44                     | 26                       | 52.2                | 125.37             | 73.18                     |

Tabela 18. Suprimento de ar para controle de temperatura. Source: authors.

Com as necessidades de suprimento de ar, podemos selecionar qual unidade de tratamento de ar (AHU) usar no edifício, considerando a existência de 6 grandes núcleos verticais para a distribuição da ventilação . A Tabela 19 estabelece os requisitos mínimos e mostra como a AHU foi selecionada.

| AHU Selection |                 |                    |         |                  |                     |                 |
|---------------|-----------------|--------------------|---------|------------------|---------------------|-----------------|
| Variable      | Air speed (m/s) | Cross section (m²) | Nº AHUs | Section/AHU [m²] | Air flow/AHU [m³/s] | Model Dimension |
| Obs.          | Catalogue       | Vsupply/Air speed  | In plan | Shaft area       | Catalogue           | FM 614          |
| Value         | 3,5             | 35,82              | 6       | 6,0              | 20,90               | 2,24m x 3,2m    |

Tabela 19. Cálculo da área da seção da AHU e seleção do modelo. Fonte: autor.

|     |      |      | Dimensions ext. |      | Dimensions int. |                | Coils surface | Flow m³/s           |       |       |       | Flow m³/h           |        |        |        | INCR. |
|-----|------|------|-----------------|------|-----------------|----------------|---------------|---------------------|-------|-------|-------|---------------------|--------|--------|--------|-------|
| FM  | hm   | wm   | h               | w    | h <sub>i</sub>  | w <sub>i</sub> |               | Face velocity [m/s] |       |       |       | Face velocity [m/s] |        |        |        |       |
|     | mod  | mod  | mm              | mm   | mm              | mm             | m²            | 2,0                 | 2,5   | 3     | 3,5   | 2,0                 | 2,5    | 3,0    | 3,5    |       |
| 13  | 0,75 | 1    | 645             | 735  | 410             | 620            | 0,13          | 0,25                | 0,32  | 0,38  | 0,44  | 907                 | 1.134  | 1.361  | 1.588  |       |
| 20  | 1    | 1    | 805             | 735  | 570             | 620            | 0,20          | 0,40                | 0,50  | 0,60  | 0,71  | 1.452               | 1.814  | 2.177  | 2.540  | 60,0% |
| 28  | 1    | 1,25 | 805             | 895  | 570             | 780            | 0,28          | 0,56                | 0,70  | 0,84  | 0,97  | 2.004               | 2.506  | 3.007  | 3.508  | 38,1% |
| 35  | 1    | 1,5  | 805             | 1055 | 570             | 940            | 0,35          | 0,70                | 0,87  | 1,04  | 1,22  | 2.506               | 3.132  | 3.758  | 4.385  | 25,0% |
| 42  | 1    | 1,75 | 805             | 1215 | 570             | 1100           | 0,40          | 0,85                | 1,06  | 1,27  | 1,49  | 3.059               | 3.823  | 4.588  | 5.352  | 22,1% |
| 50  | 1    | 2    | 805             | 1375 | 570             | 1260           | 0,50          | 1,00                | 1,25  | 1,50  | 1,76  | 3.612               | 4.514  | 5.417  | 6.320  | 18,1% |
| 57  | 1,5  | 1,5  | 1125            | 1055 | 890             | 940            | 0,57          | 1,13                | 1,41  | 1,70  | 1,98  | 4.072               | 5.090  | 6.107  | 7.125  | 12,7% |
| 69  | 1,5  | 1,75 | 1125            | 1215 | 890             | 1100           | 0,70          | 1,38                | 1,73  | 2,07  | 2,42  | 4.970               | 6.213  | 7.455  | 8.698  | 22,1% |
| 82  | 1,5  | 2    | 1125            | 1375 | 890             | 1260           | 0,80          | 1,63                | 2,04  | 2,45  | 2,85  | 5.869               | 7.336  | 8.803  | 10.270 | 18,1% |
| 105 | 1,5  | 2,5  | 1125            | 1695 | 890             | 1580           | 1,06          | 2,11                | 2,63  | 3,16  | 3,69  | 7.582               | 9.477  | 11.372 | 11.372 | 29,2% |
| 119 | 2    | 2    | 1445            | 1375 | 1210            | 1260           | 1,20          | 2,38                | 2,98  | 3,57  | 4,17  | 8.577               | 10.722 | 12.866 | 15.010 | 13,1% |
| 154 | 2    | 2,5  | 1445            | 1695 | 1210            | 1580           | 1,54          | 3,08                | 3,85  | 4,62  | 5,39  | 11.081              | 13.851 | 16.621 | 19.391 | 29,2% |
| 194 | 2,5  | 2,5  | 1765            | 1695 | 1530            | 1580           | 1,93          | 3,89                | 4,86  | 5,83  | 6,80  | 13.997              | 17.496 | 20.995 | 24.494 | 26,3% |
| 237 | 2,5  | 3    | 1765            | 2015 | 1530            | 1900           | 2,37          | 4,74                | 5,92  | 7,11  | 8,29  | 17.055              | 21.319 | 25.583 | 29.847 | 21,9% |
| 286 | 3    | 3    | 2085            | 2015 | 1850            | 1900           | 2,86          | 5,72                | 7,16  | 8,59  | 10,02 | 20.609              | 25.761 | 30.913 | 36.065 | 20,8% |
| 342 | 3    | 3,5  | 2085            | 2335 | 1850            | 2200           | 3,42          | 6,84                | 8,55  | 10,26 | 11,97 | 24.618              | 30.772 | 36.926 | 43.081 | 19,5% |
| 413 | 3,5  | 3,5  | 2405            | 2335 | 2170            | 2200           | 4,13          | 8,25                | 10,32 | 12,38 | 14,44 | 29.711              | 37.139 | 44.566 | 51.994 | 20,7% |
| 480 | 3,5  | 4    | 2405            | 2655 | 2170            | 2540           | 4,80          | 9,60                | 12,00 | 14,40 | 16,79 | 34.549              | 43.187 | 51.824 | 51.824 | 16,3% |
| 547 | 3,5  | 4,5  | 2405            | 2975 | 2170            | 2860           | 5,47          | 10,94               | 13,68 | 16,41 | 19,15 | 39.388              | 49.235 | 59.081 | 68.928 | 14,0% |
| 614 | 3,5  | 5    | 2405            | 3295 | 2170            | 3180           | 6,14          | 12,29               | 15,36 | 18,43 | 21,50 | 44.226              | 55.283 | 66.339 | 77.396 | 12,3% |
| 681 | 3,5  | 5,5  | 2405            | 3615 | 2170            | 3500           | 6,81          | 13,63               | 17,04 | 20,44 | 23,85 | 49.064              | 61.331 | 73.597 | 85.863 | 10,9% |
| 749 | 3,5  | 6    | 2405            | 3935 | 2170            | 3820           | 7,49          | 14,97               | 18,72 | 22,46 | 26,20 | 53.903              | 67.379 | 80.854 | 94.330 | 9,9%  |
| 816 | 3,5  | 6,5  | 2405            | 4255 | 2170            | 4140           | 8,16          | 16,32               | 20,40 | 24,48 | 28,55 | 58.741              | 73.427 | 88.112 | 88.112 | 9,0%  |
| 883 | 3,5  | 7    | 2405            | 4575 | 2170            | 4460           | 8,83          | 17,66               | 22,08 | 26,49 | 30,91 | 63.580              | 79.475 | 95.369 | 95.369 | 8,2%  |

Tabela 20. Escolha da AHU: FAST FM Series 614. Fonte: Catálogo da FAST FM Series.

Tendo a velocidade do ar fornecida pela AHU, podemos continuar e calcular a área total da seção dos dutos que conectam as AHUs com o exterior (Tabela 21). Essa área é relativamente grande (29,8 m²), o que justificou a criação de um túnel de conexão com o exterior no projeto. Além disso, somando as áreas de suprimento de ar e de retorno de ar, obtivemos uma área de 11,9 m² para cada *shaft* de um núcleo vertical. A Figura 115 mostra a qual fluxo de ar cada área encontrada anteriormente é relativa.

Vemos com esse estudo que, sem realizar o dimensionamento dos *shafts* de antemão, o projeto arquitetônico poderia ser muito impactado, dado seus tamanhos expressivos.

| Ducts Sizing per AHU |                     |                     |                      |                        |                      |  |   |
|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|------------------------|----------------------|--|---|
| Variable             | A <sub>supply</sub> | A <sub>recirc</sub> | A <sub>primary</sub> | A <sub>extract</sub>   | A <sub>leakage</sub> | A <sub>exterior</sub>                              | A/ <sub>shaft</sub>   |
| Obs.                 | V/Air speed /NºAHU  | V/Air speed /NºAHU  | V/Air speed /NºAHU   | = A <sub>primary</sub> | Neglected            | (A <sub>fresh</sub> +A <sub>extract</sub> ) *#AHUs | A <sub>supply</sub> +A <sub>recirc</sub> + A <sub>primary</sub> |
|                      | 6.0                 | 3.5                 | 2.5                  | 2.5                    | 0                    | 29.8   | 11.9  |

Tabela 21. Ideal ducts cross section. Source: authors

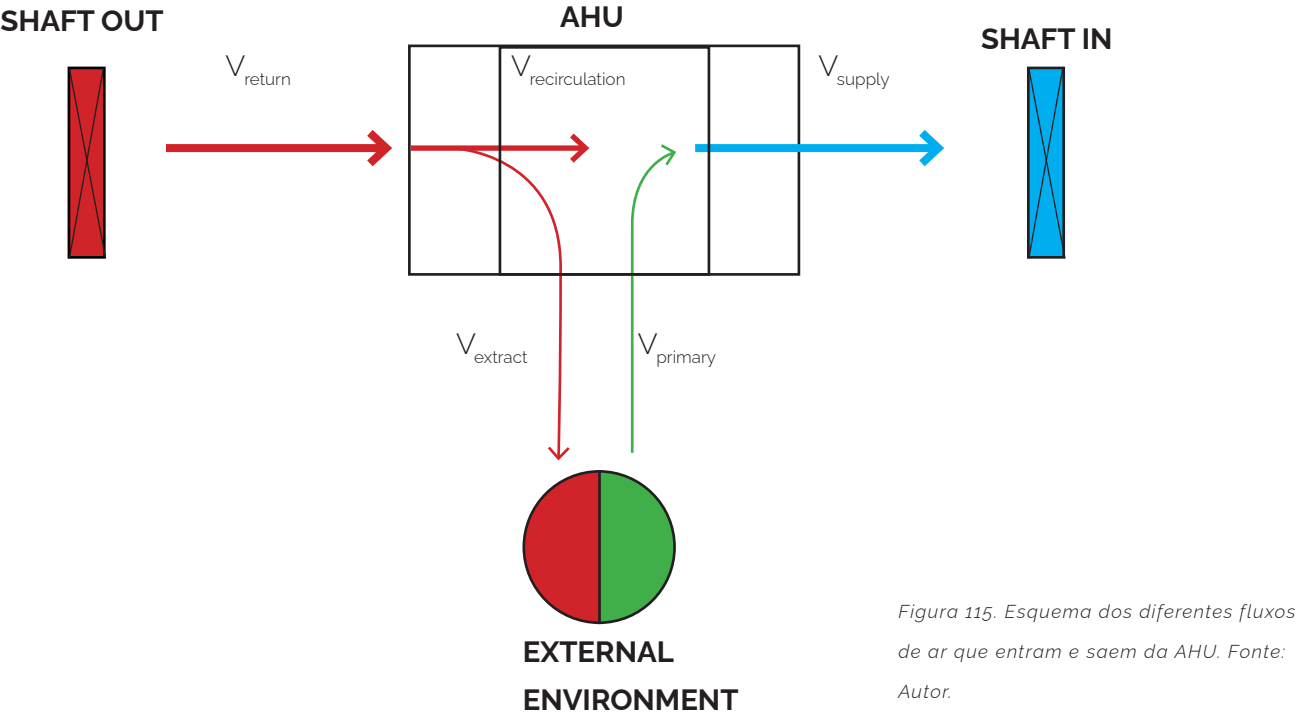


Figura 115. Esquema dos diferentes fluxos de ar que entram e saem da AHU. Fonte: Autor.





## ESQUEMAS DAS INSTALAÇÕES TÉCNICAS

# ESQUEMAS DE AQUECIMENTO, VENTILAÇÃO E AR CONDICIONADO (AVAC)

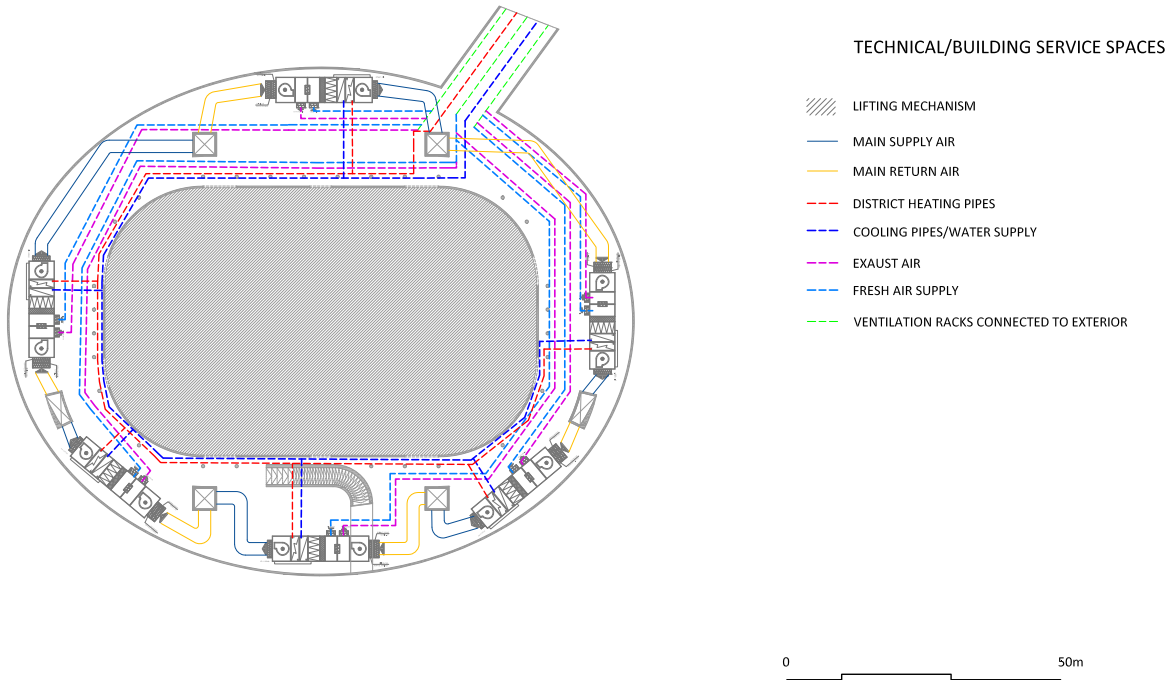


Figura 116. Planta das instalações de AVAC, ocupando todo o segundo subsolo. Source: autor.

# PLANTA DOS SERVIÇOS TÉCNICOS

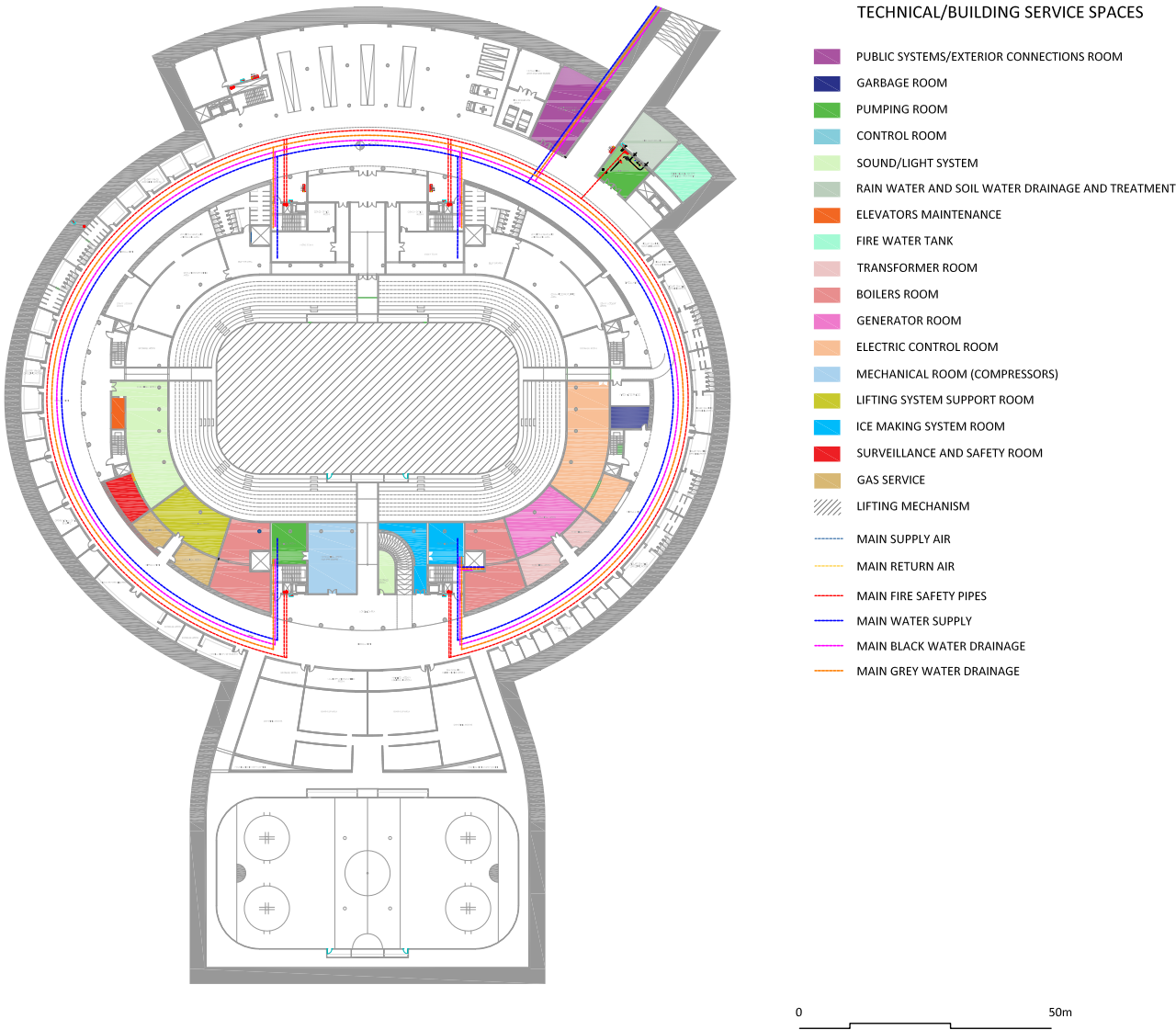


Figura 117. Espaços técnicos e de serviços, no subsolo. Fonte: Autor.



# ENTRADAS E CIRCULAÇÃO

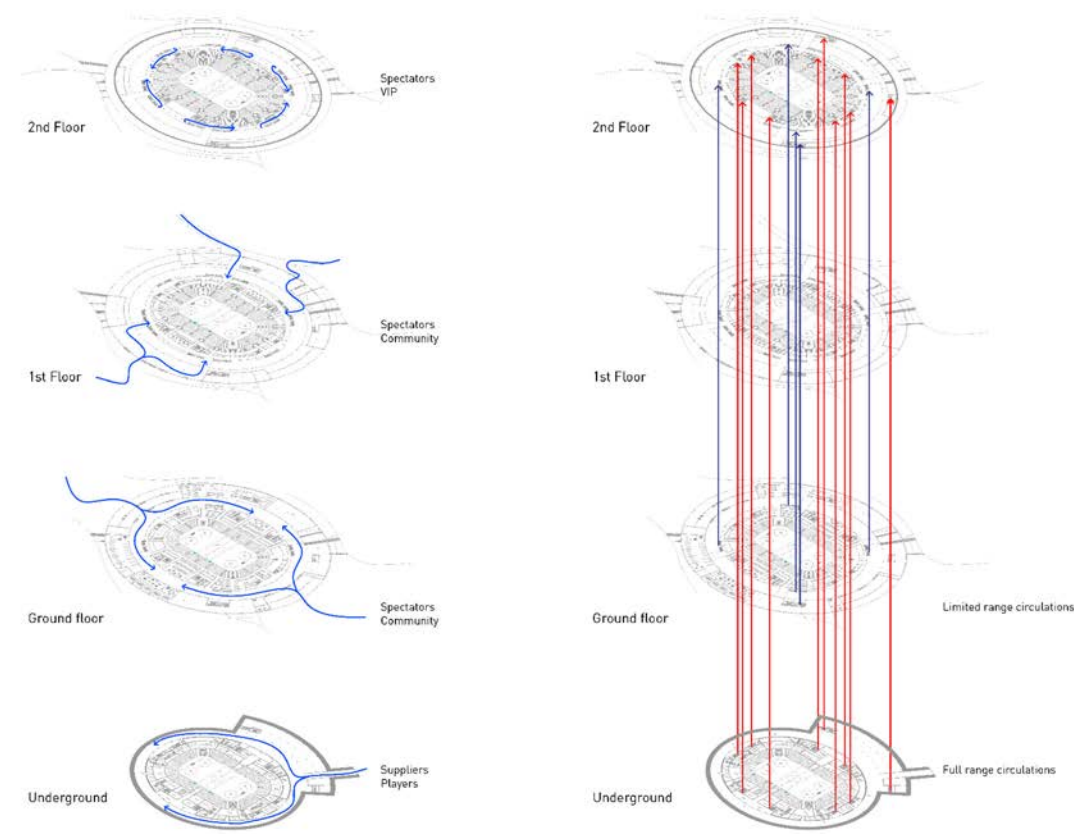


Figura 118. Entradas e circulação vertical. Fonte: autor.

# NÚCLEOS VERTICAIS DOS SERVIÇOS PREDIAIS

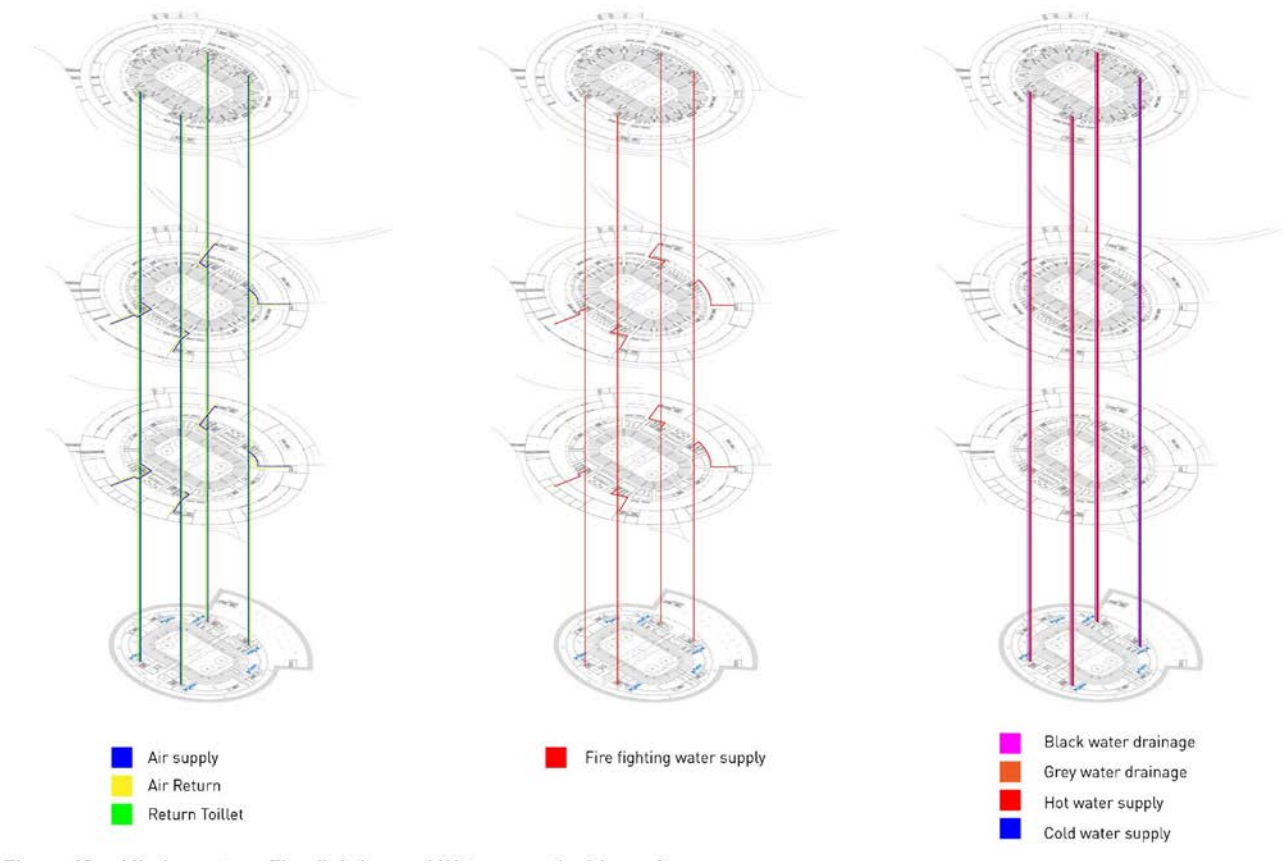


Figura 119. Núcleos de serviços prediais. Fonte: autor.

# DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA AVAC

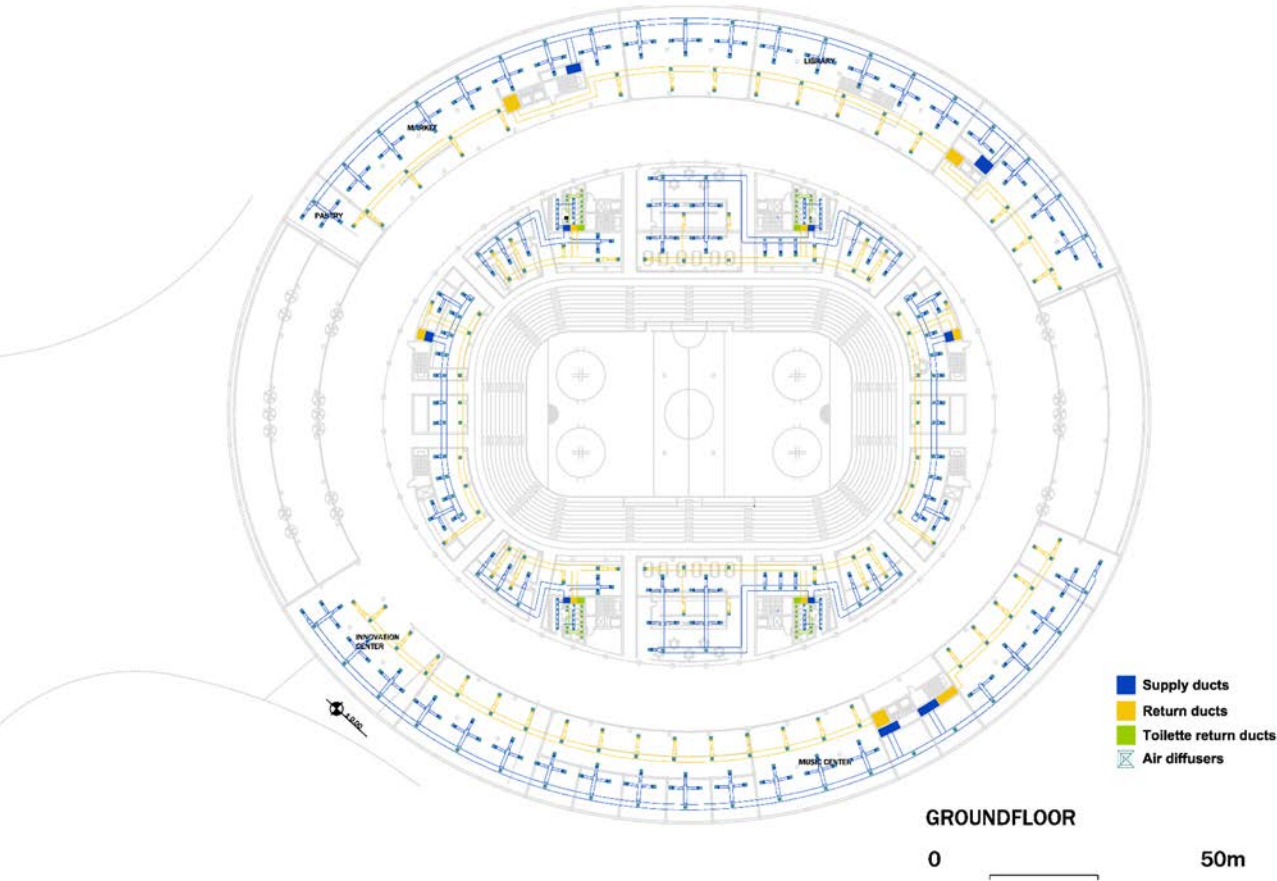


Figura 120. Distribuição do AVAC no térreo. Fonte: Autor.

# LAYOUT DO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIOS

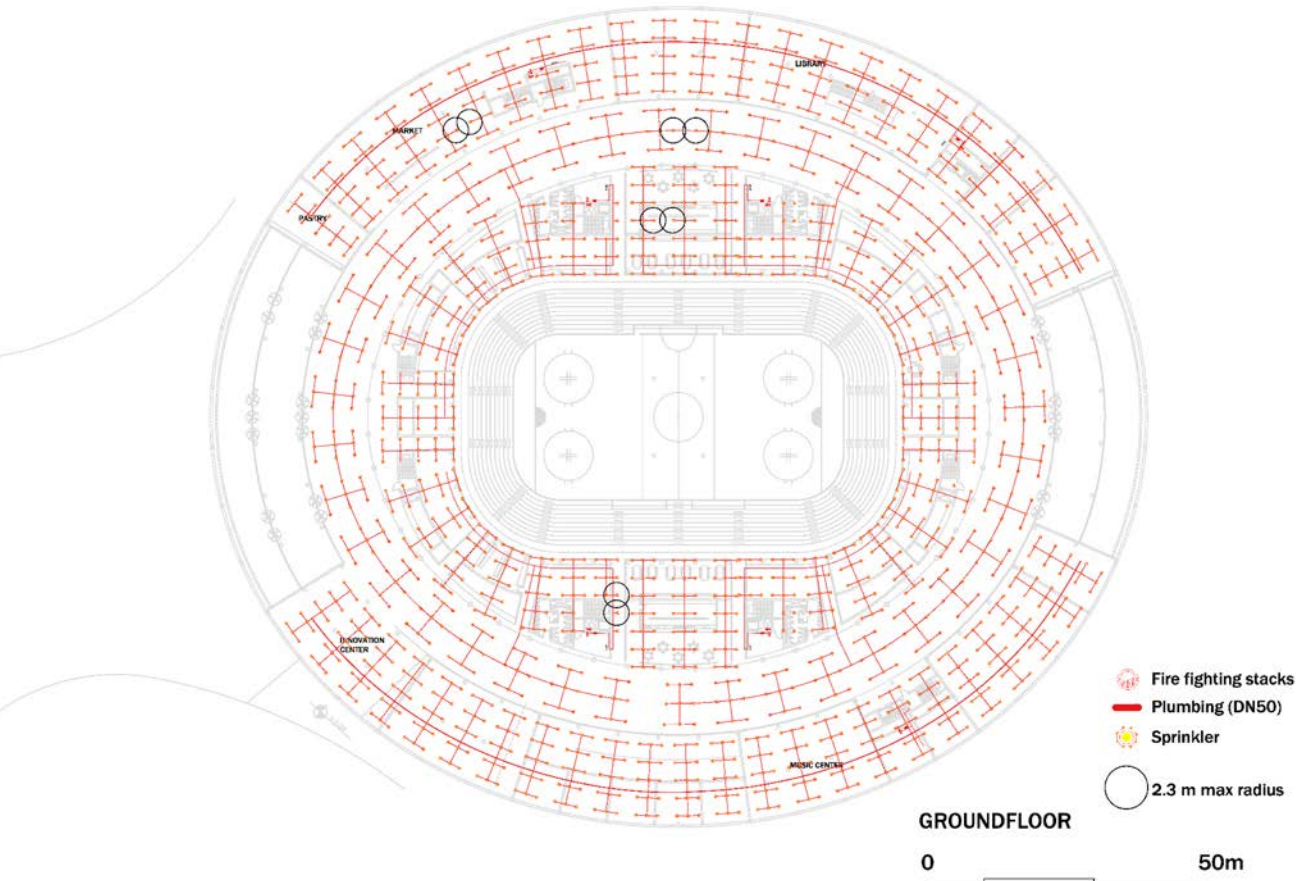


Figura 121. Layout do sistema de combate a incêndios no térreo. Fonte: autores.



ESQUEMA DA PISTA DE GELO

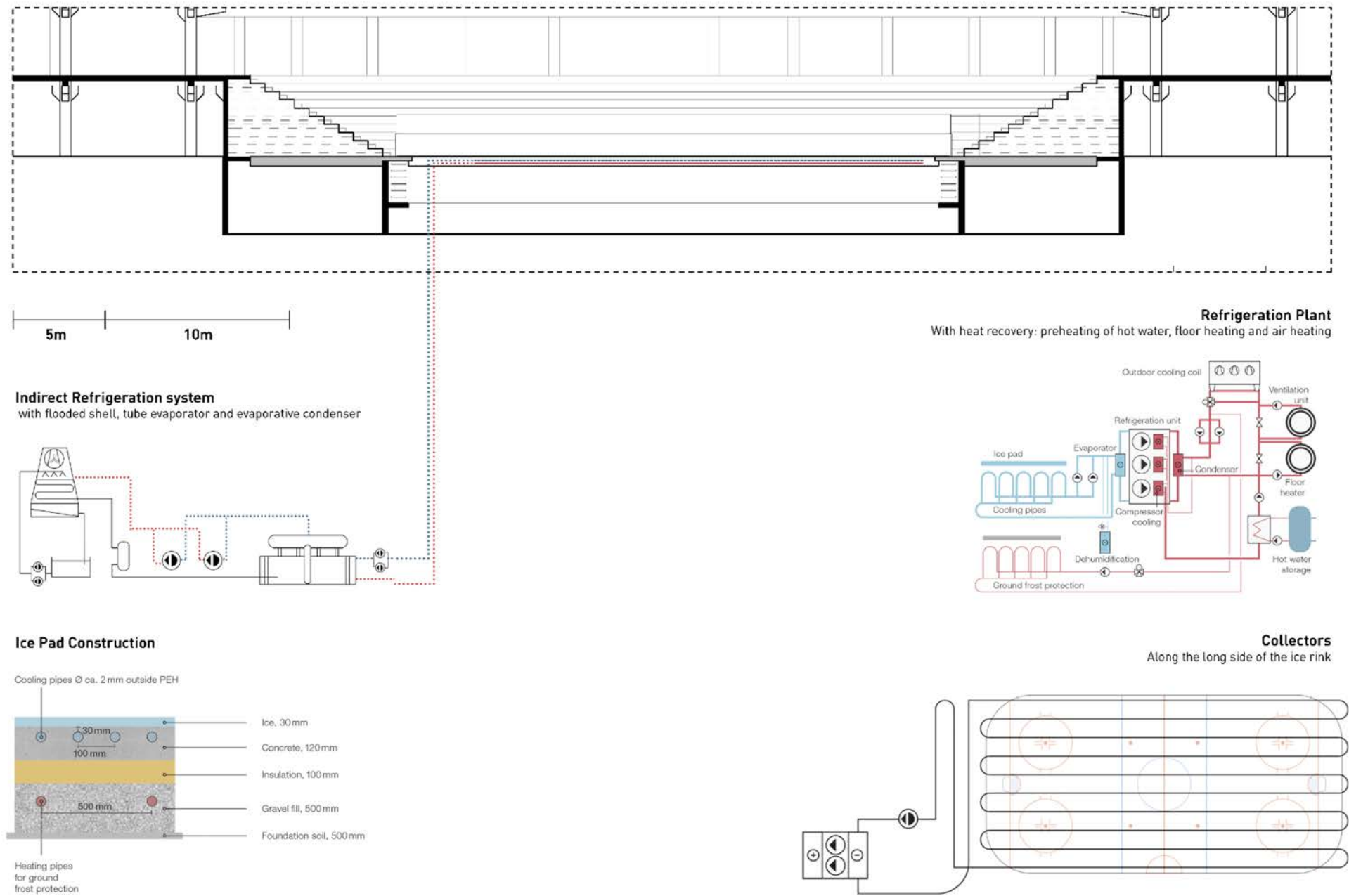
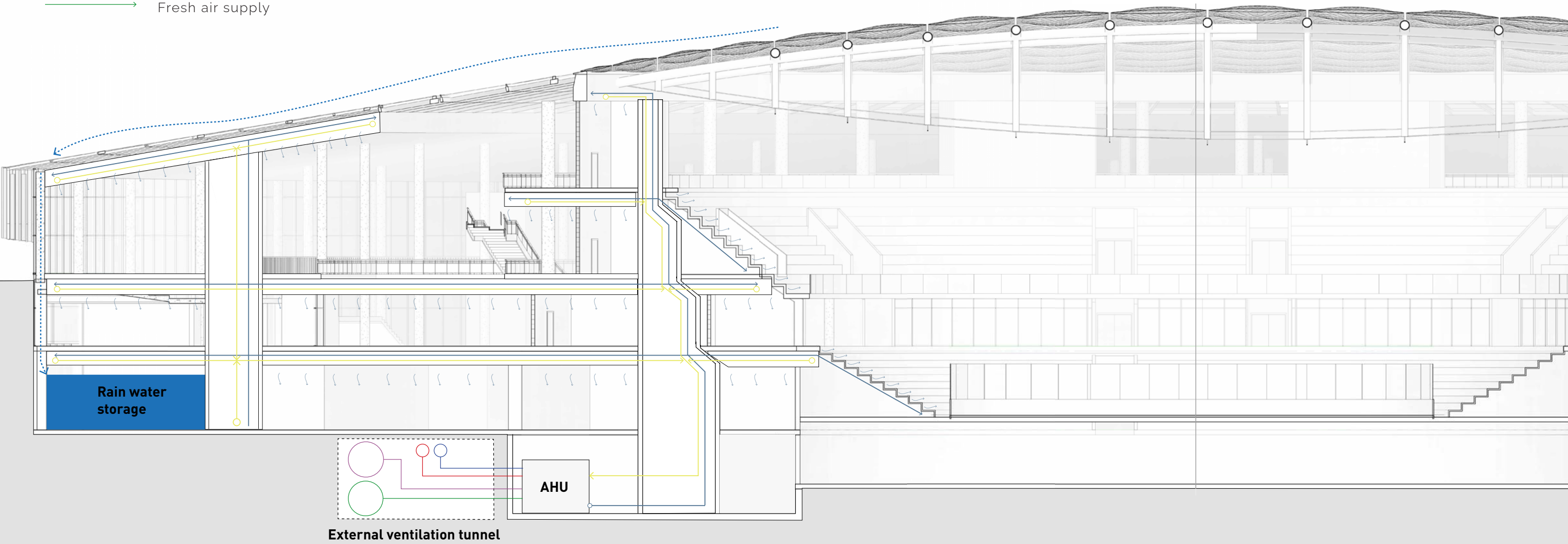


Figura 122. Seção e layout esquemático do sistema de refrigeração do rink. Fonte: Autor e IIHF.

# ESQUEMA DE OS DUTOS DE VENTILAÇÃO E DE COLETORES DE ÁGUA DE CHUVA

Figura 123. Corte esquemático dos coletores de água da chuva e distribuição do sistema AVAC. Fonte: Autor.

- Water collection
- Air supply
- Air Return
- Cooling supply
- District heating
- Exhaust air
- Fresh air supply





# AVAC - DETALHES

## VENTILAÇÃO DOS ASSENTOS

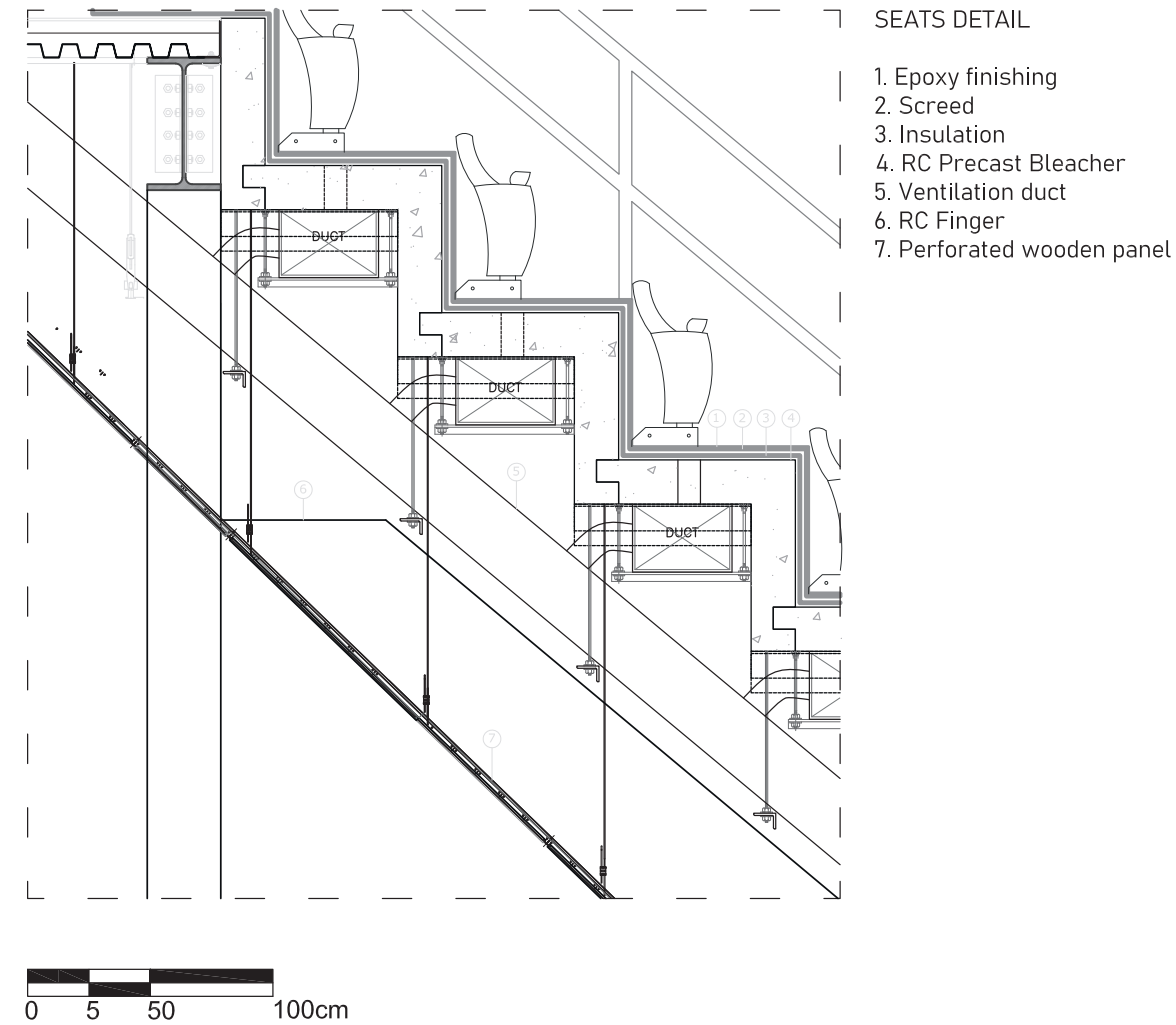


Figura 124. Detalhe da ventilação dos assentos. Fonte: autor.

## DUTOS DE VENTILAÇÃO NO ANEL EXTERNO E NA GALERIA

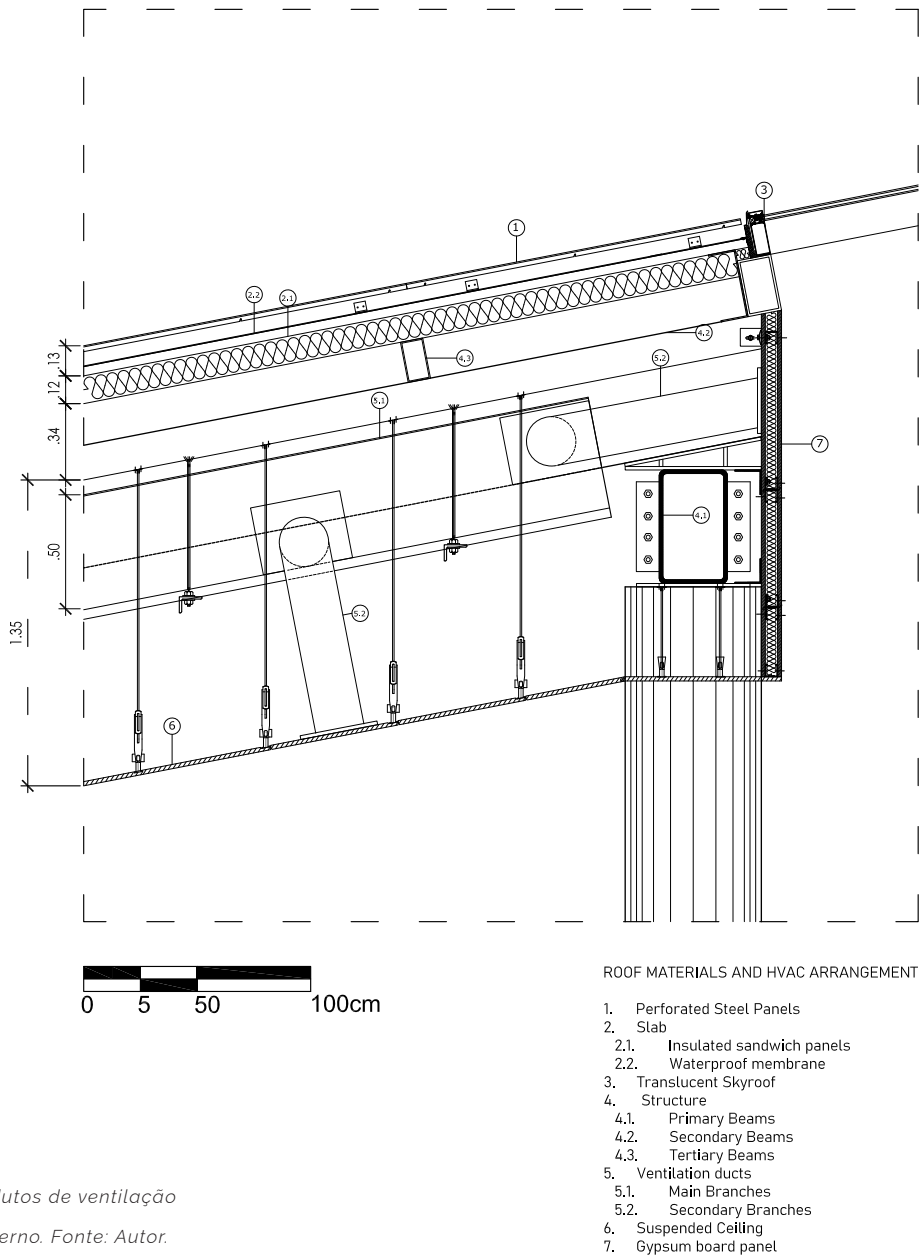
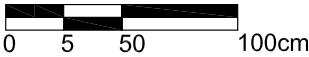
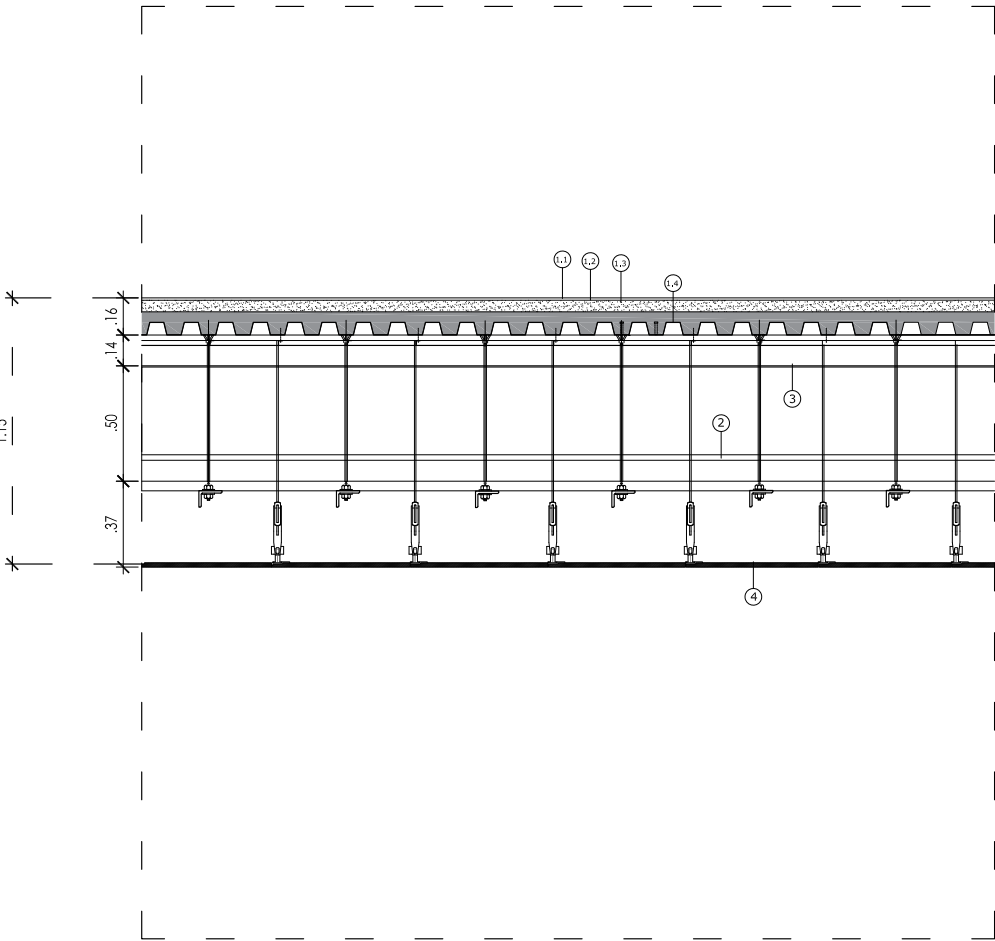


Figura 125. Detalhe dos dutos de ventilação na cobertura do anel externo. Fonte: Autor.

