

PROJETO DE UMA CASA TESE ENERGIA ZERO

Trabalho de Formatura do Curso de
Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

São Paulo

2019

CAIO YUITI SAKAMOTO
PEDRO PIMENTEL RUOCCO

PROJETO DE UMA CASA TESE ENERGIA ZERO

Trabalho de Formatura do Curso de
Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientadora: Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

São Paulo
2019

*“Tudo vem dos sonhos.
Primeiro sonhamos, depois fazemos.”*
Monteiro Lobato

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, aos nossos familiares que nos apoiaram até aqui e que foram a nossa fonte de força e inspiração para a concretização deste trabalho.

Aos nossos amigos que fizemos durante a dupla formação em Engenharia Civil e Arquitetura pela Universidade de São Paulo, que vivenciaram conosco os nossos desafios e nos apoiaram emocionalmente nestes anos de faculdade, com muito companheirismo e amizade.

Aos nossos amigos de longa data pelo carinho, apoio e compreensão durante todos esses anos de graduação.

À professora Lúcia Helena que nos orientou semanalmente para a realização desse projeto desafiador, com muita paciência e dedicação. Somos muito gratos por todas as conversas e histórias de vida compartilhadas durante este trabalho. Com certeza, a sua colaboração foi essencial para obtenção deste resultado final.

Aos professores Pedro Wellington e Luciano Margotto pela disponibilidade em nos auxiliar no desenvolvimento deste trabalho.

À Escola Politécnica e à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, que nos proporcionaram inúmeras oportunidades de crescimento acadêmico e profissional.

E a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A preocupação ambiental, no início do século XXI, tornou-se bastante presente em discussões políticas e técnicas, tanto no Brasil quanto no mundo. Afinal, conclui-se que, sem um desenvolvimento sustentável, as próximas gerações estariam comprometidas quanto a recursos energéticos e à qualidade de vida. Nesse contexto, a próxima etapa para a construção civil e operação de edificações no Brasil é integrar o conceito de energia zero aos novos empreendimentos, o que já é presente em países de maior desenvolvimento, como Alemanha, Estados Unidos e França, por exemplo. A definição de um edifício energia zero possui várias vertentes, entre as quais se adota a equalização do consumo energético e de emissão de gases poluentes durante as etapas de execução da obra e posterior uso e ocupação. Este trabalho, portanto, tem como objetivo o projeto de uma casa tese, tendo como base esses princípios sustentáveis. Para isso, foi realizada uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) que norteou as diretrizes principais para a definição do sistema estrutural e construtivo (instalações prediais e superfícies de vedação, por exemplo). Os resultados evidenciam o potencial sustentável de elementos de madeira em comparação com elementos mais convencionais na construção civil, como o concreto e alvenaria de bloco, principalmente no que se refere ao Potencial de Aquecimento Global (PAG). Isso, norteou com diretrizes a elaboração do projeto desta residência, que optou por meios construtivos pouco tradicionais, como a utilização de madeira MLC e CLT na concepção estrutural. Entretanto, isso só foi possível de ser realizado mediante a adoção de uma metodologia de projeto integrado, em que as definições estruturais, arquitetônicas e de sistemas prediais se desenvolveram de modo unificado e simultâneo.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável; energia zero; construção civil; projeto integrado; casa tese; Avaliação de Ciclo de Vida.

ABSTRACT

Environmental concern, at the beginning of the 21st century, has become quite present in political and technical discussions, both in Brazil and in the world. After all, it is concluded that, without a sustainable development, the next generations would be compromised on energy resources and the quality of life. In this context, the next step for the construction and operation of buildings in Brazil is to integrate the concept of zero energy into new projects, which is already present in more developed countries such as Germany, United States and France. The definition of a zero energy building has several aspects, among which is adopted the equalization of energy consumption and emission of pollutant gases during the stages of execution of the construction and subsequent use and occupation. This work, therefore, aims to design a thesis house, based on these sustainable principles. In this way, a Life Cycle Assessment (LCA) was carried out, which oriented the main guidelines for the definition of the structural and building systems (building installations and sealing surfaces, for example). The results show the sustainable potential of wood elements compared to more conventional elements in civil construction, such as concrete and block masonry, especially with regard to Global Warming Potential (GWP). This guided the elaboration of the project for this residence, which opted for nontraditional constructive means, such as the use of MLC and CLT wood in the structural design. However, this could only be achieved by adopting an integrated design methodology, in which structural, architectural and building systems definitions were developed in unity and simultaneously.

Keywords: Sustainable development; zero energy; civil construction; integrated design; thesis house; Life Cycle Assessment.

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

BTO - *Building Technologies Office*

CLT – Cross Laminated Timber

CT – Capacidade Térmica

DOE - *Department of Energy's*

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GLT – Glued Laminated Timber

GHG – *Greenhouse Gas*

GWP - Global Warming Potencial

IEA – *International Energy Agency*

IRENA – *International Renewable Energy Agency*

LCA – Life Cycle Assessment

NREL - *National Renewable Energy Laboratory*

MLC – Madeira Laminada Colada

PAG – Potencial de Aquecimento Global

SFCR - Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

VUP - Vida Útil do Projeto

ZEB – *Zero Energy Building*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	Projeto Executivo	18
2.2	Energia Zero	18
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Definição do tema do trabalho	19
3.2	Revisão bibliográfica.....	20
3.3	Elaboração do projeto.....	20
3.3.1	Projeto Arquitetônico.....	20
3.3.2	Projeto Estrutural	20
3.3.3	Projeto de Sistemas Prediais	20
3.4	Estudo preliminar	20
3.5	Detalhamentos.....	21
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
4.1	Utilização energética no mundo	22
4.2	Consumo energético no Brasil	24
4.3	Energia fotovoltaica	26
4.3.1	Energia fotovoltaica no Brasil	27
4.3.2	Incentivos fiscais brasileiros	31
4.4	Avaliação de Ciclo de Vida.....	32
5	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	36
5.1	Escolha do terreno.....	36
5.2	Levantamento topográfico.....	37
5.3	Plano Diretor e regimento interno.....	41
5.4	Definição do programa.....	42
5.5	Casa tese.....	42

5.6	Projeto arquitetônico	43
5.6.1	Avaliação de Ciclo de Vida	44
5.7	Plantas	45
5.8	Fachadas	48
5.9	Cortes	51
5.10	Estrutura	53
5.10.1	Avaliação de Ciclo de Vida	53
5.10.2	Dimensionamento	60
5.10.3	Verificação	72
5.10.4	Conexões de madeira	83
5.10.5	Fundação	85
5.11	Vedação e revestimento de superfícies	86
5.12	Sistemas prediais	89
5.12.1	Água fria e água quente	89
5.12.2	Sistema de esgoto sanitário	103
5.12.3	Águas pluviais	109
5.12.4	Iluminação Artificial	113
5.12.5	Elétrica	117
5.13	Avaliação de desempenho: iluminação natural e térmica	121
5.13.1	Avaliação de desempenho lumínico	121
5.13.2	Avaliação do desempenho térmico	128
6	ENERGIA ZERO E BALANÇO ENERGÉTICO	138
6.1	Avaliação do Ciclo de Vida	138
6.1.1	Configuração dos elementos considerados	138
6.1.2	Determinação do Potencial de Aquecimento Global (GPA) da residência	140
6.2	Dimensionamento do consumo energético	140
6.2.1	Consumo de iluminação artificial	141

6.2.2	Carga de equipamentos	143
6.2.3	Consumo de energia por ar condicionado.....	144
6.2.4	Resultados	145
6.3	Energia Zero.....	145
6.3.1	Dimensionamento das placas fotovoltaicas	146
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	149
8	REFERÊNCIAS.....	151

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Diagrama de metodologia utilizada na elaboração do projeto	19
Figura 4.1 - Gráficos comparativos da matriz energética e elétrica entre o mundo, os países já desenvolvidos da OECD, a China (em grande desenvolvimento) e o Brasil.....	23
Figura 4.2 - Estrutura do consumo de eletricidade na rede no Brasil, por classe (em %)	24
Figura 4.3 - Evolução do consumo final de energia do setor residencial por fonte, no Brasil .	25
Figura 4.4 - Matriz elétrica do Brasil em 2018	25
Figura 4.5 - Mapa de irradiação solar global diária no plano Inclinado	28
Figura 4.6 - Potencial Fotovoltaico Residencial por Município	28
Figura 4.7 - Emissões totais em Mt CO ₂ , por setor, no Brasil	33
Figura 4.8 - Evolução das emissões totais de CO ₂ no Brasil	33
Figura 4.9 - Emissões em kg CO ₂ por MWh gerado no mundo (2015).....	34
Figura 5.1 - Terreno escolhido.....	36
Figura 5.2 - Situação do terreno.....	37
Figura 5.3 - Croqui realizado em campo para identificação dos pontos de entorno do terreno	38
Figura 5.4 - Caderneta de coordenada dos pontos levantados	39
Figura 5.5 - Resultado do levantamento topográfico (em escala 1:100)	40
Figura 5.6 - Identificação do terreno no zoneamento de Ribeirão Preto, com identificação da quadra em que se localiza o terreno	41
Figura 5.7 - Participação de cada etapa da vida útil de um empreendimento no Potencial de Aquecimento Global (PAG)	44
Figura 5.8 - Plantas dos três pavimentos da residência	46
Figura 5.9 - Implantação do projeto no térreo e no condomínio (fora de escala).....	48
Figura 5.10 - Representação das elevações da residência (fora de escala).....	49
Figura 5.11 - Indicação dos cortes	51
Figura 5.12 - Corte A-A' e B-B'	52
Figura 5.13 - Modelo 3D elaborado no software Revit	55
Figura 5.14 - Matriz energética de países europeus.....	56
Figura 5.15 - Resultados da Avaliação de Ciclo de Vida do edifício, considerando a estrutura em concreto.....	57
Figura 5.16 - Resultado da Avaliação de Ciclo de Vida da residência, considerando a estrutura em madeira.....	57
Figura 5.17 - Modelo estrutural tridimensional, representando as seções estruturais	59
Figura 5.18 - Modelo linear estrutural	60

Figura 5.19 - Definição da MLC e do aço de escolha para a modelagem e suas propriedades	62
Figura 5.20 – Importação do catálogo NDS com banco de dados de perfis	63
Figura 5.21 - Lista dos tipos de carga considerados e suas naturezas	64
Figura 5.22 - Carregamento do peso próprio (PP)	65
Figura 5.23 - Carregamento do revestimento (REV)	65
Figura 5.24 - Carregamento da sobrecarga (SC)	66
Figura 5.25 - Superfícies e fatores da pressão de vento	67
Figura 5.26 - Carregamento do vento (VENTO)	68
Figura 5.27 - Momentos fletores (M_y) no caso de carregamento Último C	68
Figura 5.28 - Momentos fletores (M_z) no caso de carregamento Último C	69
Figura 5.29 - Forças normais (N_x) no caso de carregamento Último C	69
Figura 5.30 - Forças normais (N_x) no caso de carregamento Último C	70
Figura 5.31 - Resultados de código na verificação para as vigas	71
Figura 5.32 – Resultados do código de verificação para os pilares	72
Figura 5.33 - Indicação das vigas que não atenderam às normas no processo de verificação estrutural	83
Figura 5.34 - Exemplo de pilar resistente às cargas laterais	84
Figura 5.35 – Exemplo de conexão viga-viga com chapa metálica interna	84
Figura 5.36 - Exemplo de conexão viga-viga transversal com chapa metálica externa	85
Figura 5.37 - Exemplo de conexão com duas conexões viga-pilar, acomodação da laje CLT e emenda da coluna	85
Figura 5.38 - Caracterização do solo na cidade de Ribeirão Preto	86
Figura 5.39 - Modelo esquemático de corte de vedação em wood frame	87
Figura 5.40 - Modelo esquemático de revestimento de piso em CLT	88
Figura 5.41 - Figura do reservatório e tipos especificados	91
Figura 5.42 - Planta dos três pavimento da residência, com os traçados da tubulação de água fria e água quente	93
Figura 5.43 - Elevação do banheiro sul e traçados unifilar do sistema de AF e AQ	93
Figura 5.44 - Esquema unifilar do sistema de alimentação de água	94
Figura 5.45 - Curva característica de pressão por vazão	98
Figura 5.46 - Dados do fabricante Heliotek para o coletor solar MC15 Evolution Pro	101
Figura 5.47 - Planta do primeiro pavimento com o traçado do esgoto	106
Figura 5.48 - Planta do térreo com o traçado do esgoto	107
Figura 5.49 - Detalhamento dos ramais de esgoto no banheiro	108

Figura 5.50 - Detalhamento de passagem do ramal de descarga e da coluna de ventilação...	108
Figura 5.51 - Detalhamento dos ramais de esgoto do lavabo e área de serviço	109
Figura 5.52 - Áreas do terraço e direções da inclinação e escoamento	110
Figura 5.53 - Modelo de luminária Spot.....	114
Figura 5.54 - Plantas dos pavimentos com posicionamento dos spots e das luminárias	115
Figura 5.55 - Curvas fotométricas dos pavimentos tipos após simulação	116
Figura 5.56 - Representação em cores falsas para avaliação do desempenho luminotécnico do sistema de iluminação artificial projetado	117
Figura 5.57 - Representação do sistema elétrico da residência, para o térreo	118
Figura 5.58 - Representação do sistema elétrico da residência, para o 1º Pavimento	119
Figura 5.59 - Perspectiva 3D das fachadas sul e leste do projeto	124
Figura 5.60 - Perspectiva 3D das fachadas norte e oeste do projeto.....	124
Figura 5.61 – Procedimentos do algoritmo de simulação.....	125
Figura 5.62 - Ambiente de trabalho (<i>canvas</i>) do modelo para simulação da iluminação natural	126
Figura 5.63 - Resultados da iluminação natural em 23/04 às 9:30	127
Figura 5.64 - Resultados da iluminação natural em 23/10 às 15:30	127
Figura 5.65 - Perspectiva 3D das fachadas sul e leste do projeto	132
Figura 5.66 - Perspectiva 3D das fachadas norte e oeste do projeto.....	132
Figura 5.67 - Algoritmo de criação da zona térmica	133
Figura 5.68 – Procedimento para realização da simulação térmica.....	133
Figura 5.69 - Algoritmo para definição da geometria e dos materiais da residência.....	134
Figura 5.70 - Ambiente de trabalho (<i>canvas</i>) do modelo para simulação térmica	135
Figura 5.71 - Representação gráfica dos resultados de simulação térmica.....	136
Figura 6.1 - Quadro síntese de resultados da Avaliação de Ciclo de Vida.....	140
Figura 6.2 - Modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de iluminação artificial.	141
Figura 6.3 – Ambiente de trabalho final do modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de iluminação artificial, que inclui a definição das rotinas de dias de semana, de sábado e de domingo.....	142
Figura 6.4 - Modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de equipamentos durante a ocupação, com indicação da potência nominal de cada um.....	144
Figura 6.5 – Ambiente de trabalho final do modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de equipamentos durante a ocupação.	144

Figura 6.6 - Modelo de placa fotovoltaica utilizada como referência para cálculo	148
--	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Potencial na geração de energia fotovoltaica residencial no Brasil, por estado ...	30
Tabela 5.1 - Composição das combinações de carregamentos considerados	64
Tabela 5.2 - Cargas de pressão do vento em cada superfície.....	67
Tabela 5.3 - Coeficiente de redução (γ_M) para cada caso	73
Tabela 5.4 - Classe de Serviço.....	74
Tabela 5.5 - Classe de Duração da Ação	74
Tabela 5.6 - Coeficiente de modificação (k_{mod}) para MLC	75
Tabela 5.7 - Coeficiente de fluência (k_{def})	75
Tabela 5.8 - Relação entre comprimento efetivo e o comprimento real para diferentes tipos de ações.....	79
Tabela 5.9 - Pesos dos componentes hidráulicos por ambiente.....	94
Tabela 5.10 - Contabilização dos componentes hidráulicos por trecho de distribuição, do reservatório até o chuveiro do banheiro sul	95
Tabela 5.11 - Contabilização dos componentes hidráulicos por trecho de distribuição, do reservatório até a pia do lavabo	95
Tabela 5.12 - Dimensionamento do trecho do barrilete até o chuveiro do banheiro sul, incorreto	96
Tabela 5.13 - Dimensionamento do trecho o barrilete até o chuveiro do banheiro sul	97
Tabela 5.14 - Dimensionamento do trecho de AF do barrilete até o lavatório do lavabo	97
Tabela 5.155 - Dimensionamento do trecho de AF do barrilete até o lavatório do lavabo	97
Tabela 5.16 - Consumo nos pontos de utilização de água quente	98
Tabela 5.17 - Previsão de consumo de água quente	99
Tabela 5.18 - Dimensionamento de armazenamento de água quente.....	99
Tabela 5.19 - Irradiação solar diária, retirada do software RETScreen, com os dados definidos em Ribeirão Preto	100
Tabela 5.20 - Energia útil necessária	100
Tabela 5.21 - Cálculo do fator de correção pelo posicionamento da placa	101
Tabela 5.22 - Dimensionamento da área coletora necessária -	102
Tabela 5.23 - Dimensionamento dos ramais de descarga.....	103
Tabela 5.24 - Dimensionamento do ramal de esgoto, tubo de quebra e de ventilação dos banheiros do primeiro pavimento	104
Tabela 5.25 - Dimensionamento da caixa sifonada do lavabo.....	104