DUTOS DE VENTILAÇÃO NAS LAJES



SLAB MATERIALS AND HVAC ARRANGEMENT

- 1. Slab
  - 1.1. Epoxy finishing
  - 1.2. Screed
  - 1.3. Insulation
  - 1.4. Steel composite slab
- 2. Ventilation ducts
- 3. Sewage pipe
- 4. Suspended Ceiling

Figura 126. Detalhe dos dutos de ventilação nas lajes. Fonte: Autor.

| Systems    | Slab           |                     |          |                     |                    |                       |              |                       |                |                                |
|------------|----------------|---------------------|----------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------|--------------------------------|
| Elements   | Finishing      |                     |          |                     | Structure          |                       |              | Systems               |                | Suspended Ceiling              |
| Materials  | Epoxi          | Screed              | Membrane | Acoustic Insulation | 1-Way RC Slab      | Cast in place RC Beam | U-Steel beam | Al. Tubes Ventilation | Water plumbing | Veneered perforated wood tiles |
| Properties | fck = 65 N/mm² | C30, fck = 30 N/mm² | Imperm.  | Ln,w = 54 dB        | C40/50, fck= 50GPa | C40/50, fck= 50GPa    | E=210GPa     | -                     | -              | αw 0,95 / NRC 0,90 / SAA 0,90  |

Tabela 22. Tabela descritiva, detalhe dos assentos. Fonte: autor e catalogos.

| Roof       |                      |      |                           |           | Ventilation system      |     |                      | Closures                          |                                |      | Skyroof          |        |                            |                |  |       |
|------------|----------------------|------|---------------------------|-----------|-------------------------|-----|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------|------------------|--------|----------------------------|----------------|--|-------|
| Elements   | Perforated steel     |      | Insulated sandwich panels |           | Waterproof membrane     |     | Ventilation ducts    |                                   | Suspended Ceiling              |      | Gypsum board     |        | Kallwall® Panel: 2-3/4"    |                |  |       |
| Name       | Nova Metals R4.5 UI5 |      | Marcegaglia PGB TD5       |           | Mapelastic Acquadefense |     | Linda Lab LKR Series |                                   | Hunter Douglas                 |      | Gyproc WallBoard |        | Translucent Sandwich Panel |                |  |       |
| Material   | Steel                |      |                           | Asphaltic |                         |     | Aluminum             |                                   | Veneered perforated wood tiles |      |                  | Gypsum |                            | Weight [kg/m²] |  | 24.41 |
| Properties | Open Area [%]        | 20%  | Thickness [mm]            | 120       | Impermeable             | Yes | -                    | Absortion coefficient (αw )       |                                | 0,95 | Thickness [mm]   | 12.5   | Visible Light Trans.       | 12%            |  |       |
|            | Thickness [mm]       | 1,00 | Weight [kN/m²]            | 13,65     | Thickness [mm]          | 2   | -                    | Noise Reduction Coefficient (NRC) |                                | 0,9  | Density [kg/m³]  | 8.0    | U [W/m2K]                  | 0,14           |  |       |
|            | U [W/m²K]            |      |                           | 0,18      |                         |     | -                    |                                   | R (m²K/W)                      |      | 0.07             |        | Solar Heat Gain Coeff.     | 0,17           |  |       |

Tabela 23. Tabela descritiva, detalhe da galeria. Fonte: Autor e catálogos.

| Systems    | Slab           |                     |          |                     |                                  |  |  |                       |                |                                |
|------------|----------------|---------------------|----------|---------------------|----------------------------------|--|--|-----------------------|----------------|--------------------------------|
| Elements   | Finishing      |                     |          |                     | Structure                        |  |  | Systems               |                | Suspended Ceiling              |
| Materials  | Epoxi          | Screed              | Membrane | Acoustic Insulation | Steel composite deck ComFlor® 46 |  |  | Al. Tubes Ventilation | Water plumbing | Veneered perforated wood tiles |
| Properties | fck = 65 N/mm² | C30, fck = 30 N/mm² | Imperm.  | Ln,w = 54 dB        | t = 120mm; W = 2.32 kN/m²        |  |  | -                     | -              | αw 0,95 / NRC 0,90 / SAA 0,90  |

Tabela 24. Tabela descritiva, detalhe das lajes. Fonte: Autor e catálogos.



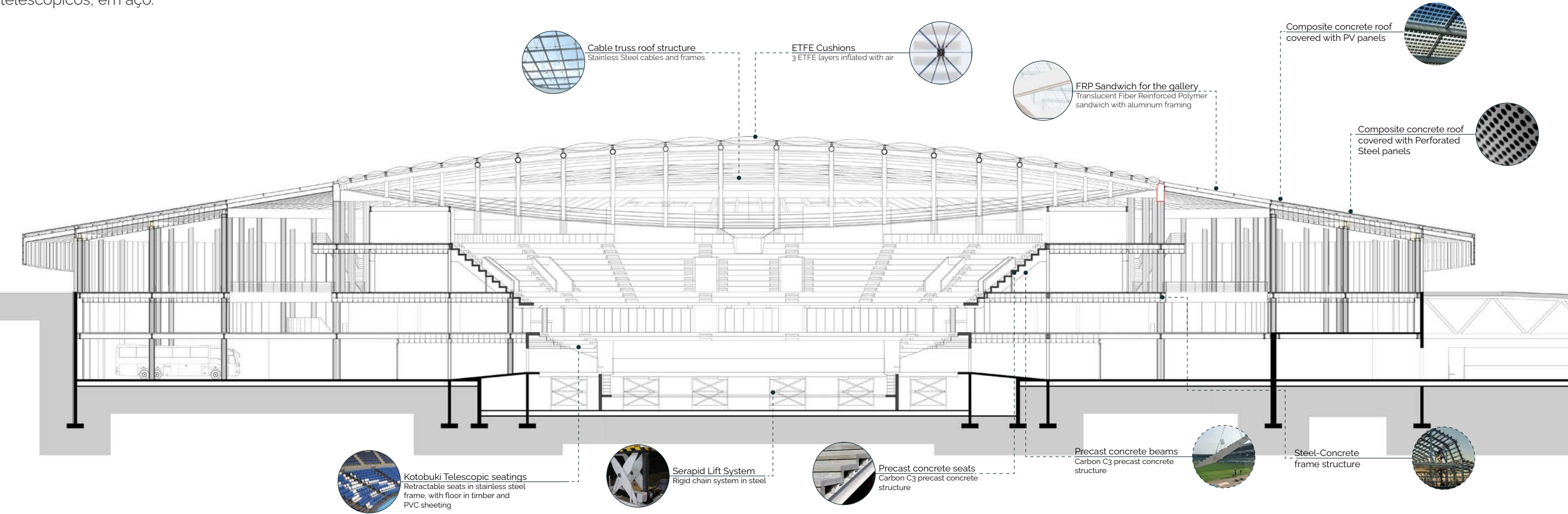


## ESCOLHA DE MATERIAIS

# COMPONENTES DO EDIFÍCIO

O partido deste projeto foi baseado em 3 materialidades: uma cúpula de ETFE translúcida, uma galeria coberta com sanduiches de FRP translúcidos e um telhado/ fachada coberto com painéis de aço perfurado. Para as estruturas, utilizamos um sistema de concreto-aço e para nosso sistema de assentos um sistema de elevação de plataforma hidráulico e um sistema de assentos telescópicos, em aço.

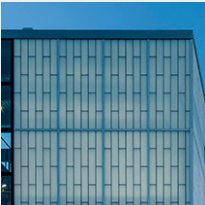
Figura 127. Componentes do edifício. Fonte: autor





PALETA DOS  
FECHAMENTOS

O projeto do fechamento foi baseado em uma materialidade de transparência, trazida pelo uso de coberturas translúcidas (ETFE e FRP) e painéis de aço perfurado na fachada, que protegiam nossa fachada cortina. Este arranjo nos permitiu ter um boa iluminação natural.



Curtain Wall  
Sirio 50SG + Vlam Translucent

|                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| Elements       | Curtain Wall                    |
| Comercial name | Sirio 50 SG                     |
| Materials      | Aluminum mullion-transoms syste |
| Properties     | Mass [kg/m²]75                  |
|                | Wind Resistance [kN/m2]3        |
|                | Uw [W/m2K]1.6                   |

|                |                              |
|----------------|------------------------------|
| Elements       | Translucent Glazing          |
| Comercial name | VLam™ Translucent SuperClear |
| Materials      | Tempered glass               |
| Properties     | Light Transmission70.0%      |
|                | U single glass [W/m²K]5.6    |
|                | Thickness [mm]10.38          |



BIPV Mitsubishi PV-MLU255HC

|                |                                   |
|----------------|-----------------------------------|
| Elements       | Photovoltaic Panel                |
| Comercial name | Mitsubishi PV-MLU255HC            |
| Materials      | Cell type Monocrystalline Silicon |
| Properties     | Mass [kg/m²]12.07                 |
|                | Module efficiency [%]15.4%        |



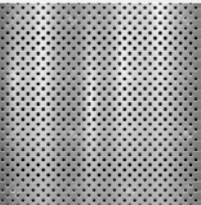
ETFE Cushion  
Vector Foiltec Texlon® System

|                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| Elements       | ETFE Cushions                   |
| Comercial name | Vector Foiltec Texlon® System   |
| Materials      | Triple ETFE foil                |
| Properties     | Mass [kg/m²]20                  |
|                | Total energy transmittance75.0% |
|                | Tensile Strength [N/mm²]>40     |
|                | Thickness [mm]10.39             |



Translucent Skyroof  
Kallwall® Panel: 2-3/4"

|                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| Elements       | Translucent Skyroof             |
| Comercial name | Kallwall® Panel: 2-3/4"         |
| Materials      | Translucent Sandwich Panel      |
| Properties     | Mass [kg/m²]24.41               |
|                | Visible Light Transmission12%   |
|                | U [W/m2K]1.25                   |
|                | Solar Heat Gain Coefficient0.17 |



Perforated Inox Steel Sheets  
Nova Metals

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| Elements       | Perforated steel     |
| Comercial name | Nova Metals R4.5 U15 |
| Materials      | Steel                |
| Properties     | Open Area [%]20%     |
|                | Thickness [mm]1.00   |

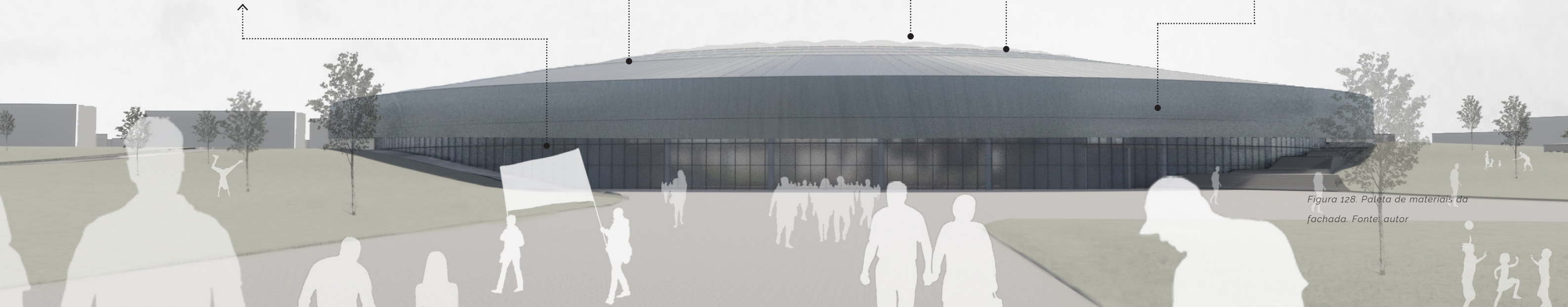


Figura 128. Paleta de materiais da fachada. Fonte: autor

ANÁLISE LCA

REFERÊNCIA DE CARBONO INCORPORADO

Após realizar uma análise LCA sobre nosso prédio, com o uso do software OneClick LCA, encontramos um valor de 445 kg de CO2/m² para a fase de construção. Embora comparado com edifícios gerais na Itália (TABELA 10) em uma abordagem Benchmarking, ele está posicionado em uma classe D, é provável que, em comparação com Arenas e edifícios esportivos, seu desempenho estaria na faixa esperada para um edifício de baixo carbono.

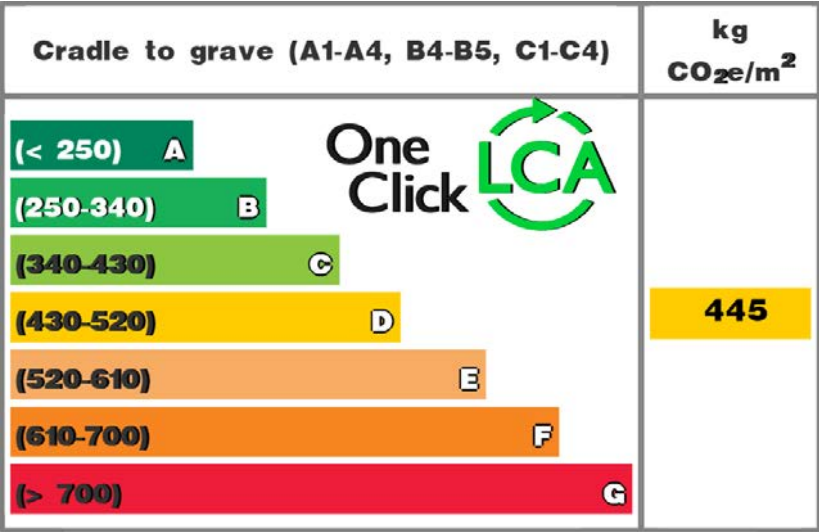


Figura 129. OneClick LCA resultado final usando como referência as construções gerais na Itália. Fonte: OneClick: OneClick LCA...

AVALIAÇÃO DO ESTÁGIO DO CICLO DE VIDA

Como a fase operacional não foi considerada nesta Análise LCA (devido à falta de mais análises de engenharia), a maior parte do resultado mostrado abaixo é devido à fase de construção de nosso edifício. Podemos ver que o componente mais importante para o aquecimento global é o kg de CO2 equivalente, na produção dos próprios materiais. Isto pode ser o resultado do uso de materiais de longa duração (que requerem menos manutenção e substituição), de materiais recicláveis (que reduzem o impacto do fim de vida útil) e de produtores locais (que reduzem o impacto do transporte).

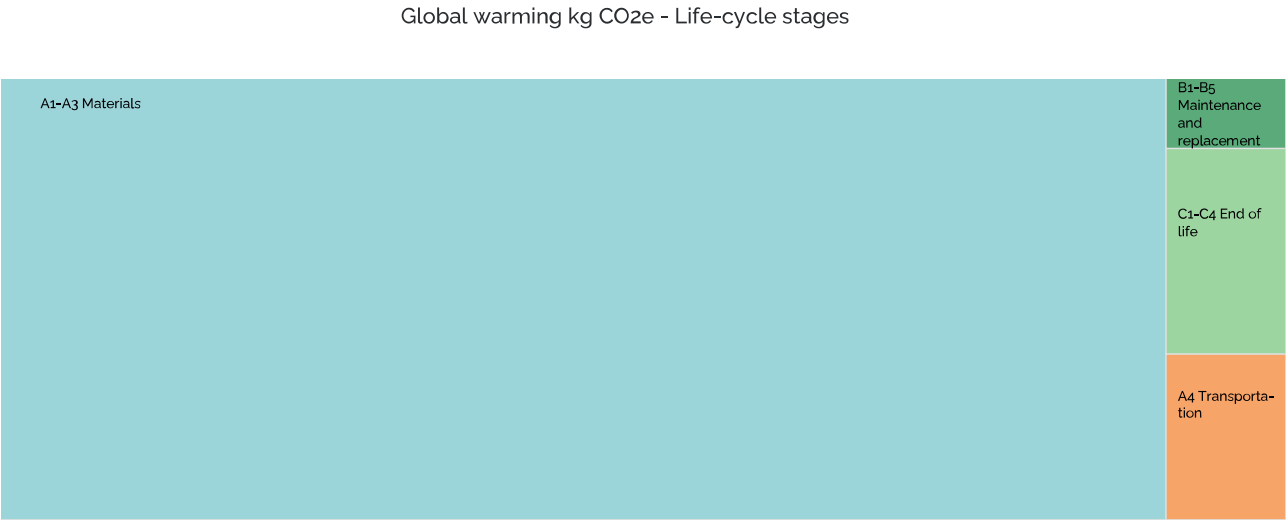


Figura 130. Aquecimento global Etapas do ciclo de vida do CO equivalente 2(operação excluída). Fonte: Autores.



Analisando a fase de construção, verificamos que os sistemas horizontais (lajes, tetos, tabuleiros, vigas e telhados) são a principal causa de nossas emissões de CO2 equivalentes. As estruturas verticais também são relevantes neste sentido. Logicamente, o maior volume de materiais também está nestes sistemas, mas também são estes sistemas que utilizam a maior parte dos vilões de emissão de CO2: o concreto e o aço.

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO

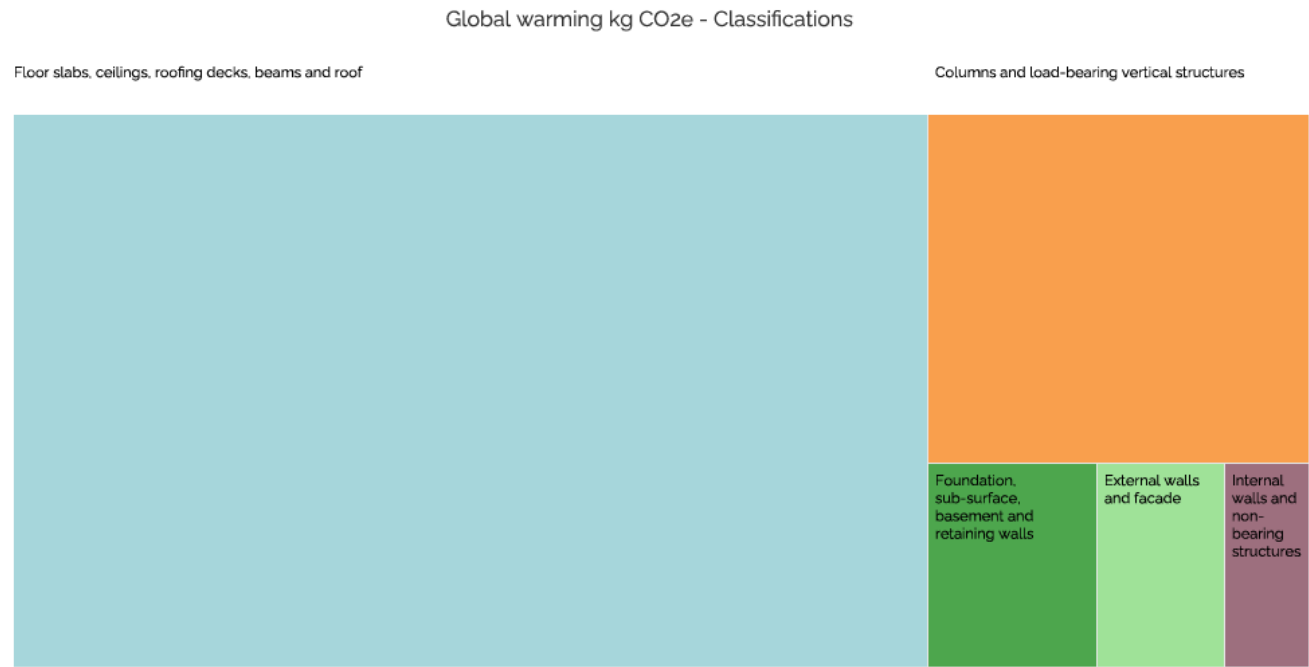


Figura 131. Aquecimento global por CO2 equivalente , por sistemas de construção (excluindo operação). Fonte: Autor.

AVALIAÇÃO DE MATERIAIS

Como previsto, o aço e os metais desempenham um papel importante nas emissões primárias em nossa construção. Trata-se de um material reciclável que poderia ser reutilizado no final de sua vida útil. Outros vilões, como o concreto pronto e o pré-moldado, embora tenham proporcionalmente menos emissões, dificilmente são reciclados e isso influencia suas emissões ao longo de sua vida útil. É importante notar que o gesso e os vidros, embora tenham muito menos volume em comparação, têm emissões significativas e dificilmente são reciclados.