Tabela 5.26 - Dimensionamento do lavatório do lavabo	104
Tabela 5.27 - Dimensionamento da pia da cozinha	105
Tabela 5.28 - Áreas do terraço e vazões de contribuição para T = 5 anos.....	110
Tabela 5.29 - Dimensionamento de condutores verticais, para áreas em projeção horizontal, em metros quadrados	111
Tabela 5.30 - Interpolação de dados para a precipitação intermediária de 133,3 mm/h.....	111
Tabela 5.31 - Dimensionamento dos condutores verticais	111
Tabela 5.32 - Dimensionamento de condutores.....	120
Tabela 5.33 - Tabela de condutores por eletroduto.....	120
Tabela 5.34 - Dimensionamento do sistema elétrico da residência	121
Tabela 5.35 - Níveis de iluminação natural para os diferentes ambientes da habitação.....	122
Tabela 5.36 - Refletância dos revestimentos considerados para a simulação.....	123
Tabela 5.37 - Resultados da simulação para iluminação natural	126
Tabela 5.38 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão	129
Tabela 5.39 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	129
Tabela 5.40 - Resultados de avaliação de desempenho térmico para todos os ambientes da residência	135
Tabela 5.41 - - Resultados de avaliação de desempenho térmico para todos os ambientes da residência para a condição de 5 ren/h e 100% das janelas e aberturas obstruídas.....	137
Tabela 6.1 - Valores de irradiação solar para a cidade de Ribeirão Preto	147
Tabela 6.2 - Resumo de cálculo para determinação do número de placas fotovoltaicas necessárias para o projeto Energia Zero	148

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A popularização das tecnologias de energia renovável, da conscientização ambiental na construção civil e da demanda de conforto e de energia de seus usuários são algumas das premissas de construções energia zero: uma construção que gera um balanço positivo de energia e de emissão de gás de efeito-estufa ao longo de sua operação e ciclo de vida.

O conceito de *Zero Energy Building* (ZEB) consiste numa edificação de balanço energético nulo. Enquadra-se próximo de *Green Buildings* (GB), ou edifícios-verde; e *low-energy buildings* (LEB) ou edifícios de baixa energia. ZEB é uma extensão de construções autossuficientes, projetadas para funcionar independentemente das redes elétricas (LU, Y., 2018). O balanço é realizado definindo-se a métrica: emissão e crédito de potencial de aquecimento global (GWP) ou custo.

Assim, um projeto ZEB (*Zero Energy Building*) consiste em um edifício ou residência que carrega uma problemática extensa e multifacetada que tem, como produto final, uma edificação de alta tecnologia e com adequação às responsabilidades ambientais, que vão, por vezes, além das normativas brasileiras atuais. O conceito é mais difundido em outros países. A Europa, por exemplo, conta com um programa (ZEBRA 2020, 2018) que visa a totalidade de novas construções com esse título. Além disso, fortes incentivos estão presentes na Alemanha, Estados Unidos e China.

Não existe normativa internacional ou nacional dominante. Isso dificulta a definição e a prática projetual de um edifício ZEB. Porém, o *Research Centre on Zero Emission Buildings* define algumas categorias que discretizam as edificações, em função do seu potencial energético. Essas categorias são definidas de modo que, através do balanço de crédito e emissão de GHG (*greenhouse gas*), o ciclo de vida da construção deve compensar a emissão da sua:

- Operação – ZEB-O;
- Operação, desconsiderando a energia de equipamentos – ZEB-O:Eq;
- Operação e produção dos materiais de construção – ZEB-OM;
- Operação, produção de materiais de construção e construção – ZEB-COM;
- Operação, produção de materiais de construção, construção, demolição e reciclagem – ZEB-Complete.

A discussão sobre novas tecnologias e metodologias construtivas mais sustentáveis e com menores impactos para o meio ambiente é cada vez mais presente no mundo. No entanto, não se observa uma aderência significativa pela população brasileira, que ainda não reconhece os principais benefícios ambientais e socioeconômicos desses recursos. Em geral, faltam pesquisas, informações e investimento. Por isso, a realização de um projeto que contemple essas novas tecnologias já absorvidas pelo mercado nacional, para uma residência de padrão média, em uma região central do Brasil, possui também um elevado valor informativo.

As diferenças geográficas promovem interações diferentes do clima com o edifício e também das necessidades do usuário, isto é: calefação, necessidade de sistema de aquecimento. Assim, a adaptação do conceito para o clima tropical brasileiro é uma barreira por si só.

Desse modo, busca-se garantir a acessibilidade e a viabilidade construtiva de empreendimentos semelhantes ao projetado, que se entende como uma tendência em um curto prazo. Afinal, não há como a população brasileira manter-se negligente às preocupações ambientais em seu processo de desenvolvimento, contribuindo na redução de emissão de gases de efeito estufa, redução do Potencial de Aquecimento Global (PAG) no desperdício de materiais e no aumento do volume de lixo, por exemplo. De modo geral, o Brasil possui vantagens em recursos materiais e climáticos que o favorece para a adoção de práticas mais sustentáveis, sem maiores prejuízos econômicos, que é o que se deseja concluir com o projeto.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral é elaborar um projeto de uma residência, como um estudo científico, atentando-se para todas as etapas necessárias de um projeto executivo. O projeto consiste, então, em uma casa tese energia zero, com equalização do consumo energético e de emissão de gases de efeito estufa, que contribuem para o aquecimento global, durante as suas etapas de construção e de operação. Busca-se entender o potencial sustentável desse projeto e, portanto, de seu possível impacto na construção civil e na sociedade.

Os objetivos específicos são descritos a seguir.

2.1 Projeto Básico

Realização do projeto básico de uma residência unifamiliar, contemplando os seguintes projetos específicos:

- Projeto Arquitetônico (definição dos espaços e geometrias, tecnologia da construção e conforto térmico, acústico e lumínico);
- Projeto Estrutural;
- Projeto de Sistema Prediais (hidráulico, elétrico, luminotécnico e ar condicionado).

2.2 Energia Zero

Realização do balanço energético, de modo que a geração de energia elétrica compense com a energia utilizada nas atividades da residência durante uma determinada Vida Útil do Projeto (VUP). Também, a obtenção quantitativa do Potencial de Aquecimento Global (PAG) da residência através da construção operação, através da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), para se verificar seu potencial sustentável.

3 METODOLOGIA

Para a realização do projeto, adota-se a metodologia apresentada na Figura 3.1, que contempla as principais etapas e interações necessárias para obtenção do objetivo geral. Apresenta-se, então, separadamente, cada uma dessas etapas, de modo a justificar a sua importância.

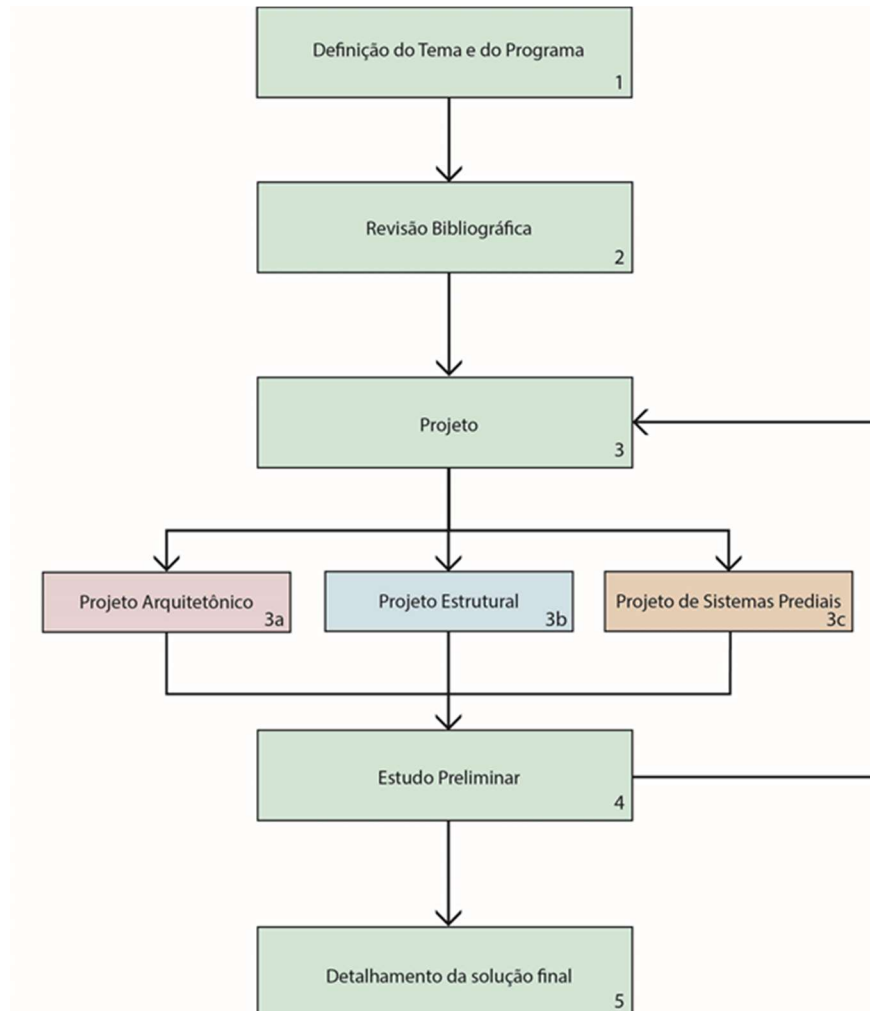


Figura 3.1 - Diagrama de metodologia utilizada na elaboração do projeto

3.1 Definição do tema do trabalho

Nesta etapa foi realizada a escolha do terreno e do programa a ser elaborado, de modo a compreender as necessidades de uso e ocupação de um possível cliente. Assim, também foram definidos os objetivos gerais do projeto.

Essas informações são importantes para se estabelecer uma maior aproximação do projeto estudado com um projeto real, o que confere uma maior confiabilidade nos resultados e a garantia da viabilidade do projeto.

3.2 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica consistiu na coleta de informações que auxiliem no desenvolvimento e na elaboração do projeto, de modo a garantir a obtenção dos objetivos definidos anteriormente.

3.3 Elaboração do projeto

Nesta etapa, o projeto é desenvolvido de modo integrado e simultâneo entre suas três principais frentes. A realização desse projeto integrado é fundamental para garantir com que ele contemple todas as necessidades do usuário, ao mesmo tempo que, também, seja sustentável e viável de ser construído.

3.3.1 Projeto Arquitetônico

- Escolha do terreno em que será realizado o projeto.
- Estudo preliminar do terreno, através do levantamento de informações como: topografia, orientação solar, características climáticas e regulamentações urbanas (Plano Diretor e Regulamento do Condomínio), por exemplo.
- Elaboração de um anteprojeto de arquitetura, com a predefinição de ambientes, geometrias, materiais e métodos construtivos, por exemplo. Adoção de medidas que favoreçam ao conforto térmico, acústico e lumínico, assim como a eficiência energética.

3.3.2 Projeto Estrutural

- Definição conceitual da geometria da estrutura.
- Pré-dimensionamento dos elementos estruturais, tais como pilares, lajes, vigas e escadas.

3.3.3 Projeto de Sistemas Prediais

- Dimensionamento dos sistemas hidráulicos: água fria, água quente, água pluvial e esgoto sanitário.
- Dimensionamento de sistemas prediais, tais como: luminotécnico, ar condicionado e sistema elétrico.
- Dimensionamento dos sistemas de geração de energia elétrica: placas fotovoltaicas.

3.4 Estudo preliminar

Análise das características resultantes do projeto integrado entre a arquitetura, a estrutura e os sistemas prediais, para verificar se contemplam os objetivos gerais do projeto e do cliente. No

caso de não conformidade a esses objetivos, modifica-se o projeto de modo corretivo. Entende-se que esse é o principal benefício de um projeto integrado, pois possibilita um resultado final mais eficiente e sustentável.

- Verificação de atendimento de condições mínimas de desempenho lumínico e térmico, em todos os ambientes da residência, definidas pela norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013). Também, será realizada análise do conforto lumínico e térmico da residência.
- Certificação da produção de energia elétrica suficiente para um balanço energético positivo, em que a energia produzida é superior à consumida com a possível ocupação da residência.
- Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na produção dos materiais utilizados na construção e na operação da residência. Busca-se um balanço no potencial de aquecimento global favorável, em que se verifica o equilíbrio entre os gases estufas emitidos com essa produção e operação e a emissão evitada na geração de energia elétrica por fonte limpa (solar).

3.5 Detalhamentos

Por fim, realização dos detalhamentos da solução final na caracterização de um projeto executivo, com os dimensionamentos finais, incluindo escolhas de materiais e detalhes construtivos, por exemplo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A realização de um levantamento bibliográfico é fundamental para garantir embasamento teórico adequado que contemple os principais objetivos do projeto e permita justificar a sua importância. Essa coleta de informações, portanto, auxilia no desenvolvimento e na elaboração das características do projeto.

4.1 Utilização energética no mundo

A matriz energética e elétrica de um país varia consideravelmente em relação às características do local em que está inserida como, por exemplo, o seu potencial hidráulico, eólico ou solar. No que se refere à matriz elétrica, contudo, observa-se que, em muitos casos, ela também é resultante de fatores socioeconômicos, que indicam cenários e locais onde há investimento para o desenvolvimento de novas tecnologias, que possibilitam uma modificação nas principais fontes geradores de eletricidade (EPE, 2014).

De modo geral, a matriz elétrica do mundo apresenta um forte predomínio de carvão, gás e fontes nucleares (EPE, 2017). Porém, já se observa nos países mais desenvolvidos, como os países membros da OECD (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), um cenário de transformação, na valorização da utilização de fontes mais renováveis, como a hidráulica, fotovoltaica e eólica.

Um dos principais fatores responsáveis por essa transformação é o maior direcionamento das discussões globais para temas com preocupações sustentáveis, de modo a se buscar soluções que amenizem os impactos ambientais causados pelo homem. Afinal, a utilização de fontes termoeletricas para a geração de energia é um dos principais agentes poluidores em todo o mundo (IEA, 2018).

Inclusive, isso já é observado em países em desenvolvimento como a China, que é responsável pela realização de 43% dos trabalhos envolvendo energia renovável do mundo. Somente no setor fotovoltaico, que representa o segmento com maior crescimento nos últimos anos, a China já é responsável por 66% (IRENA, 2017). Esse cenário, portanto, indica um elevado potencial de investimento e transformação no setor energético.

Nesse contexto, o Brasil também se destaca, uma vez que, aproximadamente, 75% de sua matriz elétrica é resultante de fonte renovável. O seu abundante potencial hídrico foi capaz de atender 61,8% (EPE, 2016) da demanda brasileira, em 2015, por exemplo. O restante de sua matriz renovável consiste no desenvolvimento de tecnologias e aplicação do setor de biomassa, eólico e solar, uma vez que se identifica um grande potencial no Brasil, sobretudo pela sua localização geográfica intertropical privilegiada.

Na Figura 4.1 estão ilustrados comparativos que revelam as matrizes energéticas e elétricas de alguns países do mundo, em que se identifica o avanço na utilização de energias renováveis, nas últimas décadas.