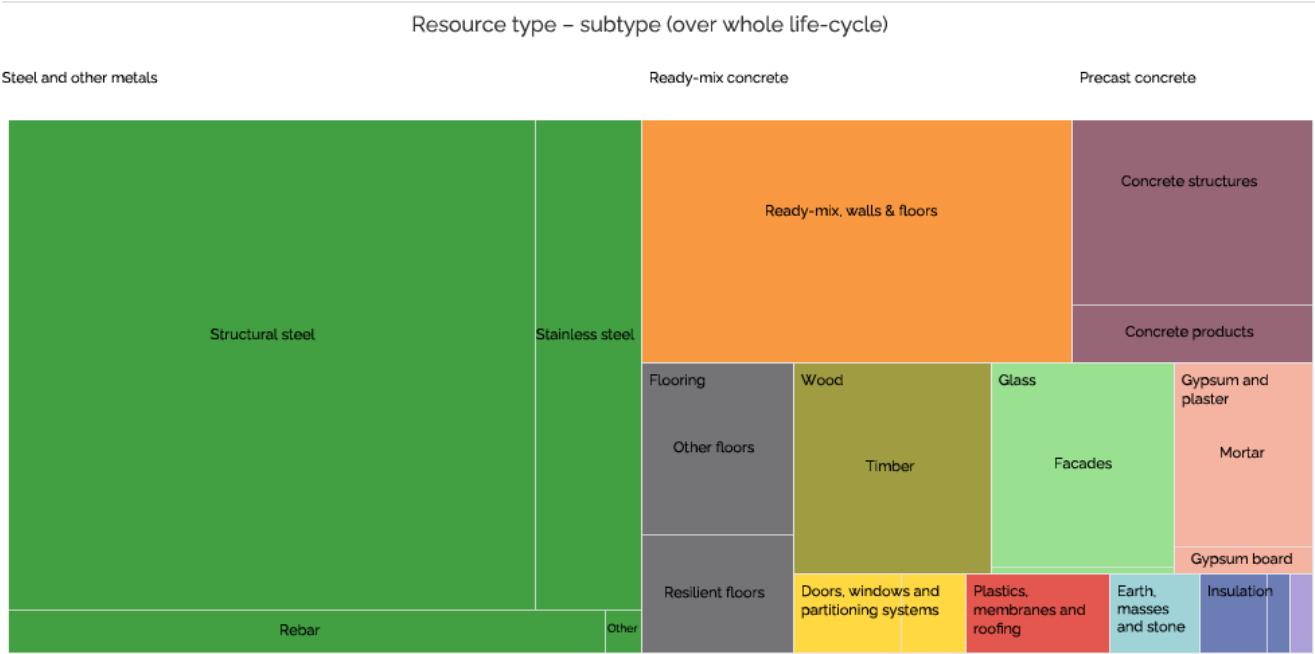


Figura 132. Aquecimento global por CO2 equivalente, por materiais (excluindo operação). Fonte: Autor.

POSSÍVEIS OPORTUNIDADES  
PARA UM MELHOR  
DESEMPENHO

Como mostrado claramente na TABELA 10, o Aço e o Concreto são os principais contribuintes para nossos resultados de emissões. Possíveis oportunidades para melhorar o desempenho incluem o uso de aço com graus mais altos de materiais reciclados e o uso de concreto com graus mais altos de cimento e agregados reciclados. Isto, porém, pode ter um impacto limitado devido às exigências de resistência estrutural e à perda de desempenho que temos quando usamos concreto reciclado. Outras soluções podem incluir apenas grandes modificações de projeto, como o uso de estruturas de madeira (que também podem ter limitações legislativas para este uso).

Bubble chart, total life-cycle impact by resource type and subtype, Global warming

Hover your mouse over legends or the chart to highlight impacts. Bubble minimum and maximum sizes constrained for readability

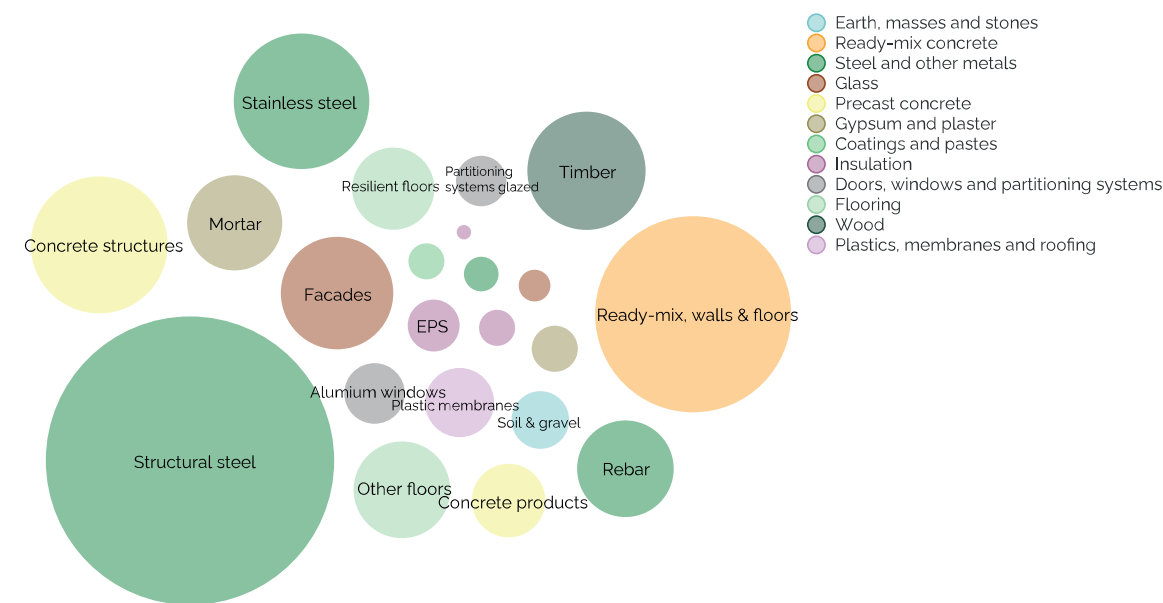


Figura 133. Gráfico de bolhas sobre o aquecimento global por equivalente de CO2 por materiais (excluindo a operação). Fonte: Autor.



PARTE II

**ANÁLISE DE  
CONFORTO  
TÉRMICO**

# CONFORTO TÉRMICO

## CONDIÇÕES AMBIENTAIS E ESCOLHAS PROJETUAIS INICIAIS

Para a realização do projeto arquitetônico da Arena em Santa Giulia, houve uma preocupação preliminar em analisar as condições ambientais do sítio de ocupação bem como da forma inicial do edifício. Foram feitos estudos da radiação solar (Figura 134) que seria recebida pelo edifício, bem como um estudo da trajetória solar no céu ao longo do ano (Figura 135). Com isso, determinou-se que seria necessário avançar os limites da cobertura, para gerar sombra nas cortinas de vidro sudeste, sul e sudoeste, criando um dispositivo de sombreamento. Além disso, criou-se uma projeção vertical desse beiral para proteger melhor a fachada sul, mais exposta. Por opção estética, decidiu-se estender o elemento em todo o perímetro do edifício, criando uma curva que acompanhava os elementos topográficos. A topografia, também por si mesma, se tornou um elemento de proteção para as fachadas, permitindo que houvesse pouco ganho energético total a partir delas (Figura 137, Figura 138, Figura 139 e Figura 140).

Realizou-se, também, um estudo dos ventos predominantes do local (Figura 136), para entender a viabilidade de utilizar ventilação natural nos períodos do ano de temperaturas mais amenas. Isso foi um dos fatores que determinou o direcionamento do principal eixo do edifício na direção sudeste-noroeste, pois permitia que as principais entradas estivessem alinhadas com a direção sudeste predominante do vento.

Essa preocupação, no entanto, não foi transformada, em um primeiro momento, em uma preocupação com as condições de desempenho térmico. Uma vez que se admitiu que o edifício seria condicionado artificialmente, deixou-se em segundo plano a preocupação com o quão sustentável o edifício seria do ponto de vista energético.

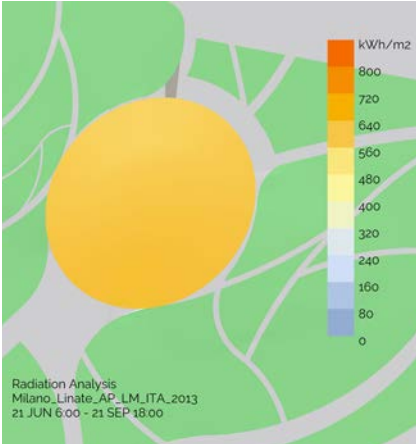


Figura 134. Radiação Solar Anual. Fonte: Autor

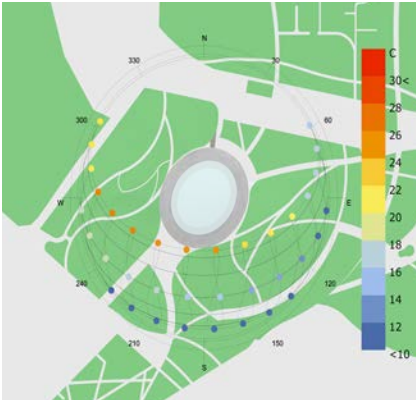


Figura 135. Trajetória Solar. Fonte: Autor

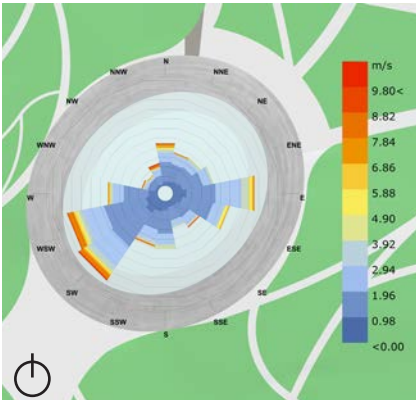


Figura 136. Rosa dos ventos. Fonte: Autor

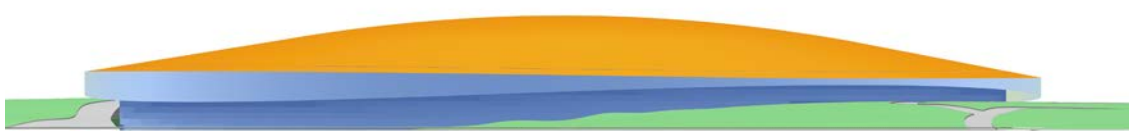
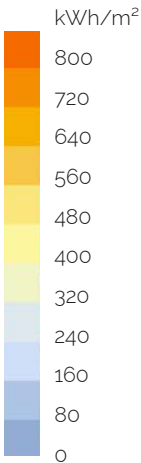


Figura 137. Radiação solar anual na fachada norte. Fonte: Autor.



Figura 138. Radiação solar anual na fachada leste. Fonte: Autor.



Figura 139. Radiação solar anual na fachada sul. Fonte: Autor.



Figura 140. Radiação solar anual na fachada oeste. Fonte: Autor.



CONFORTO TÉRMICO - CONCEITO E INDICADORES

Do pontos de vista fisiológico, o conforto térmico pode ser medido pela em função da dificuldade que o corpo humano enfrenta para para se manter em equilíbrio térmico com o espaço ao seu redor. O corpo humano tende a se manter em temperaturas próximas de 35°C independente das condições higrotérmicas em seu entorno, e isso exige um esforço de termorregulação para que haja trocas de calor com o ambiente (HUMPHREYS; FERGUS NICOL, 2018). Essas trocas podem ser sensíveis (condução, convecção ou radiação) ou latentes (evaporação). O entendimento de conforto térmico para o usuário de um edificio não é um conceito absoluto. Ao invés disso, pode ser entendido como uma sensação de bem-estar subjetiva, que varia de acordo com aspectos culturais, sociais e psicológicos.

Existem dois métodos difundidos para analisar as condições de conforto térmico de um ambiente:

- 1. Método adaptativo, para ambientes naturalmente ventilados
- 2. Método do voto médio previsto (PMV), para ambientes condicionados artificialmente.

MÉTODO ADAPTATIVO

O método adaptativo, proposto por Nicol e Humphreys (2002), envolve entrevistas e análise in loco de usuários. A pesquisa de campo coleta dados sobre o ambiente térmico e a resposta simultânea dos usuários em suas tarefas cotidianas. Cada usuário dá um "voto de conforto", em escalas adaptativas (Tabela 25). A partir dos dados coletados com a pesquisa, é realizada uma análise estatística usando a variabilidade natural das condições térmicas. O objetivo é achar a temperatura ou combinação de variáveis térmicas

| Descriptors for the ASHRAE and Bedford scales |                      |                    |
|---|----------------------|--------------------|
| ASHRAE descriptor                             | Numerical equivalent | Bedford descriptor |
| Hot   | 3                    | Much too hot       |
| Warm  | 2                    | Too hot            |
| Slightly warm                                 | 1                    | Comfortably warm   |
| Neutral                                       | 0                    | Comfortable        |
| Slightly cool                                 | −1                   | Comfortably cool   |
| Cool  | −2                   | Too cool           |
| Cold  | −3                   | Much too cool      |

Although, the two scales are semantically different, especially in the implication of preference in the Bedford scale, experience has shown that subjects use the two scales in a very similar way.

Tabela 25. Escalas adaptativas para voto de conforto da ASHRAE 55. Fonte: Nicol e Humphreys (2002)

(temperatura, humidade, e velocidade do ar) que os usuários considerem "confortáveis" ou "neutras". O princípio fundamental da análise adaptativa é que "se uma mudança ocorre de tal maneira a produzir desconforto, as pessoas irão reagir de maneiras que tendem a restaurar o seu conforto" (HUMPHREYS; NICOL, 2002). Isso quer dizer que as pessoas que tem mais opções para se adaptar ao seu ambiente, ou o ambiente que tiver mais capacidade de se adaptar aos requisitos das pessoas, são menos propensas a sofrer desconforto. Uma descoberta importante de Nicol e Humphreys (2002) foi que a temperatura de conforto de um ambiente está correlacionada com a temperatura média do ambiente externo. Tendo isso em vista, a ASHRAE 55 (2020) incorporou um método adaptativo baseado nas pesquisas de campo de De Dear e Brager (2002) em que é possível relacionar temperaturas internas e externas e uma faixa aceitável de limites em que os usuários relatariam estar em condições de conforto. A temperatura interna utilizada é a operativa (to). A temperatura operativa (to) é um índice de referência comparativo a um ambiente ideal, em que existem apenas trocas térmicas radiantes

e convectivas entre usuários e espaço. Isso é traduzido pela média entre a temperatura do ar (ta) e a temperatura radiante média (tr), ponderada por coeficientes de trocas. Dessa forma, considerando ocupantes envolvidos em atividade física quase sedentária (com taxa de atividade metabólica entre 1,0 e 1,3 met), não sob a luz direta do sol, e não expostos a velocidades do ar superiores a 0,20 m/s (40 fpm), o relação pode ser aproximada com precisão aceitável por:

$$t_o = (t_a + t_r) / 2$$

Segundo a ASHRAE 55 (2020), os limites de temperatura operativa variam de acordo com as temperaturas médias dos meses e, de acordo com a Figura 141, é possível determinar uma faixa de temperatura operativa em que 80% dos usuários relatarão conforto (faixa aceitável). Para situações que requerem maior precisão, a norma também calcula uma faixa em que 90% dos usuários relatarão conforto (azul escuro). Neste trabalho, utilizaremos a faixa de 80% como faixa aceitável de conforto, pensando em atender critérios mínimos.

Quando analisarmos as temperaturas operativas obtidas, usaremos as temperaturas de bulbo seco médias do ambiente para determinar a porcentagens de dias do ano que o edifício estará dentro dos limites de conforto, de acordo com a ASHRAE 55. Utilizaremos a

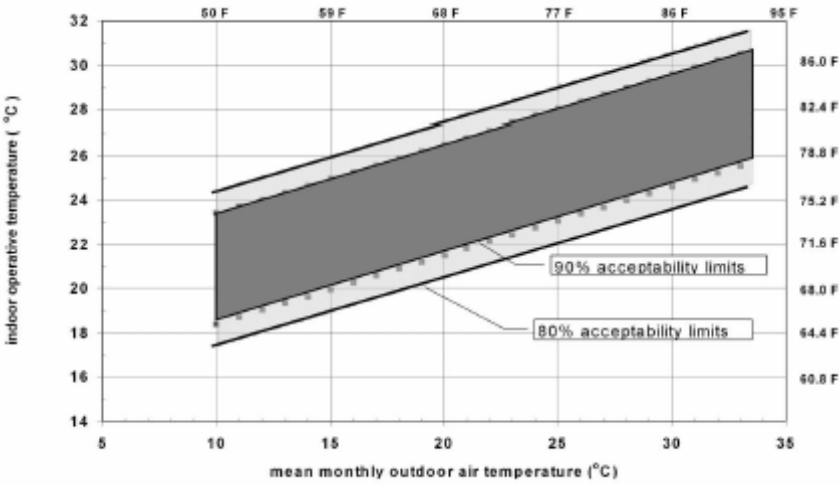


Figura 141. Faixas de temperatura operacionais aceitáveis para espaços naturalmente condicionados.. Fonte: ASHRAE 55 (2004).

ASHRAE 55 ao invés da EN-16978 (norma europeia) pela facilidade que os softwares Ladybug e Honeybee oferecem para fazer essa análise segundo a primeira norma.

MÉTODO VOTO MÉDIO PREVISTO (PMV)

O Método PMV é o método utilizado pela ASHRAE 55 para determinar as condições de conforto de uma pessoa em uma zona condicionada artificialmente. Ele é um índice que prevê o voto médio de um grupo de pessoas dentro da escala de sensação térmica de 7 pontos, descrita na Tabela 25. A partir dele é possível estabelecer outro índice, a porcentagem prevista de pessoas insatisfeitas (PPD), que prevê a porcentagem de pessoas que estarão termicamente insatisfeitas em um dado ambiente segundo o PMV. A partir desses valores, é possível estabelecer uma zona de conforto, que é o conjunto de combinações de temperatura do ar



Acceptable Thermal Environment for General Comfort

| PPD  | PMV Range          |
|------|--------------------|
| < 10 | -0.5 < PMV < + 0.5 |

Tabela 26. Limites aceitáveis de PPD e PMV para conforto geral. Fonte: ASHRAE 55 (2020).

e temperatura radiante média para as quais o PMV e o PPD estarão dentro das condições da Tabela 26.

O modelo PMV é calculado a partir da temperatura do ar e da temperatura radiante média aplicando-se as taxas metabólicas<sup>1</sup> dos ocupantes (em met<sup>2</sup>), isolamento do vestuário<sup>3</sup> (em clo<sup>4</sup>), velocidade do ar<sup>4</sup> e umidade relativa<sup>5</sup>.

Neste trabalho, usaremos o PPD aceitável como sendo menor que 20% como condição aceitável de conforto. Isso porque, devido à

natureza preliminar e às imprecisões do estudo, considerou-se que trabalhar dentro do limite dos 10% seria muito restritivo. A partir da Figura 142, essa utilização do método nos colocará com um PMV entre -0,8 e +0,8, o que representa uma faixa em que o voto médio estará entre o levemente frio e o levemente quente. É interessante notar na mesma figura que mesmo para o PMV igual a 0, a PPD não será nula, mas se aproxima dos 5%.

Neste trabalho, os cálculos da faixa aceitável do método adaptativo, PMV, PPD, bem como da temperatura operativa será realizado por meio dos softwares Ladybug e HoneyBee, que são plugins do Grasshopper para Rhino que utilizam como base de cálculo energético o software Energy Plus (e+). Esses softwares incorporam o código sugerido pela ASHRAE 55 (2020) para o cálculo dos parâmetros descritos acima.

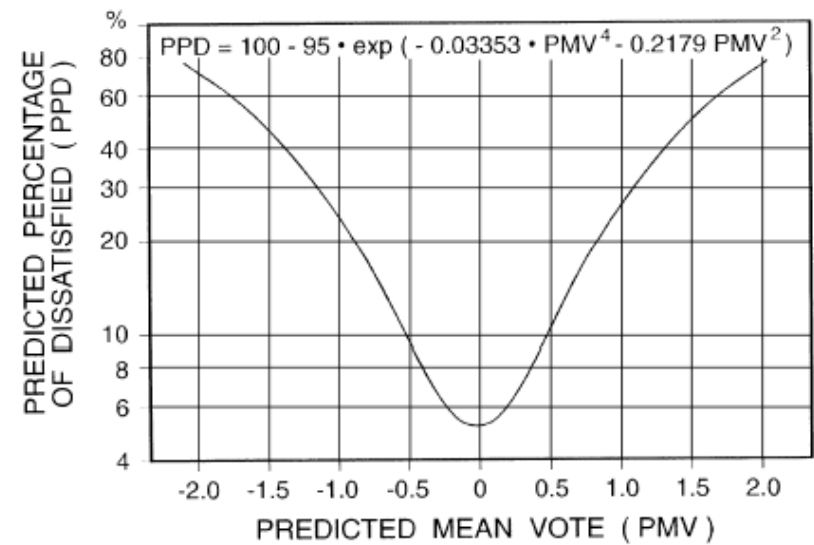


Figura 142. Curva PPD x PMV. Fonte: ASHRAE 55 (2020).

- 1. Taxas metabólicas dos ocupantes:** Segundo a ASHRAE 55 (2004), "a taxa de transformação de produtos químicos energia em calor e trabalho mecânico por atividades metabólicas dentro de um organismo, geralmente expresso em termos de área unitária de a superfície total do corpo". É expressa em met.
- 2. met:** Segundo a ASHRAE 55 (2004), "uma unidade usada para descrever a energia gerada no interior do corpo devido à atividade metabólica, definida como 58,2 W/m2, que é igual à energia produzida por unidade superfície de uma pessoa comum, sentada em repouso".
- 3. Isolamento do vestuário:** Segundo a ASHRAE 55 (2004), "a resistência à transferência de calor sensível fornecida por um conjunto de roupas. Expresso em clo".
- 4. clo:** Segundo a ASHRAE 55 (2004), "uma unidade utilizada para expressar o isolamento térmico fornecido por roupas e conjuntos de roupas, onde 1 clo = 0,155 m² °C/W".
- 5. Velocidade do ar:** Segundo a ASHRAE 55 (2004), "a taxa de movimento do ar em um ponto, sem consideração à direção".
- 6. Umidade relativa:** Segundo a ASHRAE 55 (2004), " a relação da pressão parcial (ou densidade) do vapor de água no ar até a pressão de saturação (ou densidade) do vapor de água à mesma temperatura e à mesma pressão total".

SIMPLIFICAÇÃO DO MODELO PARA A SIMULAÇÃO

Para realizar o modelo, foi necessário realizar o seguinte fluxo:

1. Construir um modelo simplificado do edifício utilizando o Rhino e o Grasshopper:

a. Simplificar as geometrias curvas do edifício, sextavando seu perímetro e utilizando a altura média do pé-direito para gerar coberturas planas (Figura 143);

b. Unir a cobertura da galeria e da arena esportiva. O Honeybee tem dificuldade de entender superfícies concêntricas, portanto quanto mais simplificadas fossem as superfícies, melhor.

c. Criar as topografias e dispositivos de sombreamento com suas alturas médias e utilizá-los como elementos de contexto, para gerar sombras.
2. Criar zonas térmicas e assinalar materiais e função construtiva para cada superfície:

a. Foram criadas duas zonas térmicas, a arena unida à galeria e o anel exterior;

b. Os materiais foram assinalados plano a plano como na Figura 144, tendo suas propriedades descritas na Tabela 27.

c. As interseções entre as zonas térmicas foram assinaladas como "Air Walls" para permitir o fluxo de ar interno entre as zonas;
3. Imputar a massa interna dos volumes criados a partir das áreas de paredes e lajes, retiradas do modelo original do Rhino;

a. Foram imputados os valores de 80000 m² para a arena e 30000 m² para o anel exterior, representando uma parede de 20 cm de espessura de concreto.