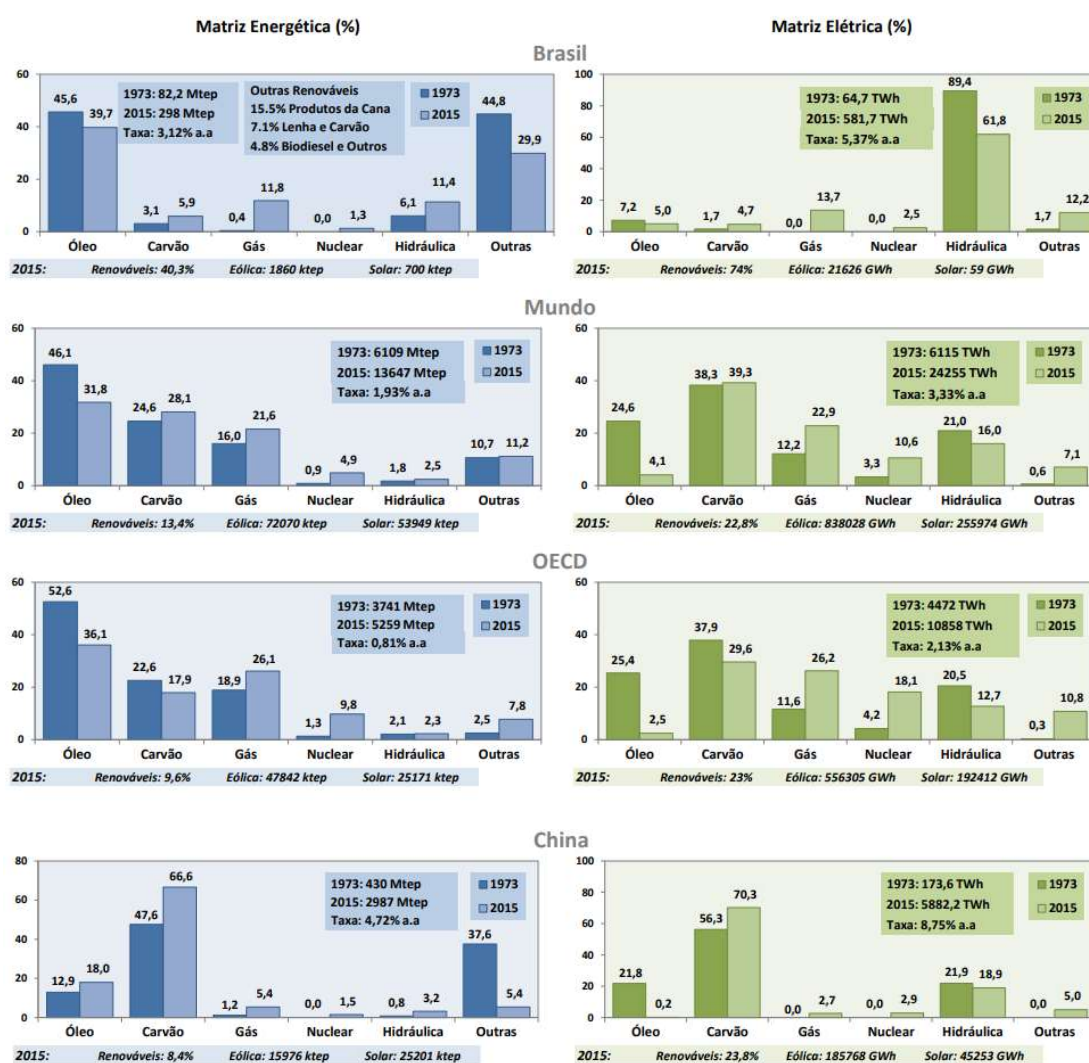


Figura 4.1 - Gráficos comparativos da matriz energética e elétrica entre o mundo, os países já desenvolvidos da OECD, a China (em grande desenvolvimento) e o Brasil

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2017).

4.2 Consumo energético no Brasil

Estima-se que até 2050, dois terços da população global estará em áreas urbanas. A tendência, sobretudo, é identificar como ocorre esse crescimento em grandes metrópoles de países em desenvolvimento, uma vez que isso indica um grande potencial de crescimento de demanda energética. No Brasil, isso não é diferente. De modo geral, o avanço da urbanização desenvolve uma crescente demanda por serviços de energia e eletricidade. Especialistas apontam que na década de 2001 a 2011, houve um aumento de 1,5 a 2 vezes da demanda energética nas cidades (IRENA, 2017), sobretudo por conta da sociedade cada vez mais conectada e globalizada.

Nesse contexto, é importante ressaltar um estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016) em que aponta que o setor residencial representa uma grande parcela do consumo de eletricidade na rede (28,9%) no Brasil. A discretização desse consumo por setor, está apresentada na Figura 4.2. De modo geral, a estabilidade nos anos 2000 criaram condições para atender parte da demanda reprimida por energia nos domicílios brasileiros. Espera-se, nesse contexto, um crescimento no consumo final de energia de 1,2 a 1,5% entre 2015 e 2050 (EPE, 2017).

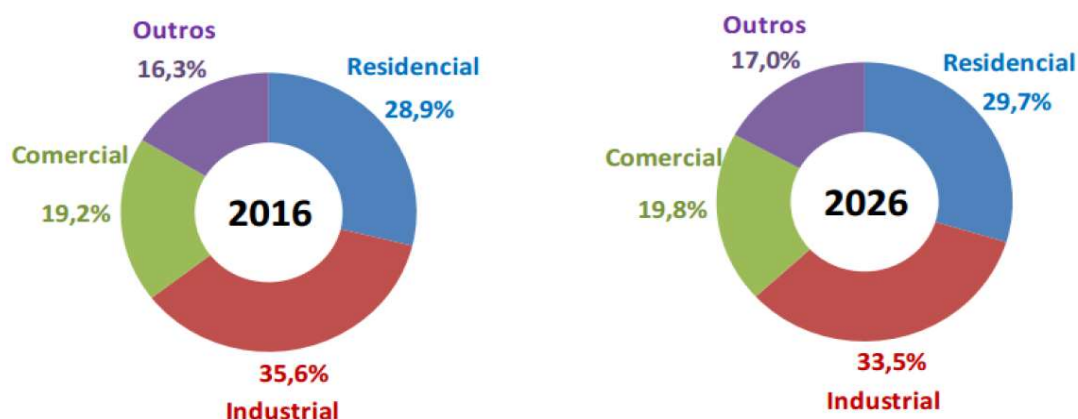


Figura 4.2 - Estrutura do consumo de eletricidade na rede no Brasil, por classe (em %)

Fonte: EPE (2017).

Deve-se, portanto, atentar-se para o fato de que a eletricidade é a fonte de energia predominante nos domicílios, seguida pelo GLP, gás natural e lenha. Com o maior crescimento da renda das famílias, espera-se o aumento da venda de eletrodomésticos, principalmente de condicionadores de ar e máquinas de lavar roupas (EPE, 2017). Isso contribui positivamente para o aumento do consumo de eletricidade nas residências nas próximas décadas, conforme ilustrado na Figura 4.3

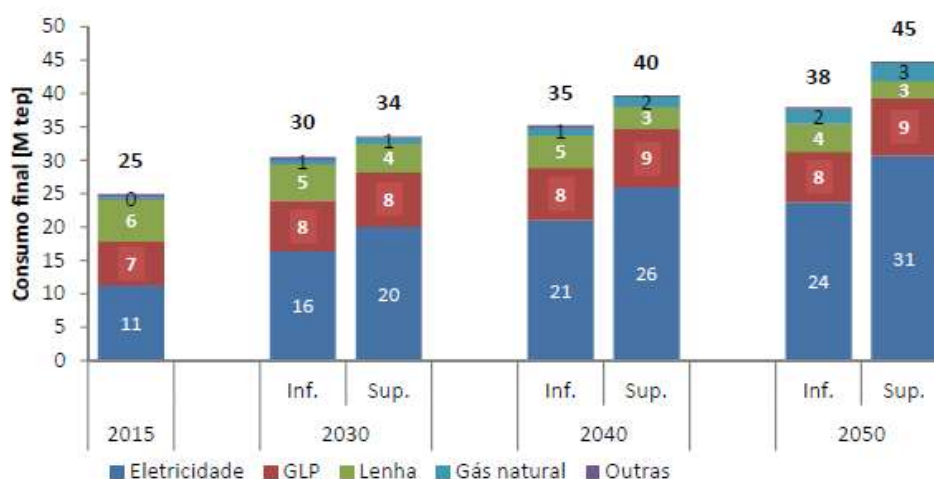


Figura 4.3 - Evolução do consumo final de energia do setor residencial por fonte, no Brasil

Fonte: EPE (2017).