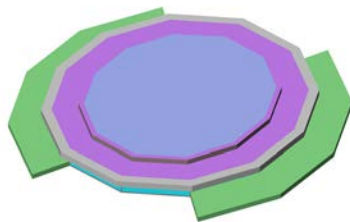


Figura 143. Simplificação. Fonte: Autor

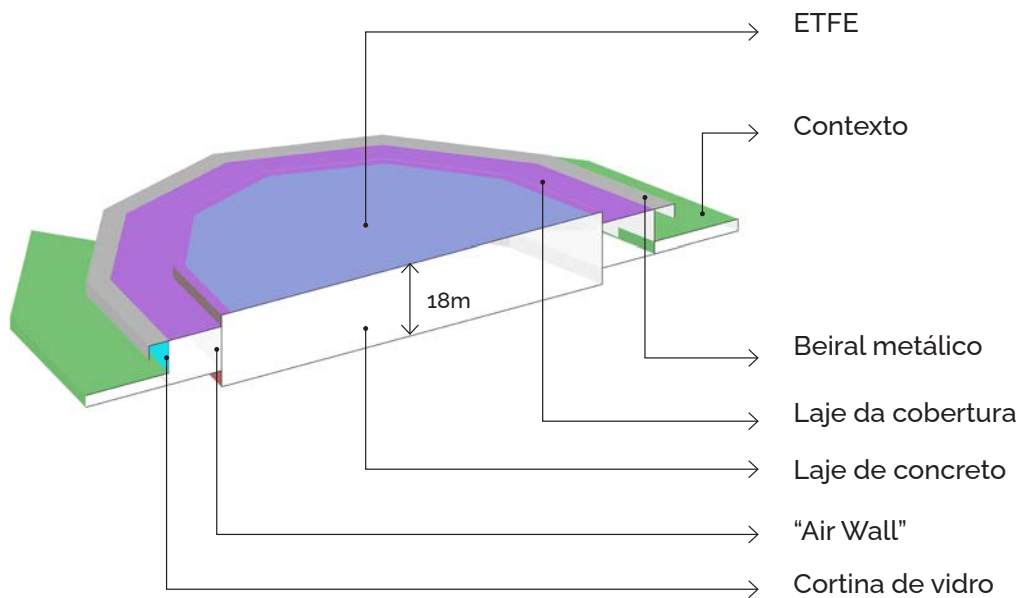


Figura 144. Simplificação da geometria - Corte. Fonte: Autor

| Componente construtivo | Materiais             | U [W/m²K] | FS   | VT    | Condutividade λ [W/mK] | Densidade [kg/m³] | Calor específico [J/kg.K] | Fonte            |
|------------------------|-----------------------|-----------|------|-------|------------------------|-------------------|---------------------------|------------------|
| Cobertura depois       | ETFEmin               | 0.8       | 0.17 | 0.128 | -                      | -                 | -                         | VectorFoiltec    |
| Cobertura original     | ETFEmax + FRP         | 1.96      | 0.39 | 0.27  | -                      | -                 | -                         | VectorFoiltec    |
| Cortina de Vidro       | Vidro LowE            | 1.3       | 0.3  | 0.64  | -                      | -                 | -                         | DualSealGlass    |
| Laje contato solo      | Concreto armado 200mm | 9.59      | -    | -     | 1.95                   | 2240              | 900                       | Honeybee Library |
|                        | Isolante 50mm         | 0.59      | -    | -     | 0.03                   | 43                | 1210                      | Honeybee Library |
|                        | Total                 | 0.55      | -    | -     | -                      | -                 | -                         | Honeybee Library |
| Laje da cobertura      | Sanduiche metálico    | 0.16      | -    | -     | -                      | -                 | -                         | Marcecaglia      |
|                        | Concreto armado 100mm | 5.21      | -    | -     | 0.53                   | 1280              | 840                       | Honeybee Library |
|                        | Espaço de ar          | 5.55      | -    | -     | -                      | -                 | -                         | Honeybee Library |
|                        | Painel acústico       | 3.14      | -    | -     | 0.06                   | 368               | 590                       | Honeybee Library |
|                        | Total                 | 0.14      | -    | -     | -                      | -                 | -                         | Honeybee Library |

Tabela 27. Descritivo dos componentes construtivos. Fonte: Autor



4.       Aplicar cargas térmicas internas ao edifício, utilizando:
- a.       os parâmetros de ocupação do edifício, considerando o número de usuários;

i.       Aqui, utilizaram-se os valores de ocupação presentes na Tabela 5 feita durante os cálculos manuais de cargas térmicas internas;

b.       uma proxy dos parâmetros para ginásios escolares (pré-determinadas no HoneyBee) para cargas de equipamentos, iluminação e outros dispositivos técnicos;

i.       Utilizaram-se os padrões de acordo com os dados pré-definidos do HoneyBee, baseados na ASHRAE.

c.       um cronograma de ocupação do edifício, considerando um cenário de uso intenso pela comunidade

i.       Figura 145 ilustra o cronograma anual no cenário de uso intenso.

5.       Determinar os parâmetros de ventilação natural e seu cronograma;

- a.       Foram definidos os limites de temperatura para uso da ventilação natural e as áreas operativas de abertura das janelas, como mostra a Tabela 28

6.       Determinar os parâmetros de ventilação mecânica, a partir um cenário de "cargas ideais";
- a.       Foram utilizados o cenário de cargas ideais do HoneyBee, segundo os parâmetros de sua documentação representados na Figura 146.

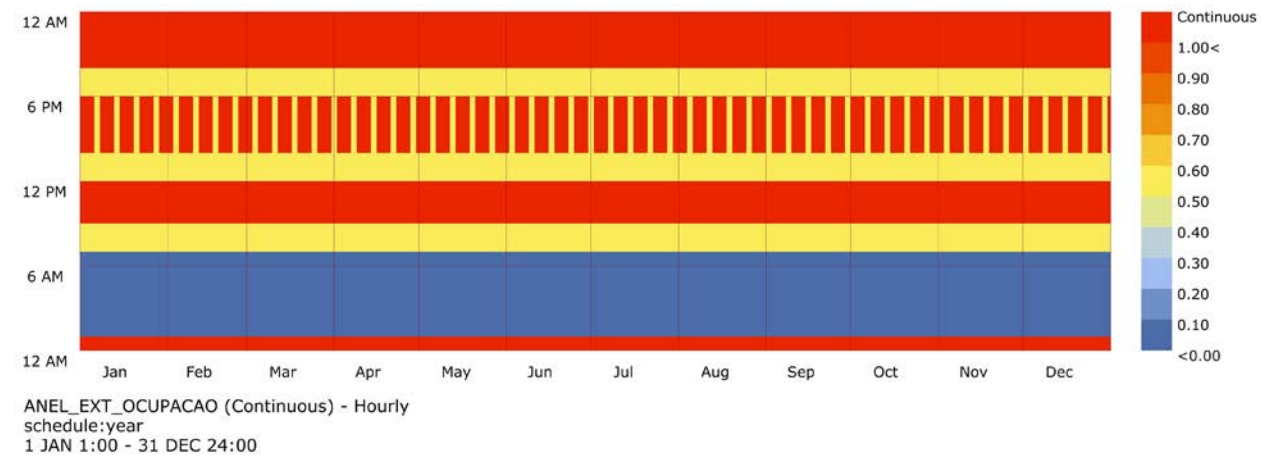


Figura 145. Cronograma de ocupação do edifício (1 = 100%). Fonte: Autor

```
{
  "type": "IdealAirSystem",
  "identifier": "Classroom1 Ideal Loads Air System", # identifier for the HVAC
  "display_name": "Standard IdealAir", # name for the HVAC
  "economizer_type": 'DifferentialDryBulb', # Economizer type
  "demand_controlled_ventilation": True, # Demand controlled ventilation
  "sensible_heat_recovery": 0.75, # Sensible heat recovery effectiveness
  "latent_heat_recovery": 0.7, # Latent heat recovery effectiveness
  "heating_air_temperature": 50, # Heating supply air temperature
  "cooling_air_temperature": 13, # Cooling supply air temperature
  "heating_limit": {'type': 'Autosize'}, # Max size of the heating system
  "cooling_limit": {'type': 'Autosize'}, # Max size of the cooling system
  "heating_availability": {}, # Schedule for availability of heat or None
  "cooling_availability": {} # Schedule for availability of cooling or None
}
```

Figura 146. Documentação do HoneyBee para condição de cargas ideais. Fonte: Honeybee, 2021

|                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| Tipo de ventilação         | Natural por janelas |
| Temperatura mínima interna | 21                  |
| Temperatura máxima interna | 23                  |
| Temperatura mínima externa | 18                  |
| Temperatura máxima externa | 30                  |
| Área operativa             | 25%                 |
| Altura operativa           | 50%                 |

Tabela 28. Parâmetros de ventilação natural. Fonte: Autor.

TESTE DE ALTERNATIVAS

Dado que o projeto do edifício já estava inteiramente feito, foram consideradas para estudo alternativas que não alteravam substancialmente a estética do projeto. Com a visualização dos primeiros resultados, entendeu-se que a parte mais problemática do projeto seria a cobertura translúcida de iluminação zenital – a da Arena e da Galeria. Por isso, tentou-se intervir nessa área tentando entender se uma melhor performance do material que a compõe resultaria em um melhor resultado de conforto térmico. Criaram-se, assim, duas hipóteses da performance do material ETFE, principal componente da cobertura translúcida:

- 1. ETFE máximo (original)
  - a. 3 camadas de ETFE
  - b. 2 câmaras de ar
  - c. Transmitância  $U = 1,96 \text{ W/m}^2$
  - d. Fator solar (g-value) = 0,39
  - e. Transmissão visível (VT) = 0,27
- 2. ETFE mínimo (melhor performance do material possível)
  - a. 6 camadas de ETFE
  - b. 5 câmaras de ar
  - c. Transmitância  $U = 0,8 \text{ W/m}^2$  (em climas temperados)
  - d. Coeficiente de ganho solar (g-value) = 0,17
  - e. Transmissão visível (VT) = 0,128

Além disso, questionou-se a hipótese de que o edifício fosse intensamente utilizado e tentou-se testar uma hipótese em que o edifício tem a utilização menos intensa de uma estrutura esportiva. Com isso, procurou-se entender qual seria o impacto das cargas internas geradas pelas pessoas que utilizariam o edifício no desempenho geral do edifício, e se haveria substancial mudança.

OBTENÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

A obtenção dos resultados pretendidos foi, então, estruturada segundo a Figura 147. Pretendeu-se, a partir disso, atingir a visão geral das temperaturas operativas médias para os casos de ventilação natural e de condicionamento artificial para as duas hipóteses do material ETFE.

Para o caso de ventilação natural, é possível utilizar o modelo adaptativo para obter a porcentagem de horas de conforto e condição de pessoa e, assim, fazer um gráfico do modelo adaptativo, com faixa aceitável de 80% dos usuários.

Para o caso de ventilação mecânica, realizamos uma análise PMV para entender a distribuição do PMV e PPD horário durante o ano, e obtermos com isso a porcentagem de horas de conforto anuais.

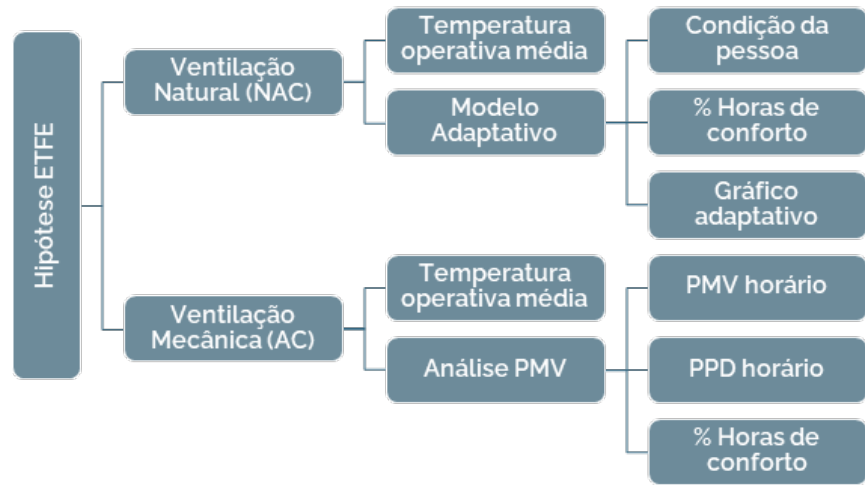


Figura 147. Parâmetros de ventilação natural. Fonte: Autor.



COBERTURA U ETFE ORIGINAL - NATURALMENTE VENTILADO

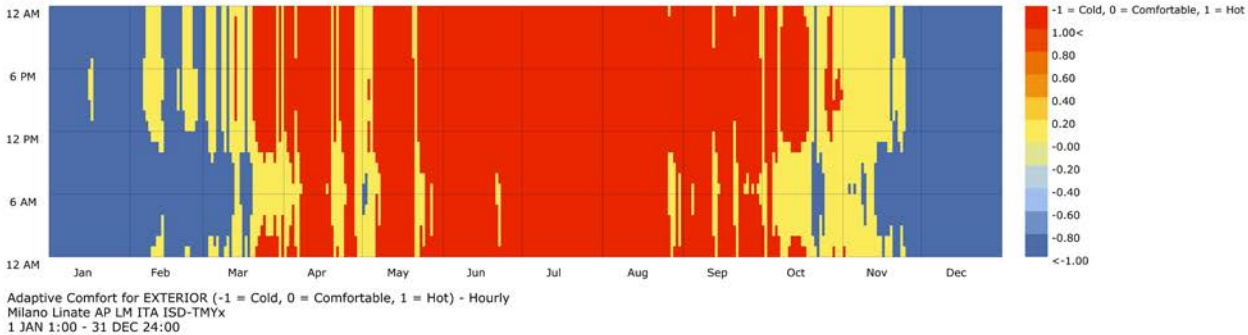


Figura 148. Condição de conforto - Anel exterior. Fonte: Autor

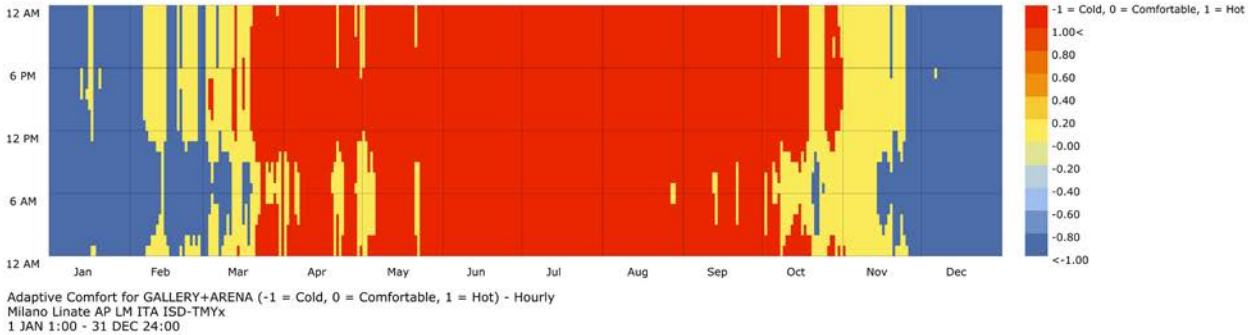


Figura 149. Condição de conforto - Arena. Fonte: Autor

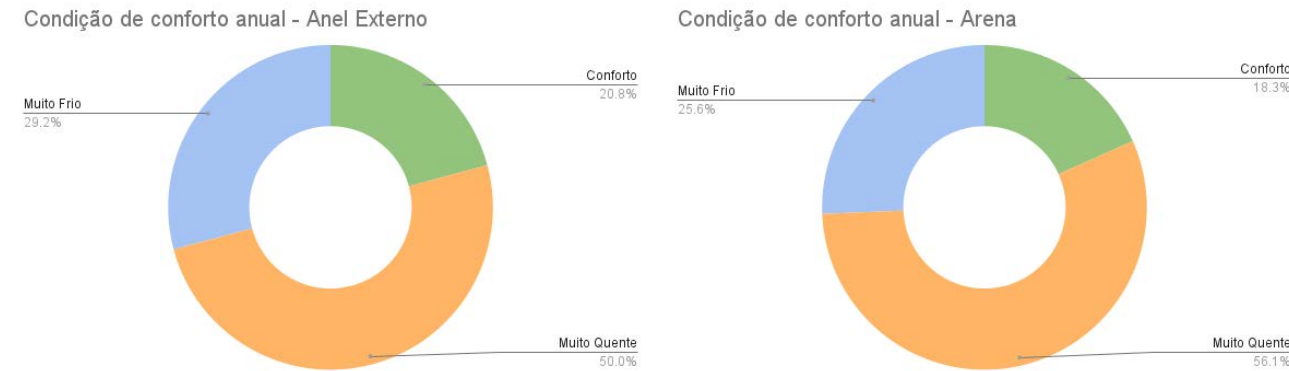


Figura 150. Condição de conforto total anual - Anel. Fonte: Autor

Figura 151. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

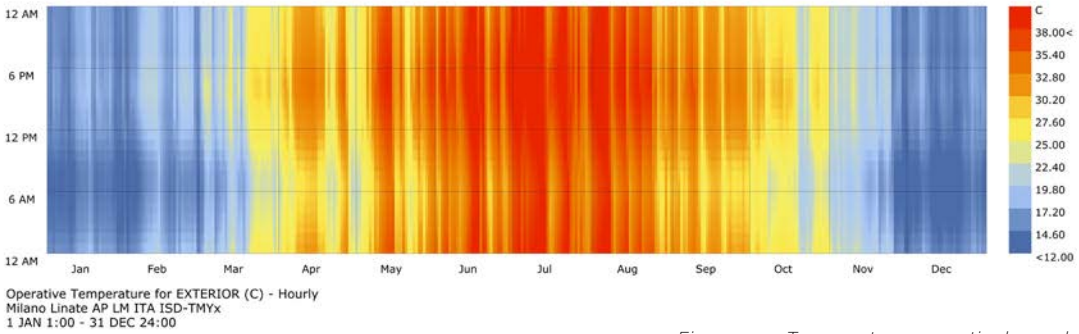


Figura 154. Temperatura operativl anual - Anel exterior. Fonte: Autor

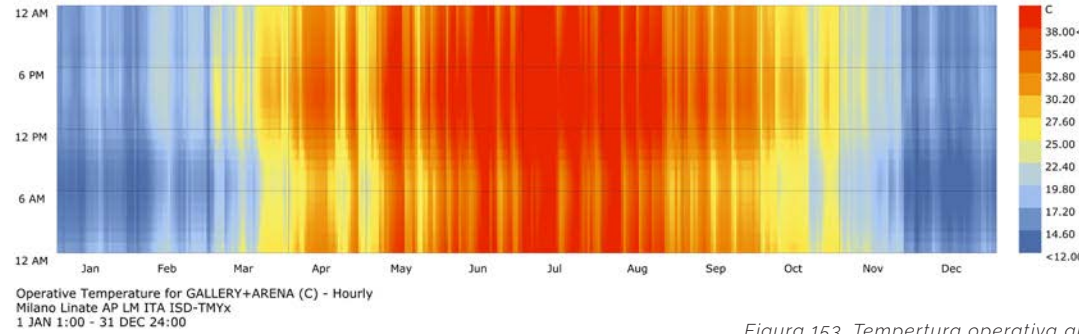


Figura 153. Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor

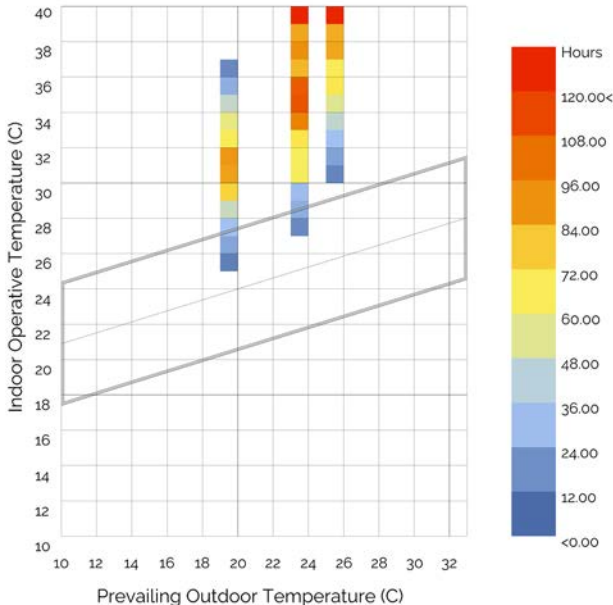


Figura 152. Concentração das temperaturas médias horárias no gráfico adaptativo, para o verão. Fonte: Autor

COBERTURA U<sub>ETFE</sub> ORIGINAL - CONDICIONADO ARTIFICIALMENTE

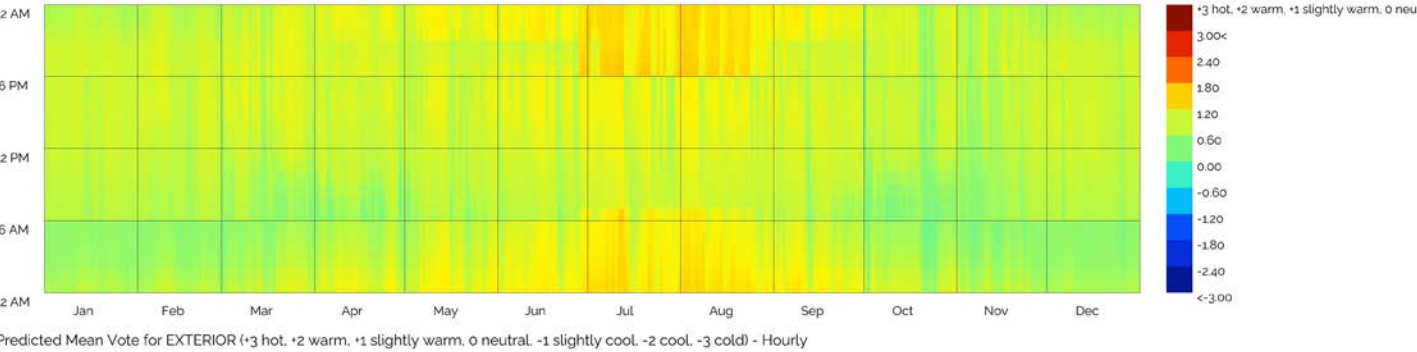


Figura 155. Condição de conforto PMV- Anel exterior. Fonte: Autor

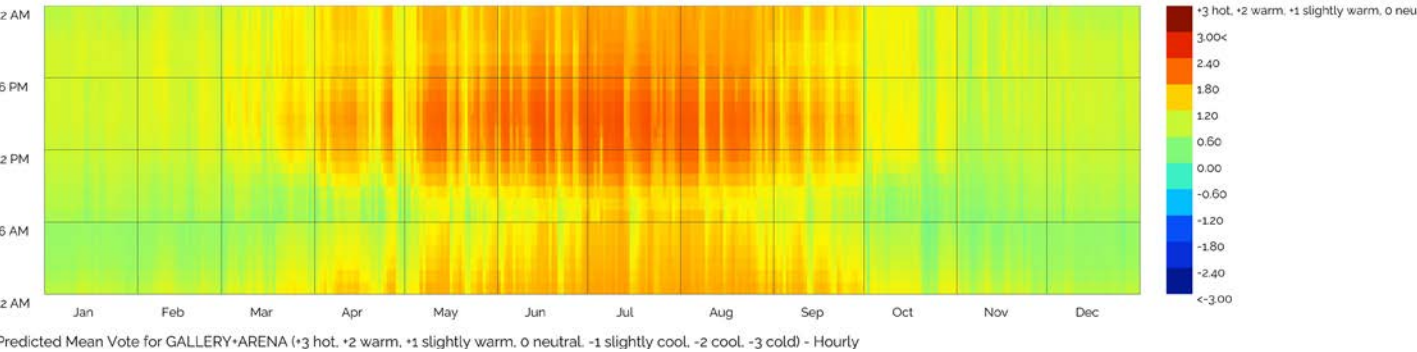


Figura 156. Condição de conforto PMV- Arena. Fonte: Autor

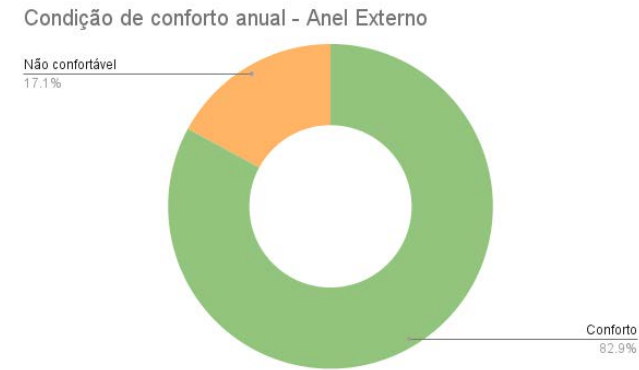


Figura 157. Condição de conforto total anual - Anel. Fonte: Autor

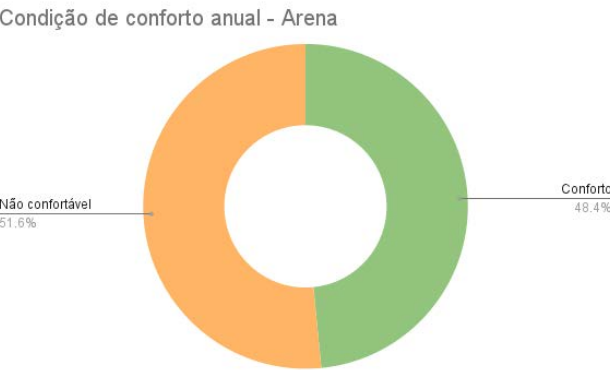


Figura 158. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

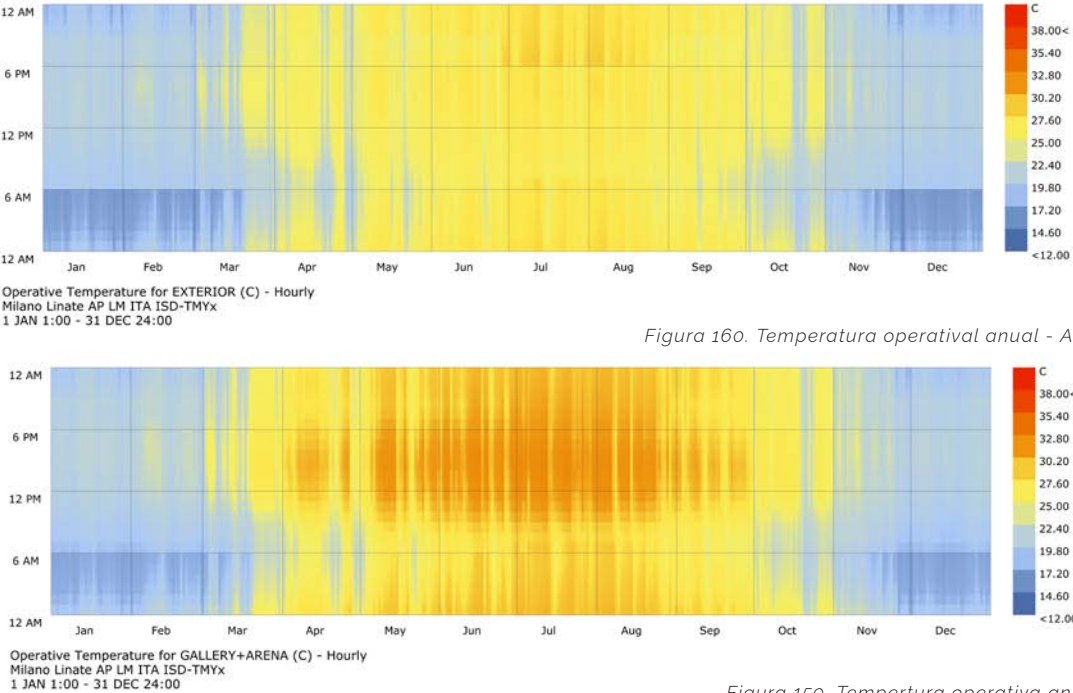


Figura 160. Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor

Figura 159. Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor



COBERTURA U<sub>ETFE</sub> MÍNIMO - NATURALMENTE VENTILADO

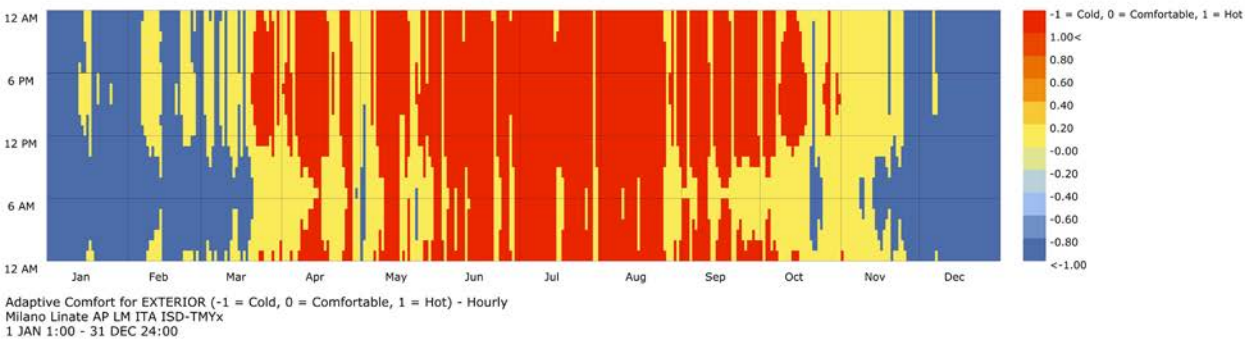


Figura 161. Condição de conforto - Anel exterior. Fonte: Autor

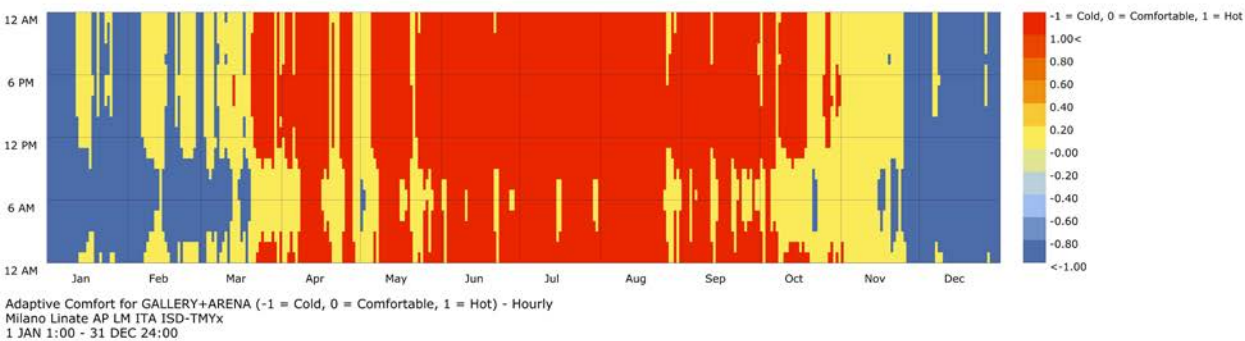


Figura 162. Condição de conforto - Arena. Fonte: Autor

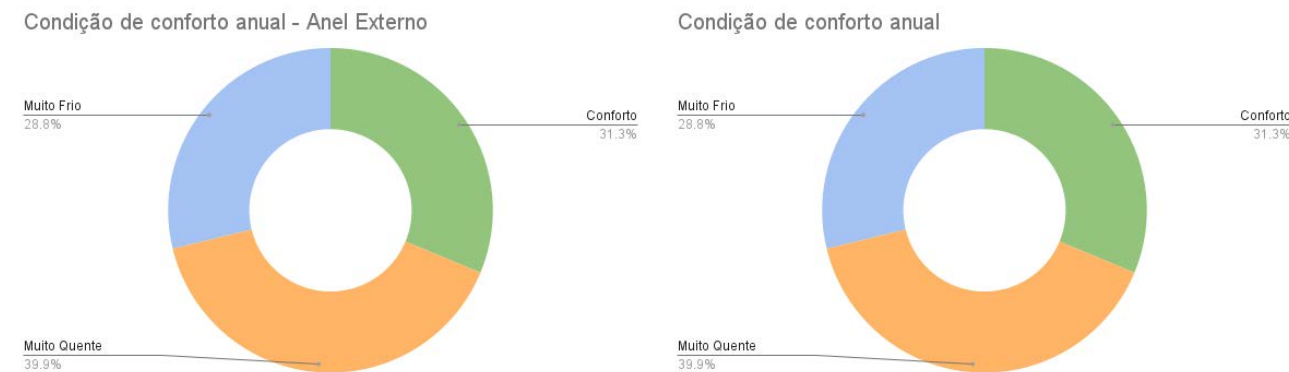


Figura 163. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

Figura 164. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

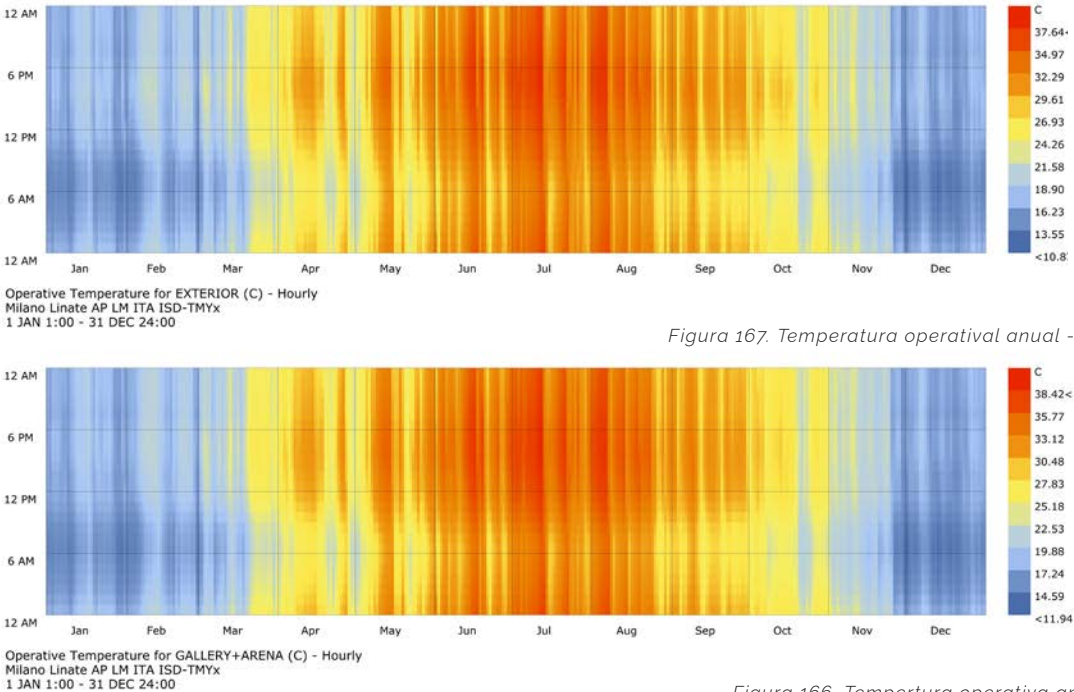


Figura 167. Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor

Figura 166. Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor

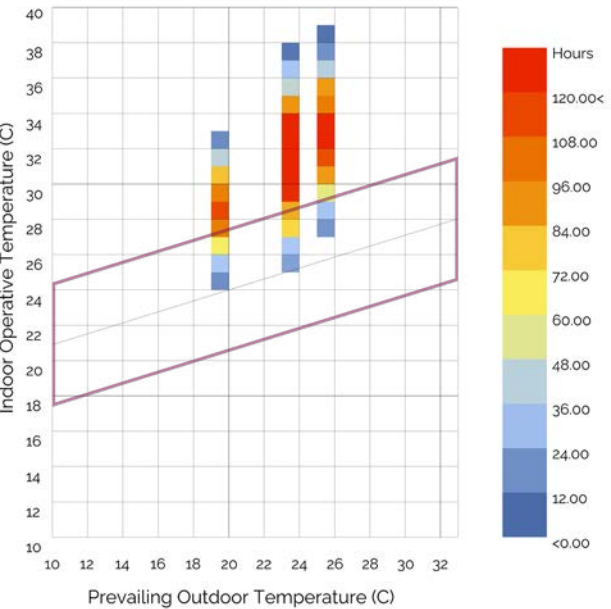


Figura 165. Concentração das temperaturas médias horárias no gráfico adaptativo, para o verão. Fonte: Autor