Neste cenário, entende-se como essencial a busca constante por alternativas que favoreçam uma utilização energética cada vez mais eficiente, de modo a aproveitar o potencial e a matriz elétrica já existente, sem a necessidade de impactos maiores no meio ambiente. O Brasil, como já apresentado anteriormente, possui uma matriz energética predominantemente de energia renovável (Figura 4.4), o que reduz os impactos ambientais no processo de geração de energia. Contudo, o intrínseco aumento da demanda energética com o crescimento da população das cidades faz com que se atente para o desenvolvimento de novas matrizes elétricas, sobretudo a eólica e a solar, ainda pouco predominantes no Brasil, mas com muito potencial de desenvolvimento.

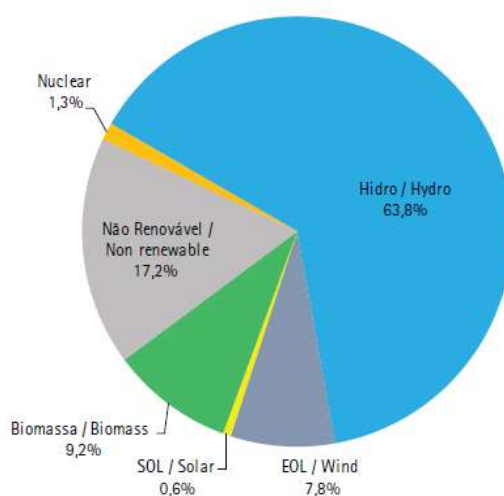


Figura 4.4 - Matriz elétrica do Brasil em 2018

Fonte: Balanço Energético Anual (2018).

4.3 Energia fotovoltaica

A energia proveniente do sol é uma fonte de energia renovável, inesgotável e que pode ser aproveitada pela sociedade para suprir suas necessidades energéticas (VIANA, 2010). De toda energia solar que chega à Terra, aproximadamente metade atinge a superfície, totalizando cerca de 885 milhões de TWh/ano, mais de 8.500 vezes o consumo final total de energia mundial (IEA, 2011). Esses valores conferem à fonte solar, considerando seus múltiplos usos, o maior potencial técnico de aproveitamento frente a outras fontes renováveis (IPCC, 2011). Observa-se, portanto, que a energia solar possui um grande potencial de transformação da matriz energética mundial.

O recurso solar, contudo, não pode ser considerado como constante, pois varia ao longo do dia, do ano e de acordo com a localidade. Grande parte dessas variações se deve à geografia terrestre e seus movimentos astronômicos de rotação e translação, os quais possibilitam certa previsibilidade do recurso. No entanto, essas variações são acentuadas diariamente em função de fenômenos climáticos, como a formação de nuvens, que são mais difíceis de prever. Verifica-se que a irradiação varia ao longo do ano em cada localidade, sendo mais acentuada essa variação quanto maior a latitude do local (EPE, 2018).

Portanto, de modo a otimizar o aproveitamento do recurso solar, utiliza-se da orientação dos painéis, sejam eles térmicos ou fotovoltaicos, em posição apropriada às necessidades de cada aplicação. O ângulo que é, usualmente, considerado como ótimo é igual à latitude do local, orientado ao norte, de forma que, na média anual, a superfície receptora esteja perpendicular aos raios solares, maximizando a quantidade de energia incidente sobre tal superfície nesse período. Ainda quanto à inclinação, destaca-se que, mesmo em regiões próximas à linha do Equador, é desejável que se empregue um ângulo mínimo de 10° na inclinação das placas, de forma a evitar o acúmulo de sujeira sobre os coletores, bem como para facilitar a limpeza natural por meio da chuva. Atualmente, já existem tecnologias que maximizam a irradiação solar sobre uma superfície através de mecanismos que acompanham o movimento do sol (EPE, 2014).

No aspecto de participação no mercado, os sistemas fotovoltaicos têm experimentado um enorme crescimento ao redor do mundo nos últimos anos (EPE, 2014). A produção de energia fotovoltaica passou de 3,7 GW para 303 GW, entre 2004 e 2016 – crescimento anual de 44% (REN21, 2017). No início do século XXI, a tecnologia era utilizada majoritariamente em

sistemas isolados, enquanto atualmente mais de 95% são sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCR). Segundo dados da International Energy Agency (IEA, 2010), em uma análise global, os sistemas residenciais e comerciais devem responder, em 2020, por, aproximadamente, 60% da geração fotovoltaica, enquanto as centrais fotovoltaicas representariam 30% do total, restando 10% para sistemas isolados.

Esse grande crescimento é identificado como resultado de programas de incentivo, promovidos principalmente por países como Alemanha, Austrália, China, EUA, Espanha, entre outros. Simultaneamente, observa-se uma redução de preços, como reflexo da curva de desenvolvimento tecnológico e de aprendizagem, além dos ganhos de escala, com uma utilização cada vez maior (PILLAI, 2015).

4.3.1 Energia fotovoltaica no Brasil

O Brasil está situado em uma região quase que totalmente limitada pelos Trópicos de Câncer e de Capricórnio, de incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição propicia elevados índices de incidência da radiação solar em quase todo o território nacional, inclusive durante o inverno, o que confere ao país condições vantajosas para o aproveitamento energético do recurso solar.

Dadas as condições favoráveis de irradiação solar, é natural que a instalação de plantas fotovoltaicas ocorra inicialmente nessas regiões, nas quais se observa uma eficiência maior na produção. No entanto, é importante ressaltar que, considerando que a faixa de variação da irradiação global horizontal anual do Brasil seja de 1.500 a 2.200 kWh/m² (EPE, 2017), praticamente todo território brasileiro é elegível à expansão do aproveitamento deste recurso. Na Figura 4.5 e na Figura 4.6 estão apresentados o nível de irradiação solar e o potencial fotovoltaico por município do Brasil, o que verifica essas condições vantajosas para o aproveitamento do recurso solar na geração de energia.



Figura 4.5 - Mapa de irradiação solar global diária no plano Inclinado

Fonte: EPE (2017).

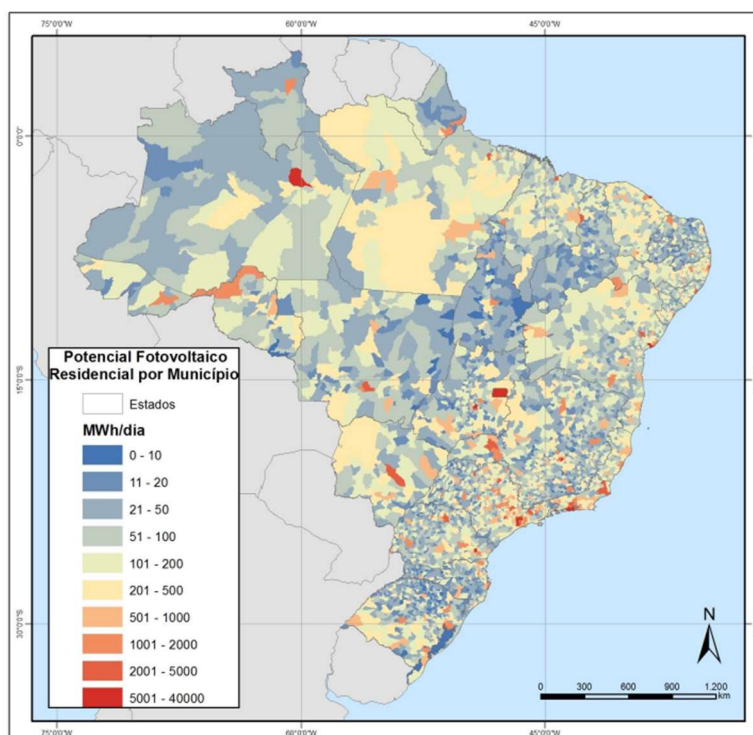


Figura 4.6 - Potencial Fotovoltaico Residencial por Município

Fonte: EPE (2017).

Estudos do EPE (2014) apontam que, assim como a tendência mundial, a inserção de energia fotovoltaica no Brasil ocorre com maior frequência através de geração distribuída, especialmente na autoprodução residencial e comercial. Isso é, decorrente de uma paridade tarifária entre a energia gerada por um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) com as tarifas praticadas pelas distribuidoras.