COBERTURA U<sub>ETFE</sub> MÍNIMO - CONDICIONADO ARTIFICIALMENTE

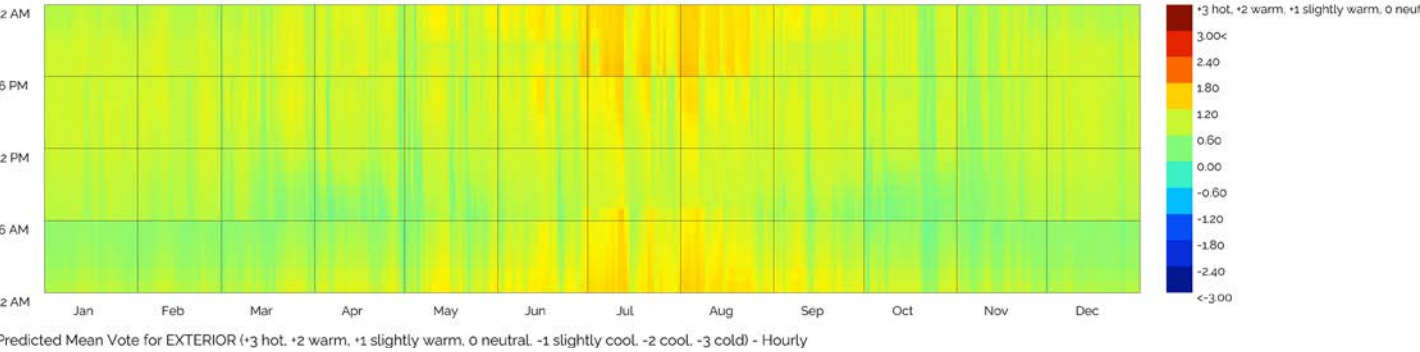


Figura 168. Condição de conforto PMV- Anel exterior. Fonte: Autor

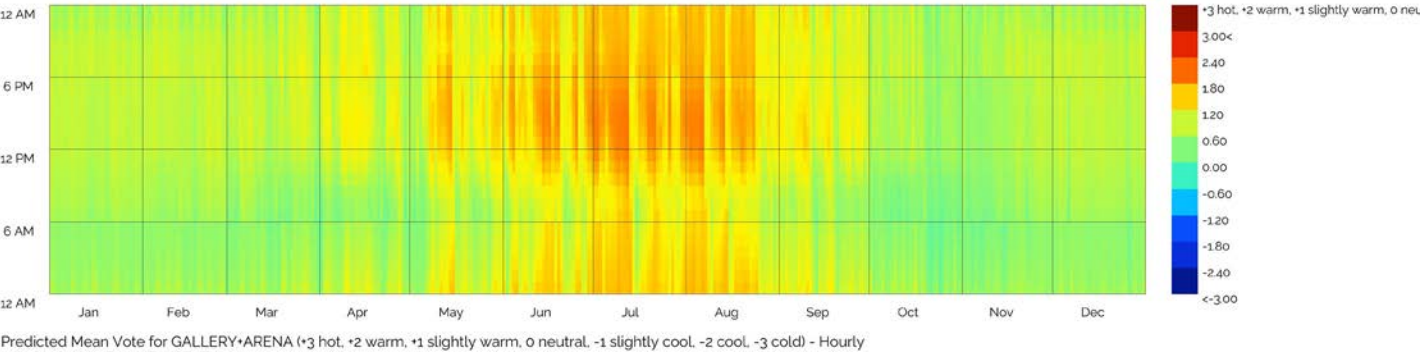


Figura 169. Condição de conforto PMV- Arena. Fonte: Autor

Condição de conforto anual - Anel Externo

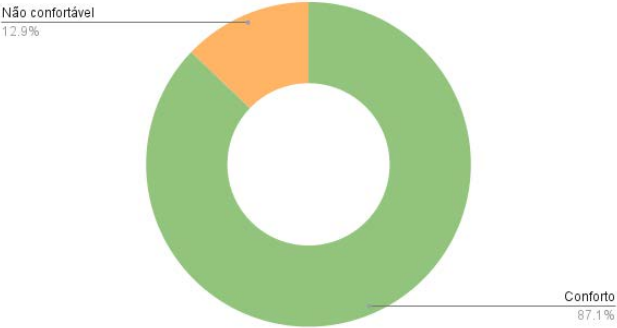


Figura 170. Condição de conforto total anual - Anel. Fonte: Autor

Condição de conforto anual - Arena

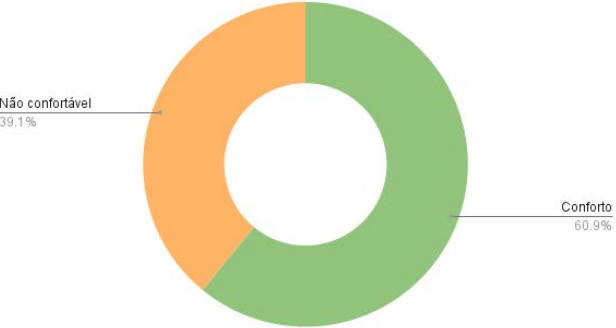


Figura 171. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

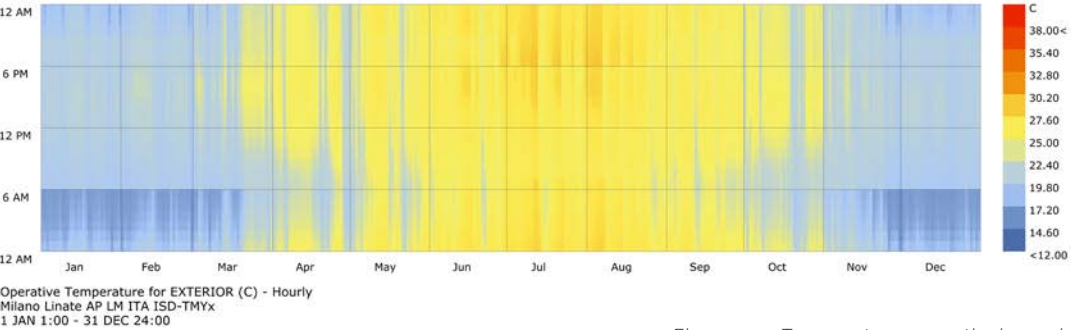


Figura 173. Temperatura operacional anual - Anel exterior. Fonte: Autor

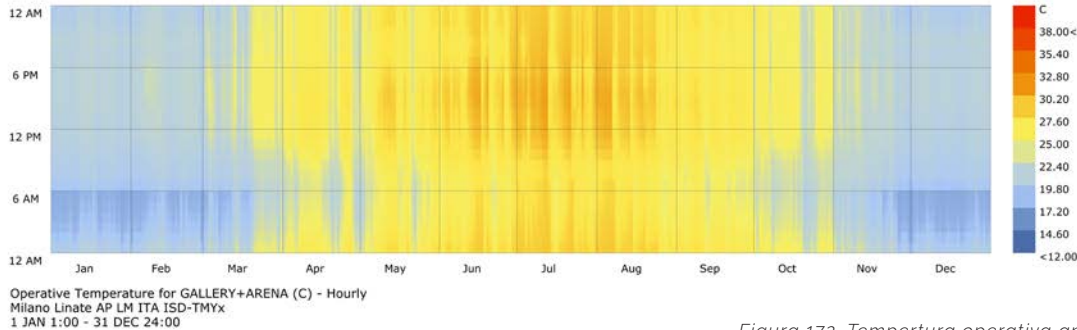


Figura 172. Tempertura operativa anual - Arena. Fonte: Autor



CRONOGRAMA DE USO MENOS INTENSO, U<sub>ETFE</sub> MINIMO, CONDICIONADO ARTIFICIALMENTE

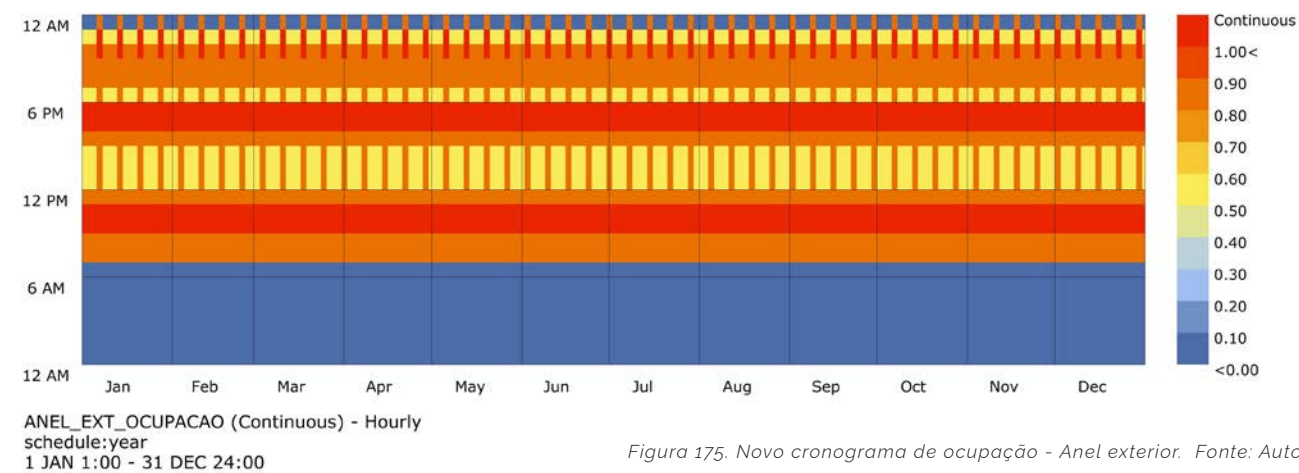


Figura 175. Novo cronograma de ocupação - Anel exterior. Fonte: Autor

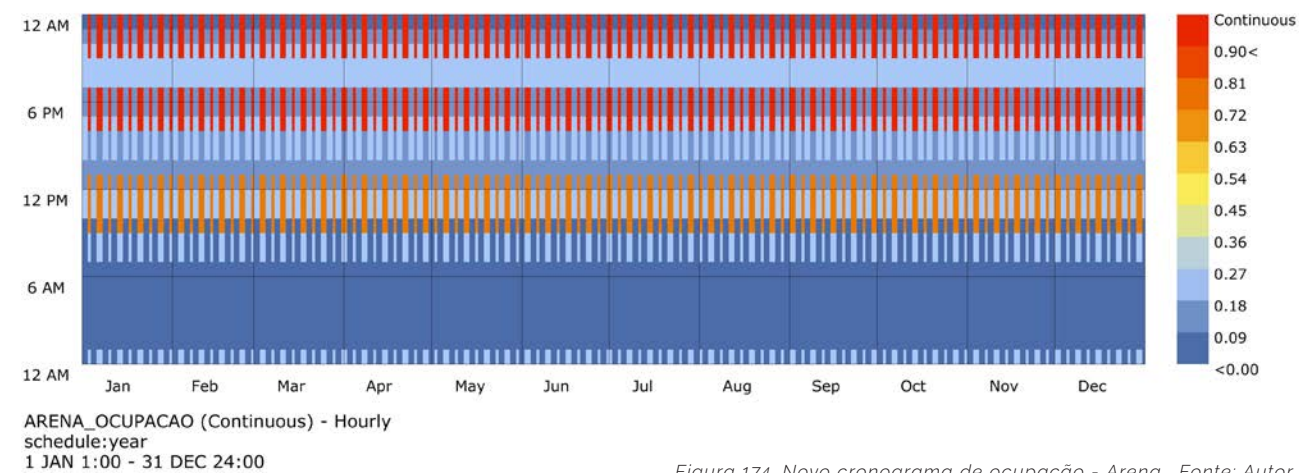


Figura 174. Novo cronograma de ocupação - Arena. Fonte: Autor

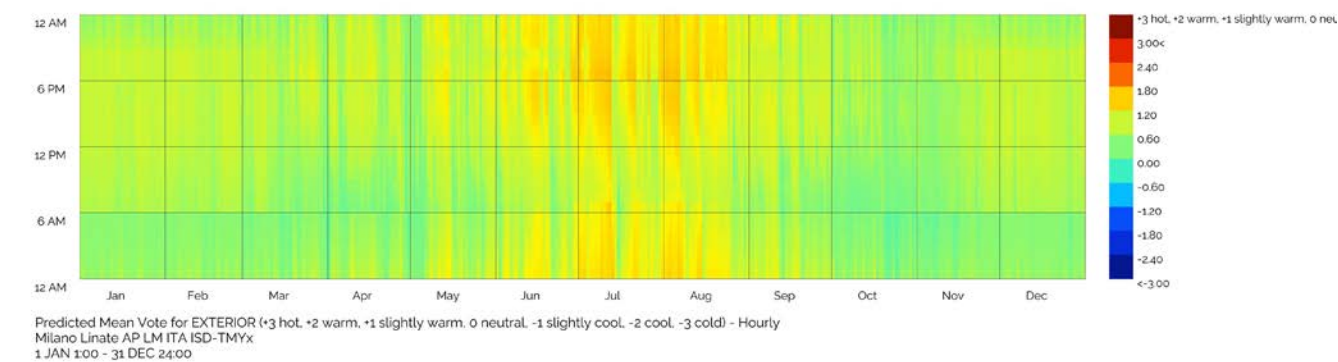


Figura 176. Condição de conforto PMV - Anel exterior. Fonte: Autor

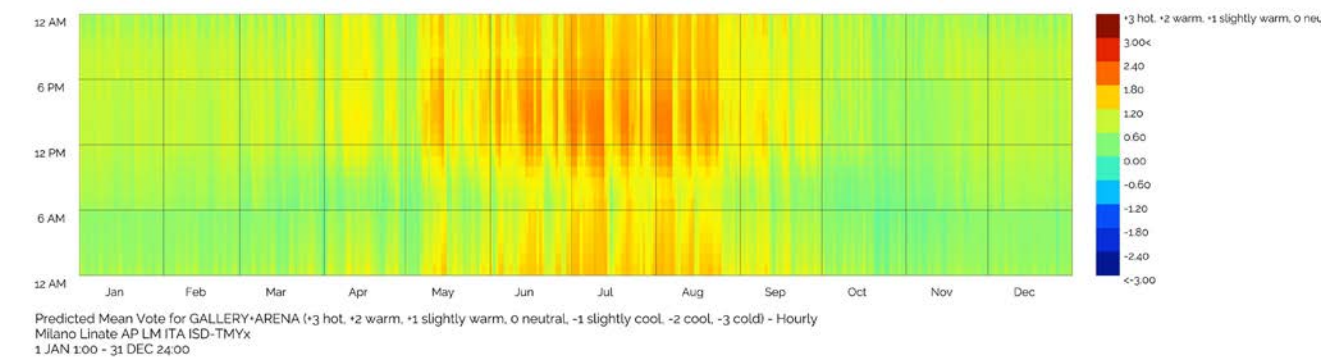


Figura 177. Condição de conforto PMV - Arena. Fonte: Autor

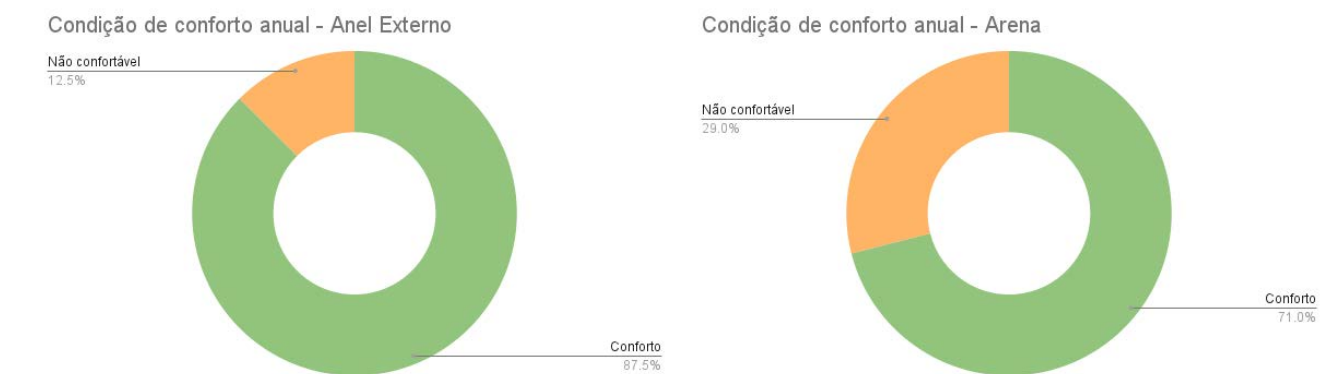


Figura 178. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

Figura 179. Condição de conforto total anual - Arena. Fonte: Autor

COMPARAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Com os resultados de ambos os casos de ETFE, podemos fazer uma comparação da média horária de cada mês do ano das temperaturas operativas e entender em quais casos há maior, ou

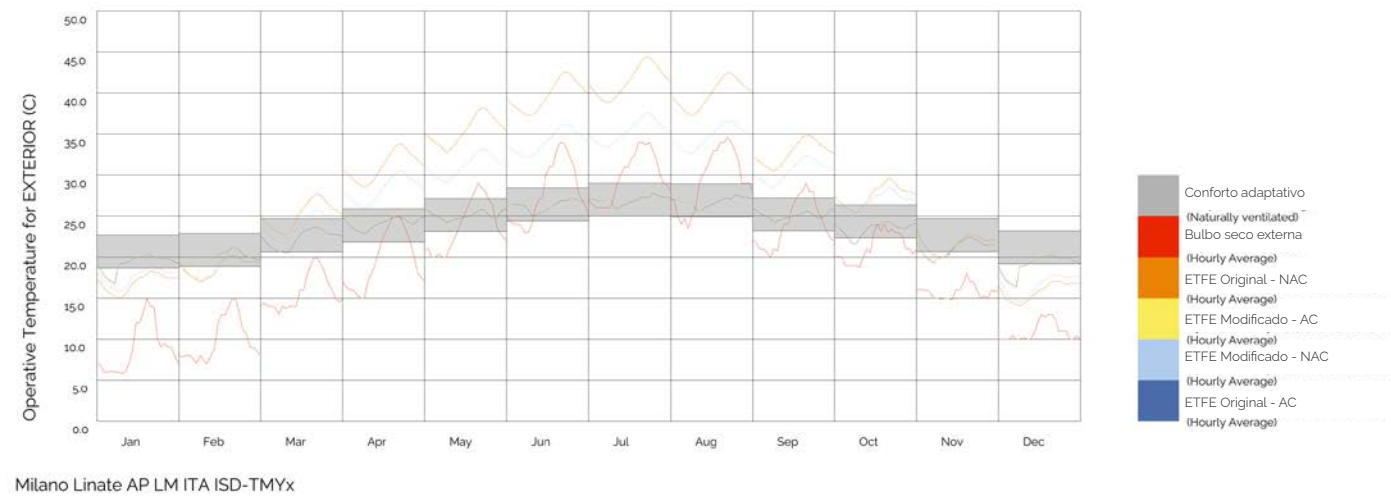


Figura 181. Variação da temperatura operativa máxima diária, para cada hipótese, no anel exterior. Fonte: Autor

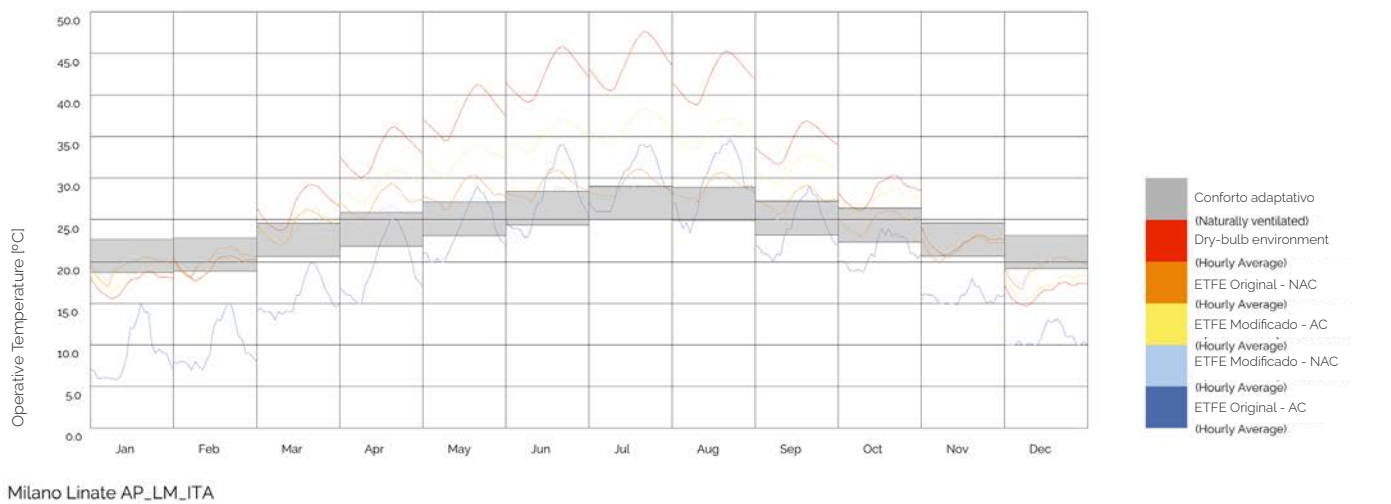


Figura 180. Variação da temperatura operativa máxima diária, para cada hipótese, na arena. Fonte: Autor

menor aderência à faixa de conforto desejada. Nota-se que a região do modelo adaptativo não é recomendada para analisar as temperaturas de modelos artificialmente condicionados, mas para o fim desse trabalho, serve como boa base para comparação dos resultados. Feita essa análise, pode-se fazer um comparativo do melhor caso encontrado (ETFE mínimo), para entendermos o quanto o uso menos intenso da estrutura esportiva irá impactar no total de horas confortáveis durante o ano.

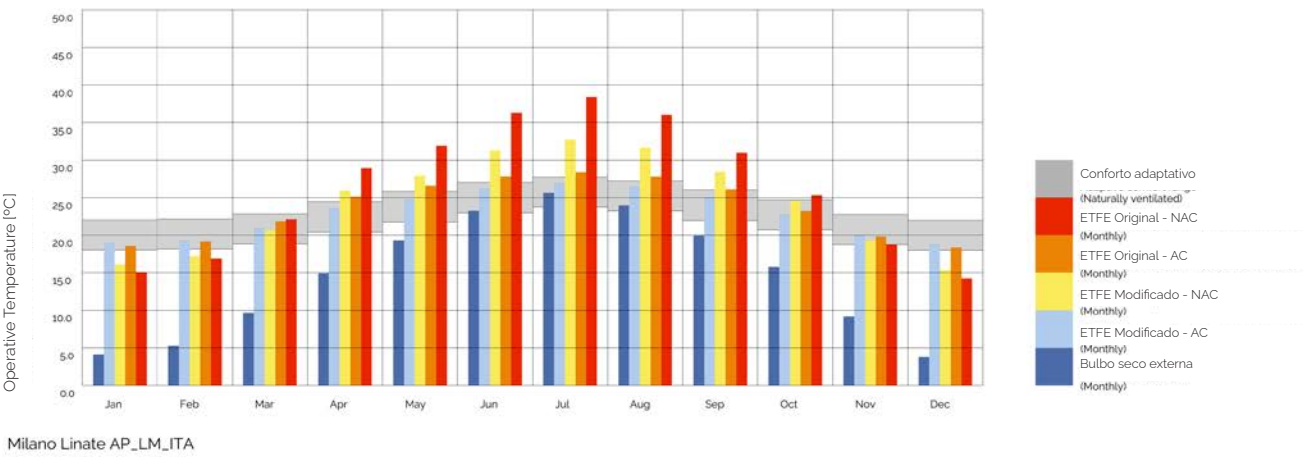


Figura 182. Variação das temperaturas operativas médias para cada hipótese. Fonte: Autor

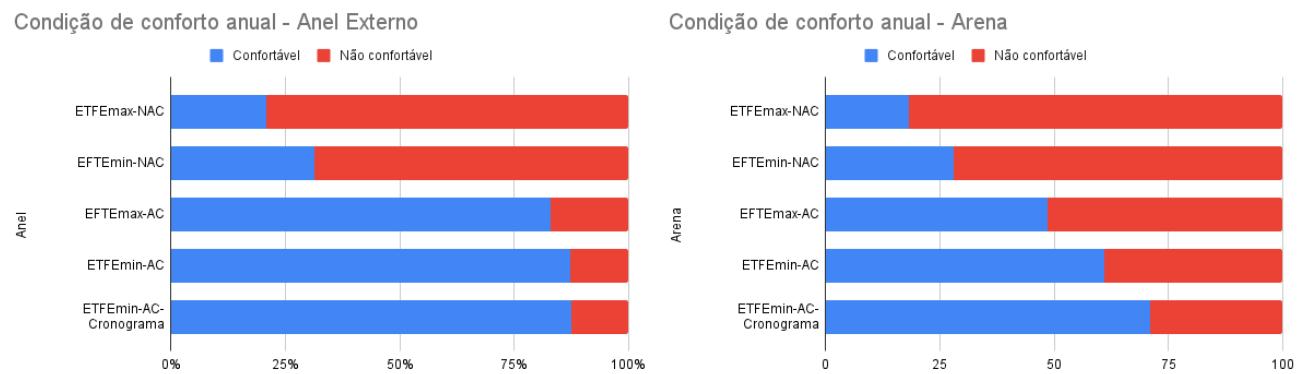


Figura 183. Conforto total anual - Anel externo. Fonte: Autor

Figura 184. Conforto total anual - Arena. Fonte: Autor



COMPARAÇÃO DA SIMULAÇÃO FEITA PELO MÉTODO CARRIER  
COM OS RESULTADOS DO ENERGY PLUS

O objetivo principal das simulações de ganho e perda energéticas deste trabalho era estimar um tamanho mínimo para os shafts de ventilação condicionada do edifício e entender o tamanho do espaço necessário para abrigar as unidades de tratamento de ar (*Air Handling Units* - AHU). Nesta fase de anteprojeto, seria o necessário para entender e dedicar espaço nas plantas e nas seções do edifício, e entender sua relação com a arquitetura e a estrutura.

A comparação dos resultados das cargas de pico para resfriamento e aquecimento obtidas pelo cálculo na primeira parte do trabalho e pelo cálculo do EnergyPlus nos permite entender a imprecisão que a simplificação do primeiro cálculo gerou. Comparando os valores obtidos é possível também ajustar os valores das áreas dos shaft de ventilação e a quantidade ou capacidade das AHU.

Deixando inalterados todos os outros fatores da simulação manual (inclusive as cargas latentes), podemos as cargas sensíveis de usuário para resfriamento obtidas pela simulação do Energy Plus e obter um valor estimado do quanto seria necessário aumentar a área dos *shafts* do edifício bem como do quanto as unidades de tratamento de ar aumentariam.

O aumento das áreas dos shafts principais do edifício obtidos, ilustrados na Tabela 29, foram:

- Hipótese ETFE (U mínimo) | Cronograma de uso original: 5,4 m²
- Hipótese ETFE (U mínimo) | Cronograma de uso menos intensivo: 2,1 m²
- Hipótese ETFE (U original) | Cronograma de uso original: 17,2 m²

É interessante notar que, utilizando a hipótese original, as áreas dos *shafts* dos resultados manuais e feitos pelo Honeybee diferiram de 120% e não haveria uma AHU que conseguiria atender à demanda no catálogo inicialmente consultado. Isso pode ser devido às simplificações da geometria inicialmente feitas, às temperatura de *setpoint* diferentes ou indicar que se deveria utilizar um nível superior de AHUs.

| ETFE (U min)   Original Schedule |                            |                      |                                   |               |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                  | Calculated Design Load [W] | User Design Load [W] | Increase in total shaft area [m²] | AHU Dimension |
| EXTERIOR                         | 873729.87                  | 1004789.35           | -                                 | -             |
| ARENA                            | 1424493.81                 | 1638167.88           | -                                 | -             |
| TOTAL                            |                            | 2642957.23           | 5.4                               | 2.24 x 4.48   |

| ETFE (U min)   Less intesive Schedule |                            |                      |                                   |               |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                       | Calculated Design Load [W] | User Design Load [W] | Increase in total shaft area [m²] | AHU Dimension |
| EXTERIOR                              | 639215.37                  | 735097.67            | -                                 | -             |
| ARENA                                 | 1220008.48                 | 1403009.76           | -                                 | -             |
| TOTAL                                 |                            | 2138107.43           | 2.1                               | 2.24 x 3.84   |

| ETFE (U original)   Original Schedule |                            |                      |                                   |               |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------|
|                                       | Calculated Design Load [W] | User Design Load [W] | Increase in total shaft area [m²] | AHU Dimension |
| EXTERIOR                              | 1203128.64                 | 1383597.93           | -                                 | -             |
| ARENA                                 | 2676741.02                 | 3078252.17           | -                                 | -             |
| TOTAL                                 |                            | 4461850.1            | 17.2                              | out of range  |

Tabela 29. Comparativo das cargas sensíveis obtidas com o Energy Plus entre as diferentes hipóteses e as diferenças de áreas dos shafts originais. Fonte: Autor.

LEITURA DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos, fica claro que o desempenho obtido pela edificação não atende os parâmetros de conforto na maior parte das horas do ano para o caso em que o edifício é naturalmente ventilado, mostrando que nessa configuração seria inviável apostar em mecanismos de conforto térmica apenas naturais. Quando o edifício é condicionado artificialmete, a proporção de horas dentro do conforto aumenta, mas mesmo assim é insuficiente, dado que a Arena, no melhor dos casos simulados, atinge apenas 75% do tempo dentro da zona de conforto. É interessante notar que ao usar ar condicionado, mesmo com o set point da temperatura do ar (ta) ajustado a 24°C, a temperatura radiante média (tr) deve fazer com que a temperatura operativa (to) se eleve e cause desconforto aos usuários.

Esses resultados indicam que mudanças substanciais na estratégia de conforto térmico devem ser feitas. Utilizando um gráfico psicrométrico, conseguimos entender os dados climáticos atuais da região de Milão para entender quais estratégias poderiam ter sido tomadas no início do projeto.

Para realizar essa análise, vamos utilizar o software livre Climate Consultant que consegue, a partir dos dados ambientais anuais presentes em formato .epw, entender quais estratégias seriam as mais recomendadas para um modelo simplificado (tipo “caixa”) para os meses de junho a agosto. Essas estratégias são obtidas a partir das recomendações da ASHRAE 2020. Os resultados são exibidos na Figura 185.

Sendo assim, as estratégias mais recomendadas seriam:

- 1. Sombreamento das aberturas;
- 2. Elevada massa térmica, com ventilação noturna;
- 3. Ventilação forçada;

Como a opção 1 já foi explorada na elaboração do projeto, as opções de aumentar a massa térmica e forçar a ventilação seriam opções a serem exploradas.

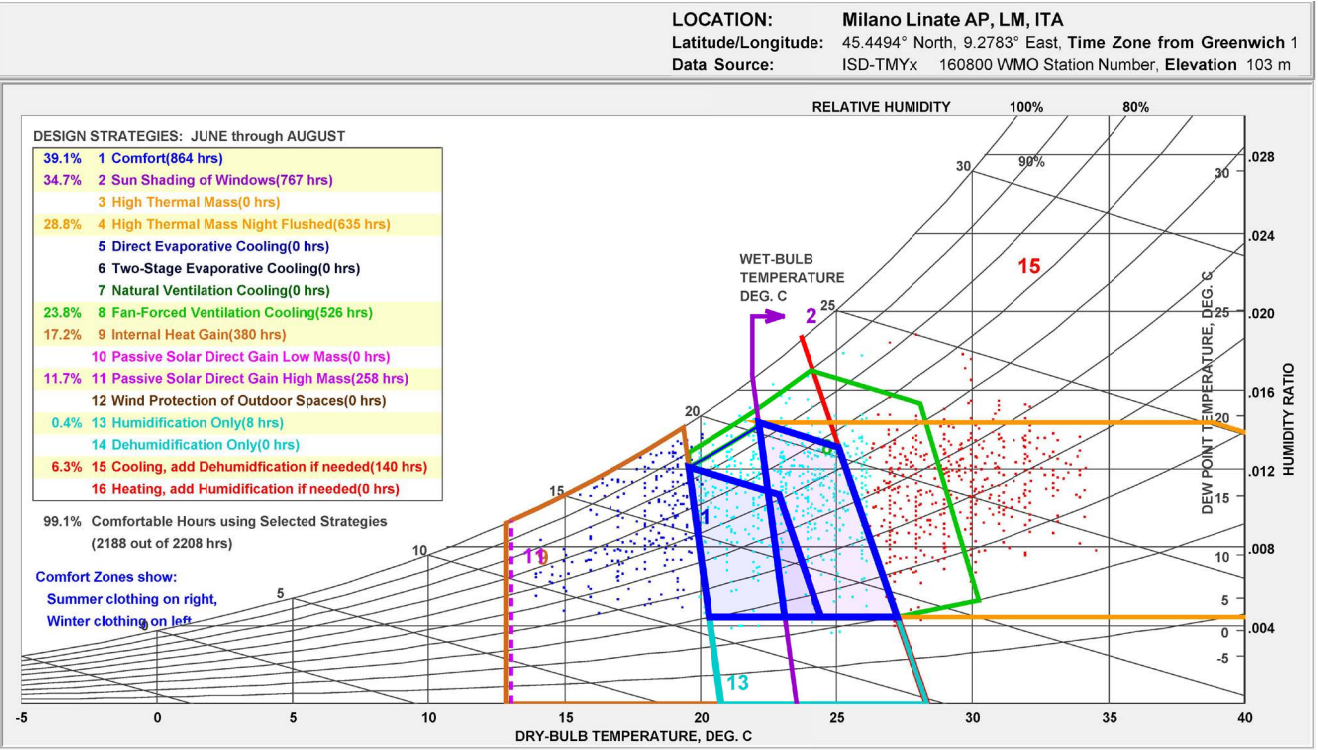


Figura 185. Estratégias de conforto térmico para dados da década de 2010 no verão, a partir do software Climate Consultant com padrões da ASHRAE 2005. Fonte: Autor.



ANÁLISE PARA RESILIÊNCIA DO EDIFÍCIO COM AS MUDANÇAS CAUSADAS PELO AQUECIMENTO GLOBAL

De acordo com o Global Covenant of Mayors for Climate & Energy (2021) , Milão apresenta uma grande probabilidade de aumento de ilhas de calor a médio prazo (2025-2050) e precisa criar estratégias de adaptação. De suas emissões de carbono, 86% são geradas pelo ciclo de vida de seus edifícios. É latente, portanto, que as estratégias das edificações novas tenham grande preocupação com as projeções futuras dos dados climáticos.

Podemos utilizar as projeções do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para entender se as estratégias de conforto térmico permaneceriam as mesmas no futuro com o aquecimento global ou se deveríamos adotar medidas adicionais. Para se gerar os gráficos para os dados futuros, utilizaram-se os dados do penúltimo relatório de avaliação (AR) do IPCC sobre mudanças climáticas, o AR5. A partir dos dados regionalizados de mudanças climáticas para a Europa Mediterrânea, foram usadas as condições para a RCP (Representative Concentration Pathway) 8.5. A RCP 8.5 descreve um possível cenário para o futuro das emissões de dióxido de carbono (um dos principais responsáveis pelo efeito estufa) em que não há desaceleração do ritmo de emissões atual. A RCP 8.5 é, portanto, o cenário mais pessimista, em que os caminho socioeconômico compartilhados globalmente (Socio-economic Shared Pathway - SSP) é o do desenvolvimento baseado em combustíveis fósseis. A Figura 186 apresenta uma comparação entre as diferentes RCPs.