Em 2010, como forma de regular a geração e a utilização de energia fotovoltaica no Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou uma Resolução Normativa (número 482 e, posteriormente, número 517), que estabelece condições gerais para uma microgeração distribuída no país. A regulação permite que os consumidores instalem pequenos geradores em suas unidades consumidoras e injetem a energia excedente na rede em troca de créditos, que poderão ser utilizados em um prazo de 36 meses.

Por isso afirma-se que, hoje, a energia fotovoltaica no Brasil já se apresenta economicamente vantajosa (EPE, 2017). De modo geral, especialistas apontam para uma economia média de cerca de 5% do valor da conta de energia elétrica. No segmento residencial, inclusive, a utilização de tal matriz, contribui para a redução do pico de demanda de eletricidade do sistema elétrico (EPE, 2014).

Estudos e levantamentos pelo EPE (2012) apontam que, em tese, todos os estados teriam condição de suprir seu consumo elétrico residencial de forma integral com o advento da energia fotovoltaica (Tabela 4.1). Em linhas gerais, considerando todo o diversificado país, o potencial de produção de energia fotovoltaica é de, aproximadamente, 2,3 vezes maior que o consumo.

Tabela 4.1 - Potencial na geração de energia fotovoltaica residencial no Brasil, por estado

Fonte: EPE (2012).

<i>UF</i>	<i>Potencial Fotovoltaico Residencial (MW médios)</i>	<i>Potencial Fotovoltaico Residencial (GWh/ano)</i>	<i>Consumo Residencial Anual 2013 (GWh)</i>	<i>Potencial Fotovoltaico/ Consumo Residencial</i>
São Paulo	7.100	62.196	38.783	160%
Minas Gerais	3.675	32.193	10.118	318%
Rio de Janeiro	2.685	23.521	12.833	183%
Bahia	2.360	20.674	6.144	337%
Rio Grande do Sul	1.970	17.257	7.750	223%
Paraná	1.960	17.170	6.986	246%
Ceará	1.430	12.527	3.751	334%
Pernambuco	1.410	12.352	4.563	271%
Goiás	1.220	10.687	3.958	270%
Santa Catarina	1.075	9.417	4.935	191%
Maranhão	1.020	8.935	2.563	349%
Pará	1.020	8.935	2.632	339%
Paraíba	655	5.738	1.603	358%
Espírito Santo	595	5.212	2.213	236%
Mato Grosso	570	4.993	2.182	229%
Rio Grande do Norte	555	4.862	1.805	269%
Piauí	555	4.862	1.328	366%
Mato Grosso do Sul	505	4.424	1.571	282%
Alagoas	505	4.424	1.227	361%
Amazonas	420	3.679	1.784	206%
Distrito Federal	410	3.592	2.191	164%
Sergipe	350	3.066	979	313%
Rondônia	265	2.321	1.084	214%
Tocantins	255	2.234	695	321%
Acre	110	964	373	258%
Amapá	80	701	500	140%
Roraima	65	569	345	165%
BRASIL	32.820	287.505	124.896	230%

Quanto ao aproveitamento deste potencial, contudo, destaca-se que nas regiões norte e nordeste, as mais próximas da linha do equador, há maior possibilidade de integração da tecnologia solar fotovoltaica às edificações. Isso, pois nessas regiões a tolerância a desvios azimutais e de inclinação dos painéis fotovoltaicos é maior, enquanto regiões mais ao sul exigem um posicionamento mais específico para um aproveitamento adequado da irradiação solar (SANTOS, 2013).

Apesar do potencial, ainda não se verifica no Brasil uma grande utilização desse tipo de energia (Figura 4.1), quando comparado com países líderes em capacidade instalada de geração fotovoltaica, como a China, a Alemanha e os EUA. De forma geral, o sistema adotado no Brasil, não oferece a mesma atratividade, visto que ainda há empecilhos na utilização de tal tecnologia, tais como custos ainda elevados, falta de qualificação especializada e hábitos culturais ainda resistentes.

Hoje, identifica-se alguns avanços alcançados nos últimos anos em esferas regulatória, tributária, normativa, de pesquisa e desenvolvimento, que buscam reverter esse cenário de desvantagem, sobretudo econômica, da aplicação e utilização das placas fotovoltaicas na geração de energia. Um exemplo são as iniciativas de financiamento pelo BNDES, outorgadas no ano de 2014, com o intuito de incentivar a aplicação de sistemas fotovoltaicos a residências (EPE, 2014).

4.3.2 Incentivos fiscais brasileiros

Para a perpetuação de tecnologia fotovoltaica na geração de energia, entende-se necessário alguns incentivos, sobretudo fiscais, por parte das equipes governamentais, à utilização de tecnologia fotovoltaica para a produção de energia, como a apresentada pelo BNDES em 2014, há também alguns outros, como por exemplo:

- O Instituto para Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL), em parceria com o *Grüner Strom Label* (Selo de Eletricidade Verde da Alemanha), lançou em 2012 o Fundo Solar, que oferece apoio financeiro no valor de R\$ 1.000,00 a R\$ 5.000,00 por projeto de microgeração fotovoltaica conectado à rede. De acordo com IDEAL (2016), o fundo, que foi encerrado em 2016, apoiou a instalação de 43 micro geradores fotovoltaicos em 12 estados do país, com um orçamento total de, aproximadamente, R\$ 138 mil para aplicação do projeto.
- Em julho de 2014, a Secretaria de Estado de Indústria e Comércio (SIC) de Goiás lançou o programa “Crédito Produtivo da SIC – Energias Renováveis”, que oferece uma linha especial de crédito voltada para micro e pequenas empresas. A linha financia projetos de sustentabilidade, inclusive geração de energia solar, com taxa de 0,25% ao mês, carência

de até 180 dias, prazo de pagamento de até 36 meses, para valores entre R\$ 2 mil e R\$ 25 mil.

- No segundo semestre de 2014 foram incluídos aerogeradores e equipamentos de energia fotovoltaica como itens financiáveis através do Construcard, da CAIXA. Com o cartão, é oferecida a possibilidade à pessoa física adquirir os equipamentos de microgeração e quitar o financiamento em até 240 meses, a uma taxa de juros mensal que varia de 1,4% + TR a 2,33% + TR. Ressalta-se que esta linha de crédito não tem nenhum tipo de incentivo ou subsídio do Governo Federal.

Enfim, entende-se que existem várias iniciativas com o propósito de fomentar a utilização de microgeração fotovoltaica conectado à rede no Brasil. Contudo, são programas bastante localizados e pouco difundidos para a sociedade brasileira. Por esse motivo, o incentivo promovido pelo BNDES torna-se bastante importante, como forma de consolidar a participação do governo de modo inclusivo em todo o território nacional. Espera-se que, dessa forma, ocorra, de fato, um avanço na utilização de tecnologias fotovoltaicas no Brasil.

4.4 Avaliação de Ciclo de Vida

Todo material, desde a produção de sua matéria prima, até seu acabamento final, participa de processos que envolvem, direta ou indiretamente, a emissão de gases poluentes, como o gás carbônico. Inclusive a energia elétrica, necessária para a realização de muitos desses processos, possui essa emissão agregada de gases poluentes.

A caracterização mais aceita do conceito de Energia Zero, estabelece como premissa a garantia de um balanceamento nas emissões de gás carbônico: entre a parcela emitida durante todo o processo de produção de materiais, execução da obra e operação pelos usuários, com a emissão evitada na geração de uma energia fotovoltaica “limpa”, uma vez que na manufatura das placas fotovoltaicas, observa-se a emissão de gases poluentes. Busca-se, assim, realizar um mapeamento mais preciso dos impactos ambientais decorrentes dessa obra.

Estudos realizados pelo EPE (2017) apontam que, em 2017, apenas 4,3% do total de emissões de gás carbônico relacionados à produção de energia elétrica no Brasil era decorrente do setor residencial (Figura 4.7), considerando os processos de produção, execução e operação. De forma

geral, o total de emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiu, nesse mesmo ano, 435 MtCO₂.eq. Estima-se, inclusive, que essas emissões devem aumentar ainda mais nas próximas décadas, com taxas superiores ao projetado, atualmente já em 1,6% superior ao projetado, conforme ilustrado na Figura 4.8 (EPE, 2017).