Os dados projetados do AR5 foram gentilmente disponibilizados pela plataforma WeatherShift em arquivo .epw e foram utilizados para as projeções entre 2026 e 2045. Além disso, assumiu-se como percentil de aquecimento o valor 50%, ou seja, metade

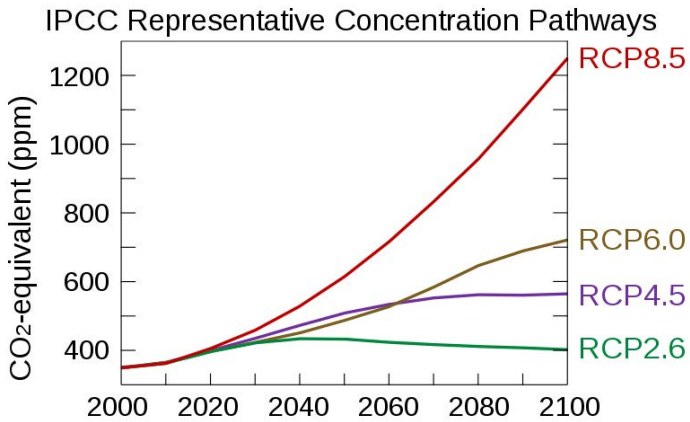


Figura 186. Diferentes RCPs projetadas pelo IPCC. Fonte: Wikipedia, 2021

das projeções de aumento de temperatura são menores que o aumento de temperatura previsto, e a outra metade é superior. É interessante notar que, no mais último relatório, o AR6, o IPCC projeta para a região um aumento médio na RCP 8.5 de pelo menos 1.1°C até 2040, como mostra Figura 187.

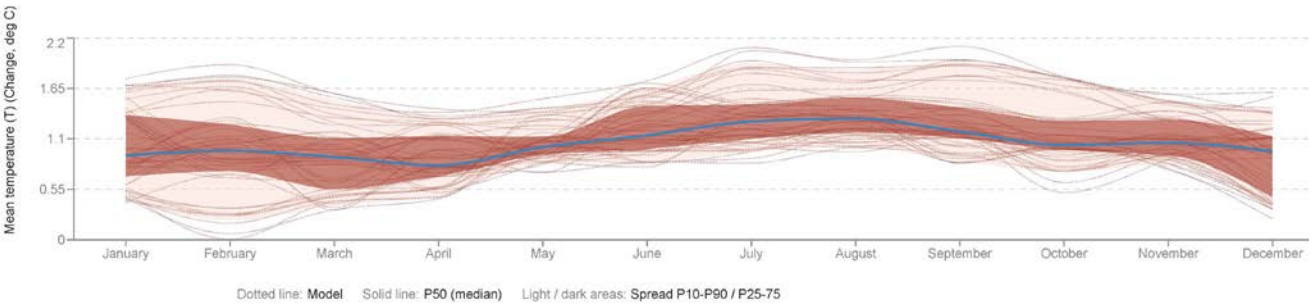


Figura 187. Projeção de aumento da temperatura média para Milão em 2045, segundo o RCP 8.5. Fonte: IPCC WGI Interactive Atlas: Regional synthesis, 2021.

Com esses dados nas condições especificadas em mãos, desenhou-se um gráfico psicrométrico com o Climate Consultant com as mesmas condições anteriores para tentar identificar as estratégias que mais se adaptariam para as condições futuras do edifício (Figura 188). Com isso obteve-se que as estratégias mais relevantes para conforto climático se manteriam as mesmas que as obtidas com os dados atuais. Ou seja, utilizar as estratégias de aumentar a massa térmica e aumentar a ventilação forçada por ventiladores seriam recomendadas tanto atualmente quanto no futuro.

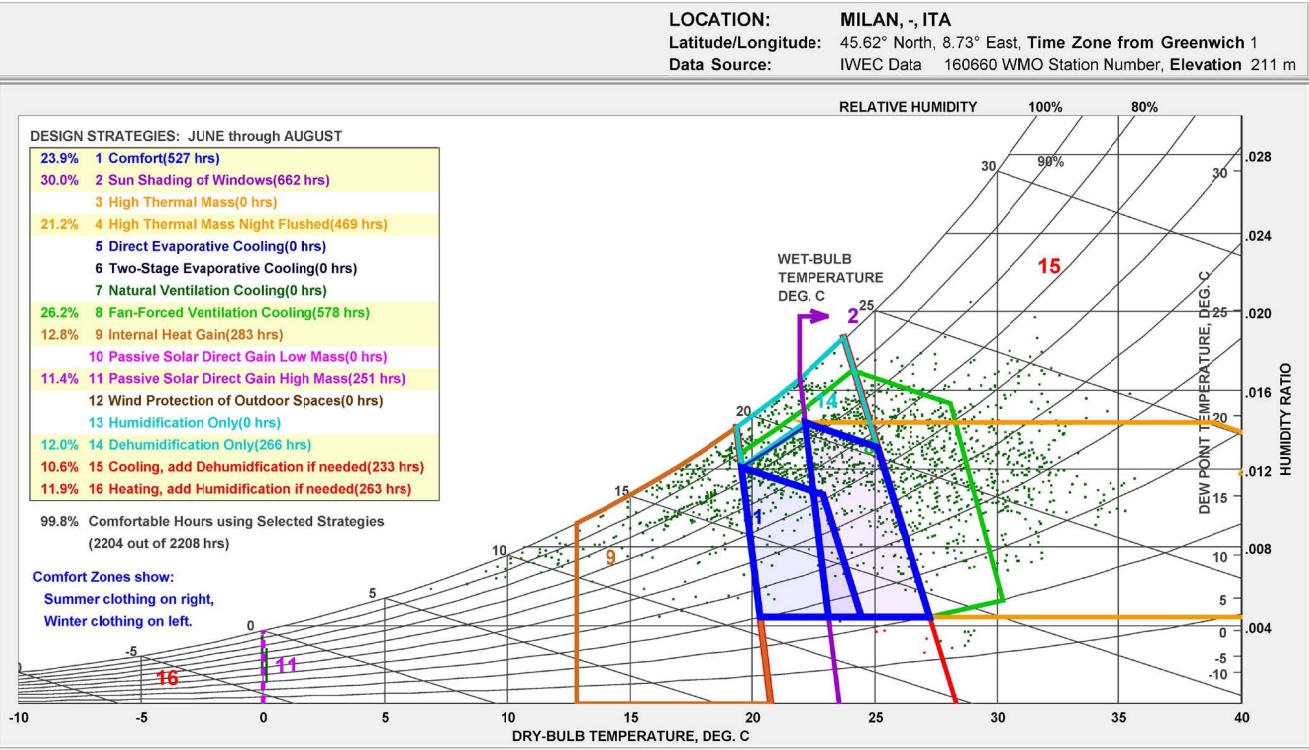


Figura 188. Estratégias de conforto térmico para dados de 2045, no verão, a partir do software Comfort Consultant com padrões da ASHRAE 2005. Fonte: Autor, com dados disponibilizados pelo WeatherShift (2021).

**QUAIS INTERVENÇÕES PODERIAM SER FEITAS NO PROJETO PARA CONSEGUIR OBTER UM MELHOR DESEMPENHO TÉRMICO?**

Como o sombreamento dos fechamentos envidraçados já foi realizado num nível que reduziu consideravelmente a radiação incidente, pensaram-se soluções que poderiam aumentar a massa térmica e facilitar a ventilação mecânica no edifício.

Algumas soluções que poderiam ser adotadas:

1. Diminuir área translúcida da cobertura
2. Utilizar materiais na cobertura com maior massa térmica, como cerâmicas;
3. Aumentar a espessura e massa das coberturas do anel externo do edifício, mas sabendo que teria efeito limitado (pelo que vimos nas simulações);
4. Utilizar chapas perfuradas para sombrear a cobertura por fora;
5. Cobrir parte da cobertura com ETFEL opaco;
6. Aumentar as áreas de entrada de ventilação natural do edifício, deixando, por exemplo, as entradas livres e a galeria como um "túnel" de ventilação natural que poderia ser incrementado por ventilação mecânica.



**CONSIDERAÇÕES  
FINAIS**

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto da Arena de Gelo para as Olimpíadas de Inverno de Milão foi pensado de uma maneira holística, tentando entender, entre outras coisas, seu impacto urbanístico e paisagístico, sua qualidade estética, seu programa, e sua viabilidade estrutural e técnica. Manejar todas essas qualidades ao mesmo tempo é, no entanto, um exercício árduo e iterativo, em que algumas vezes se faz necessário sacrificar uma qualidade em detrimento da outra.

No caso do conforto térmico, houve uma confiança inicial de que a qualidade inovativa e os parâmetros térmicos das membranas de ETFE seriam suficientes para ter um desempenho satisfatório. O cálculo dos picos de carga de aquecimento e resfriamento para o dimensionamento do sistema de condicionamento também gerou uma ilusória impressão de que o ar-condicionado seria uma alternativa viável para o conforto da edificação.

Como vimos no último estudo do trabalho, com as condições testadas, a utilização de condicionamento não foi capaz de, sozinha, atingir os parâmetros de conforto desejados.

Conclui-se que, como boa prática, o conforto térmico deve ser simulado desde as fases mais preliminares de projeto da edificação. Isso instrumentaliza o arquiteto a pensar com um olhar realista para o edifício. Considerando as atuais normativas europeias e o compromisso da prefeitura de Milão de ter todos seus novos edifícios como ZNEB (Near Zero Energy Building) até 2030, provavelmente o projeto do edifício da maneira que foi concebido seria, lamentavelmente, inviabilizado.



# BIBLIOGRAFIA

## PROJETO

+greekacom. n.d. "Ancient Stadium in Olympia, Greece."  
+greekacom. Acessado em 10 Set. 2021. <http://web.archive.org/web/20210410122511/https://www.greeka.com/peloponnese/olympia/sightseeing/ancient-stadium/>.

AKERS, Mick. 2020. "Roof Panel Installation Begins on Allegiant Stadium." Las Vegas Review-Journal. March 12, 2020. <https://www.reviewjournal.com/post/1977652>.

ALAMY LIMITED. n.d. "Stock Photo - The Circus Maximus Is an Ancient Roman Chariot Racing Stadium and Mass Entertainment Venue Located in Rome, Italy. Situated in the Valley between the Aventine and Palatine." Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.alamy.com/the-circus-maximus-is-an-ancient-roman-chariot-racing-stadium-and-mass-entertainment-venue-located-in-rome-italy-situated-in-the-valley-between-the-aventine-and-palatine-hills-it-was-the-first-and-largest-stadium-in-ancient-rome-and-its-later-empire-it-measured-2037-feet-in-length-and-387-feet-in-width-and-could-accommodate-over-150000-spectators-in-its-fully-developed-form-it-became-the-model-for-circuses-throughout-the-roman-empire-image246588421.html>.

ARUP Ingegneria Multidisciplinare. Il Palasport di Torino. Milan: Motta Architettura, 2007

BACCARELLI, M., ORSINI, M., POMODORO, P. Per un progetto dello spazio pubblico: Milano Santa Giulia. Urbanistica, v.261-262. pp 57-59. 2015.

CAPUTO, Paolo. 2010. Milano Santa Giulia. Dal piano alle residenze sociali.

"CIRCUS MAXIMUS." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. [https://](https://artsandculture.google.com/entity/circus-maximus/m099k7)

[artsandculture.google.com/entity/circus-maximus/m099k7](https://artsandculture.google.com/entity/circus-maximus/m099k7).

CODEX, Pavia (it)-[Http://www.Codexcoop.It](http://www.Codexcoop.It). Quartiere Milano-San Felice - Segrate (MI). [s.d.]. Disponivel em: <https://www.lombardiabeniculturali.it/architetture900/schede/p4010-00259/>. Acesso em: 10 dez. 2021.

CONTINELLA, Vito. Il piano di zona per l'edilizia economica e popolare (P.E.E.P.): nei suoi aspetti giuridici e pratici. [s.l.: s.n.].

DENDURA, Bartosz. 2020. Olympic Infrastructure: Global Problems of Local Communities on the Example of Rio 2016, PyeongChang 2018, and Krakow 2023.

DEL TERRITORIO, Comune di Milano Ass Allo Svil. Ricostruire la grande Milano: strategie, politiche, regole : documento di inquadramento delle politiche urbanistiche comunali. [s.l.] : Il Sole 24 Ore, 2001.

EUROPEAN COMMISSION. Green paper: A 2030 framework for climate and energy policies. 2013

COMUNE DI MILANO. RE - Regolamento Edilizio. 2013

FAROLDI, Emilio. 2020. Sport Architecture: Design Construction Management of Sport Infrastructure. LetteraVentidue.

FENNER, Andriel Evandro, Charles Joseph Kibert, Junghoon Woo, Shirley Morque, Mohamad Razkenari, Hamed Hakim, and Xiaoshu Lu. 2018. "The Carbon Footprint of Buildings: A Review of Methodologies and Applications." Renewable and Sustainable Energy Reviews. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.012>.

"History of Milan." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.introducingmilan.com/history>.

"IIHF - IIHF Ice Rink Guide." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.iihf.com/en/static/5890/iihf-ice-rink-guide>.

INTERNATIONAL OLYMPIC COMMITTEE COMMISSION. Report IOC Evaluation Commission Olympic Winter Games 2026. 2019.

INTERNATIONAL OLYMPIC COMMITTEE. Technical Manual on Venues - Design Standards for Competition Venues. 2005

IOC Sustainability Report: Sharing Progress on Our 2020 Objectives. 2018.

KARIKARI, Beth. 2017. "Sports Stadiums Past and Present." July 31, 2017. <https://allsitestructures.com/history-sports-stadiums/>.

MILAN. [s.d.]. Disponível em: <https://www.globalcovenantofmayors.org/cities/european-union-and-western-europe/italy/milan/>. . Acesso em: 10 dez. 2021.

MALIZIA, M. Prevenzione Incendi Impianti Sportivi - testo coordinato - Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Ascoli Piceno. 2011

LARA, E.L., MARTINS, J.H.B., NASSAR, E.Z. Ice Hockey Arena for Milan-Cortina 2026 Winter Olympics. Master Thesis. Politecnico di Milano, 2021.

LEMAIRE, Greg. 2011. "AD Classics: AD Classics: David S. Ingalls Skating Rink / Eero Saarinen." ArchDaily. Setembro 20, 2011. <https://www.archdaily.com/157708/ad-classics-david-s-ingalls-skating-rink-eero-saarinen>.

LUO, Jinglin. 2017. "Ice Sports Center of the 13th China National Winter Games / Architectural Design and Research Institute of Harbin Institute of Technology." ArchDaily. Setembro 20, 2017. <https://www.archdaily.com/874256/ice-sports-center-of-the-13th-china-national-winter-games-architectural-design-and-research-institute-of-harbin-institute-of-technology>.

MANNI, Mattia, Alessandro Petrozzi, Valentina Coccia, Andrea Nicolini, and Franco Cotana. 2020. "Investigating Alternative Development Strategies for Sport Arenas Based on Active and Passive Systems." Journal of Building Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101340>.

"MILANO 2030 - PGT VIGENTE." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.pgt.comune.milano.it/>.

NEWCOMB, Tim. 2015. "Embracing the Horseshoe: A Look through Centuries of Stadium Design." Sports Illustrated. February 2, 2015. <https://www.si.com/extra-mustard/2015/02/02/history-stadium-design-arenas>.

PLACEDYNAMIX (GLOBAL). - "Placemaking around Stadiums" n.d. Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.placedynamix.com/articles/029-placemaking-around-stadiums>.

SÁNCHEZ, Daniel. 2014. "LeFrak Center at Lakeside / Tod Williams Billie Tsien Architects." ArchDaily. February 20, 2014. <https://www.archdaily.com/478448/lefrak-center-at-lakeside-tod-williams-billie-tsien-architects>.

SHARP, Dennis. The Illustrated Encyclopedia of Architects and Architecture. [s.l.] : Watson-Guptill Publications, 1991.

STAMP, Elizabeth. 2015. "The Most Architecturally Beautiful Ice-Skating Rinks." Architectural Digest. January 31, 2015. <https://www.architecturaldigest.com/gallery/architectural-ice-rinks-slideshow>.

STURZEBECKER, Peter. 2002. Architecture for Sport: New Concepts and International Projects for Sport and Leisure. "The First Artificial Ice Rink." n.d. Acessado em 10 Set. 2021a. [https://historyhouse.co.uk/articles/artificial\\_ice\\_rink.html](https://historyhouse.co.uk/articles/artificial_ice_rink.html).

"World Stadiums - Architecture :: Stadium History." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. [http://www.worldstadiums.com/stadium\\_menu/architecture/historic\\_stadiums.shtml](http://www.worldstadiums.com/stadium_menu/architecture/historic_stadiums.shtml).

## ESTRUTURAS

ARUP 2006 Structural Design Guide.

CHOI, H.J. Forces in beams and cables. Lecture in CAU -School of Mechanical engineering. Disponível em: <http://isdl.cau.ac.kr/education.data/statics/ch7.pdf>. Acesso em: 26 Abril 2021.

CONNELLY, R., Back, A. Catalogue of Symmetric Tensegrities, [online], Cornell University, Ithaca (USA), 1998b. [http://mathlab.cit.cornell.edu/visualization/tenseg/in\\_progress/short\\_top.html](http://mathlab.cit.cornell.edu/visualization/tenseg/in_progress/short_top.html). Acesso em: 28 of Maio of 2017

DREW, P. Frei OTTO. Form and structure. London: Crosby Lockwood Staples, 1976.

EISENMAN Architects/University of Phoenix Stadium for the Arizona Cardinals. Princeton Architectural Press, 2008.

FASS, John, et al. Il Palasport di Torino: Arup ingegneria multidisciplinare. Motta Architettura, 2007.

FRANK, Sybille, and Silke Steets, editors. Stadium Worlds: Football, Space and the Built Environment. Routledge, 2010.

GÓMEZ, V. Tensegrity Structures and their Application to Architecture. Tesis Doctoral. School of Architecture, Queen's University, Belfast, 2004.

GOODCHILD, C. H., et al. Economic Concrete Frame Elements to Eurocode 2: A Pre-Scheme Handbook for the Rapid Sizing and Selection of Reinforced Concrete Frame Elements in Multi-Storey Buildings Designed to Eurocode 2. The Concrete Center, 2009.

MANIFOLD. Structural Analysis. Chapter 6: Arches and Cables. Disponível em: <https://temple.manifoldapp.org/read/structural-analysis/section/oad83309-27c7-4341-aa13-b057374a134c>. Acesso em: 26 Abril 2021.

MOTRO, R. Tensegrity: Structural Systems for the Future. London: Kogan Page Science, 2003.

ROBERTS, John T. Stadium Design. Wiley, 2002

SAMIH A. Guayente M. Post-tensioned stress ribbon systems in long-span roofs–Case study: Västerås Travel Center. Master Thesis in Concrete Structures, KTH, June 2018

SCHODEK, D. B. (2013). Structures. Pearson Educated Limited.



## INSTALAÇÕES E CONFORTO

BRITISH STANDARDS INSTITUTE Staff. 1917. Energy Performance of Buildings. Method for Calculation of the Design Heat Load. Explanation and Justification of En 12831-3, Module M8-2, M8-3.

— — —. 2008. Ventilation for Buildings. Energy Performance of Buildings. Guidelines for Inspection of Ventilation Systems. "CARICHI TERMICI INVERNALI." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. <https://paperpile.com/app/p/d38e5dc6-1e91-0d52-aa7a-8ffabf3ba7ac>.

CARRIER AIR CONDITIONING COMPANY. Carrier System Design Manual. Part 1, Load Estimating. [s.l.: s.n.].

DEAR, Richard J. De; DE DEAR, Richard J.; BRAGER, Gail S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55Energy and Buildings, 2002. DOI: 10.1016/s0378-7788(02)00005-1. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00005-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00005-1).

ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. UNI 10339 - Impianti aeraulici a fini di benessere. 1995

FENNER, Andriel Evandro, Charles Joseph Kibert, Junghoon Woo, Shirley Morque, Mohamad Razkenari, Hamed Hakim, and Xiaoshu Lu. 2018. "The Carbon Footprint of Buildings: A Review of Methodologies and Applications." Renewable and Sustainable Energy Reviews. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.012>.

"FM Refrigerant Circuit - Fast SPA." 2020. November 12, 2020. <https://fastaer.com/en/fm-refrigerant-circuit/>.

HUMPHREYS, Michael A.; FERGUS NICOL, J. Principles of Adaptive Thermal ComfortSustainable Houses and Living in the Hot-Humid Climates of Asia, 2018. DOI: 10.1007/978-981-10-8465-2\_10. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-8465-2\\_10](http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-8465-2_10).

"IIHF - IIHF Ice Rink Guide." n.d. Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.iihf.com/en/static/5890/iihf-ice-rink-guide>.

"IMPIANTI DI CONDIZIONAMENTO: CRITERI DI PROGETTO." n.d. Acessado em 10 Set. 2021a. <https://paperpile.com/app/p/769eb500-3cb3-0334-aec6-df582ga28a65>.

INSTITUT BAUEN UND UMWELT E.V. (IBU). Environmental Product Declaration: Texlon®-System. Vector Foiltec GmbH. 2014

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE; IPCC. IPCC Fifth Assessment Report (AR5). [s.l.: s.n.].

IPCC AR6-WGI Atlas. [s.d.]. Disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>. Acesso em: 10 dez. 2021.

KALTENBACH, F., and E. De Angelis. 2007. Praxis: Intonaci, stucchi e pitture-Luce naturale e artificiale-Trasparenze, vetri plastiche e metalli. Con CD-ROM.

MCQUISTON, Faye C., Jerald D. Parker, and Jeffrey D. Spitler. 2004. Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design. John Wiley & Sons.

MINICHELLO, Francesco. n.d. "CARICHI TERMICI INVERNALI." Acessado em 10 Set. 2021. <https://www.docenti.unina.it/webdocenti-be/allegati/materiale-didattico/584510>.

MITSUBISHI ELECTRIC. Photovoltaic Module. MLU Series Catalogue.

MONTICELLI, C., CAMPIOLI, A., ZANELLI, A. Environmental load of ETFE cushions and future ways for their self-sufficient performances. Politecnico di Milano, 2015.

MONTICELLI, C., LOMBARDI, S., WÜRFL, C., MOHAMED IBRAHIM, H. Ellipsoidal shape and daylighting control for the ETFE pneumatic envelope of a winter garden. VI International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures structural membranes, 2013.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildingsEnergy and Buildings, 2002. DOI: 10.1016/s0378-7788(02)00006-

3. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788\(02\)00006-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0378-7788(02)00006-3).

PREMIER, A. 2014. Innovazione sostenibile per l'architettura. Materiali, tecnologie e prodotti.

SOUZA, B. MICHALSKI, R. Equilíbrio entre desempenho térmico e acústico no projeto de um edifício de escritórios. [s.d.]. Disponível em: <https://paperpile.com/app/p/5c3426ce-eod1-4b29-bb28-1127b32fgfea>. Acesso em: 10 dez. 2021.

"TEXLON® ETFE." 2020. July 23, 2020. <https://www.vector-foiltec.com/texlon-etfe/>.

"Kotobuki Telescopic seatings" n.d. [https://www.kotobuki-seating.co.jp/en/retractable\\_seating/rsc.html](https://www.kotobuki-seating.co.jp/en/retractable_seating/rsc.html).

VIRIDIAN GLASS. VLam™ Translucent Catalogue.

WeatherShift. [s.d.]. Disponível em: <https://www.weathershift.com/heat>. Acesso em: 10 dez. 2021.

ZAZZINI, Paolo. n.d. "Impianti Di Climatizzazione Criteri Di Dimensionamento." Acessado em 10 Set. 2021. [https://elearning.unich.it/pluginfile.php/23286/mod\\_resource/content/3/%2817%29%20Dimensionamento%20Impianti%20di%20climatizzazione.pdf](https://elearning.unich.it/pluginfile.php/23286/mod_resource/content/3/%2817%29%20Dimensionamento%20Impianti%20di%20climatizzazione.pdf).