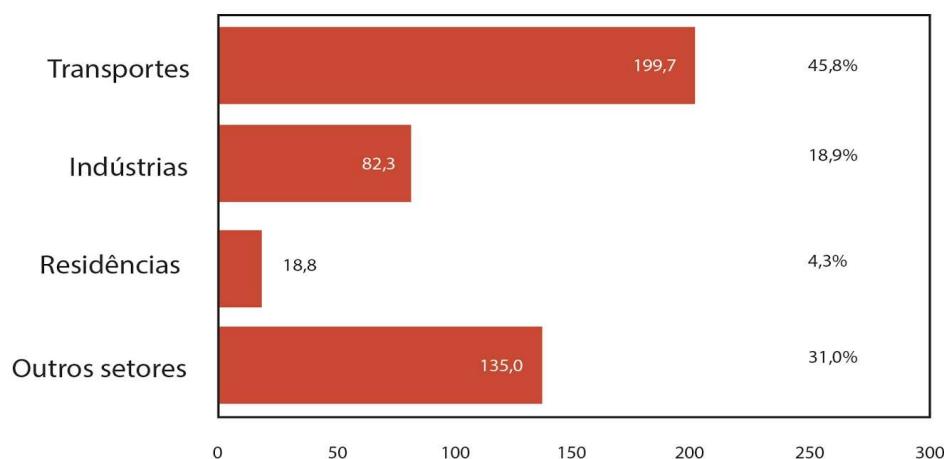


Figura 4.7 - Emissões totais em Mt CO₂, por setor, no Brasil

Fonte: EPE, 2017.

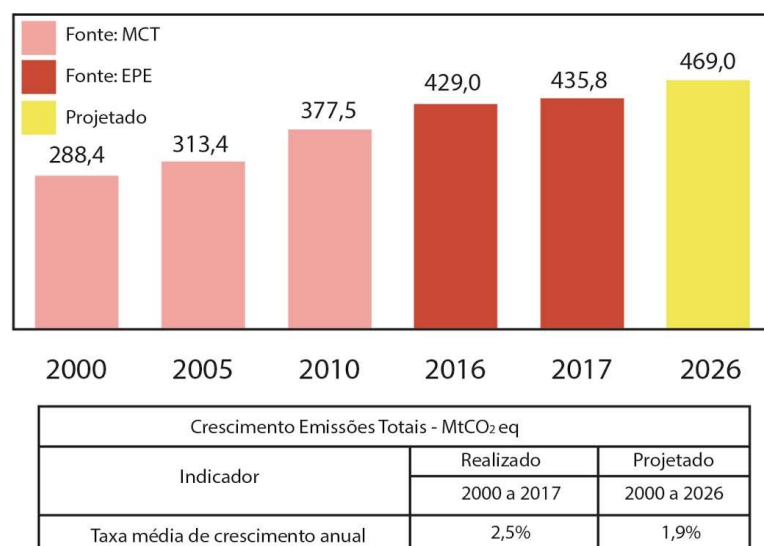


Figura 4.8 - Evolução das emissões totais de CO₂ no Brasil

Fonte: EPE, 2017.

Nesse cenário, é importante ressaltar que o Brasil ainda se mostra como uma exceção, uma vez que, em comparação com outros países do mundo, possui valores muito baixos de emissão de gás carbônico na produção de energia elétrica (Figura 4.9). Essa informação está diretamente

associada com a matriz energética brasileira, cujo predomínio é de uma produção majoritariamente renovável e “limpa” na utilização de hidrelétricas.

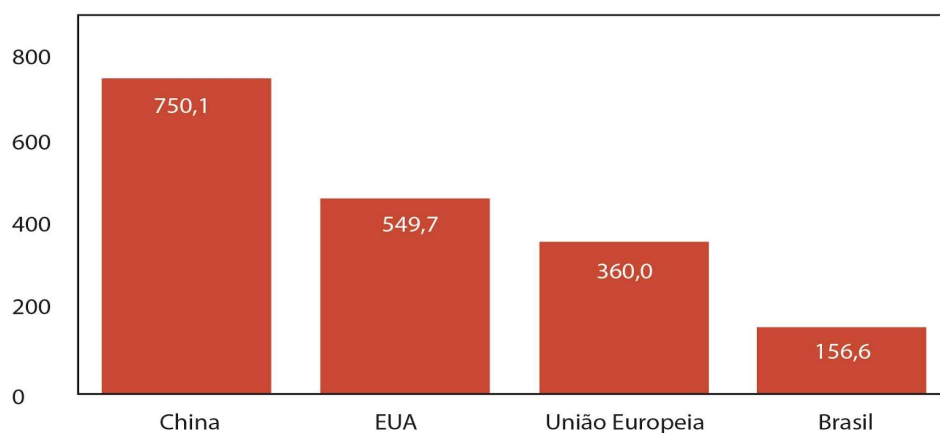


Figura 4.9 - Emissões em kg CO2 por MWh gerado no mundo (2015)

Fonte: EPE, 2017

De qualquer modo, é evidente a grande preocupação mundial com os efeitos e os prejuízos ambientais causados na emissão de gases poluentes, com a intensificação do efeito estufa e o aquecimento global, por exemplo. Os impactos no meio ambiente são uma realidade que provoca alterações na dinâmica da natureza. Dessa forma, independentemente do posicionamento do Brasil perante os outros países, entende-se essa perspectiva de intensificação da emissão de gases poluentes como algo preocupante. Afinal, busca-se exatamente o contrário: reduzir esse problema e não o intensificar. Aponta-se que a eficiência energética auxiliou na prevenção de mais de 15 MtCO₂-eq de emissões adicionais em 2018, equivalente a, aproximadamente, uma redução de 4% da necessidade de utilização de carvão e gás (IEA, 2018). Isso é considerado muito notável, visto que o Brasil é uma das economias que menos emite gás carbônico, por conta de seu potencial hidrelétrico e de biocombustíveis no transporte.

Nesse sentido, a metodologia de avaliação do ciclo de vida visa auxiliar na obtenção de informações sobre as emissões de gases poluentes incorporadas durante todo o processo de produção e operação de uma residência. A partir de tais dados, realiza-se o principal benefício de tal metodologia: identificar onde estão os impactos mais relevantes no ciclo de vida um produto para se buscar alternativas mais eficientes e sustentáveis.

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é descrita na norma ISO 14040, definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Em linhas gerais, uma ACV consiste em 4 diferentes etapas:

- Definição de objetivo e escopo: consiste na definição do contexto do estudo e dos resultados que se busca obter.
- Análise de inventário: mapeamento de todos os fluxos elementares nos processos de consolidação de um produto, tais como entradas e saídas de energia, água e matéria-prima, por exemplo.
- Avaliação de impacto: determinação dos potenciais impactos ao meio ambiente.
- Interpretação: identificação, classificação e quantificação dos resultados, como diretrizes para auxiliar a tomada de decisões futuras.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Após a definição dos objetivos e da metodologia utilizada, inicia-se o desenvolvimento do projeto, que contempla desde a escolha do terreno até o dimensionamento dos sistemas de aquecimento d'água e de geração de energia fotovoltaica, por exemplo. Cada etapa do projeto será apresentada separadamente, contemplando as suas respectivas considerações.

5.1 Escolha do terreno

O terreno escolhido para realização do projeto está localizado dentro do conjunto habitacional Alto do Bonfim, em Ribeirão Preto – SP. Trata-se de um lote de esquina, alongado, com área privativa definida de 298,70 m² e uma área comum de 162,90 m², que consiste em uma faixa de passeio que contorna todo o terreno. Uma fotografia do terreno está apresentada na Figura 5.1.



Figura 5.1 - Terreno escolhido

Fonte: Autores (2019)

As dimensões do terreno são definidas pelo Registro do Imóvel: mede 4,55 metros de frente para a via de circulação interna denominada Via 6; 15,16 metros em linha curva com raio de 9,00 metros na confluência das vias de circulação interna denominadas Vias 6 e 1; 11,00 metros nos fundos onde confronta com a parte da unidade autônoma residencial nº 7; 25,00 metros do lado direito onde confronta com a unidade autônoma residencial nº 9; e 15,29 metros do lado esquerdo onde confronta com a via de circulação interna denominada Via 1. O posicionamento do terreno no condomínio está detalhado na Figura 5.2.



Figura 5.2 - Situação do terreno

Fonte: autores (2019).

5.2 Levantamento topográfico

Para a validação das dimensões descritas no Registro do Imóvel e definição das curvas de nível do terreno, foi necessário a realização de um levantamento topográfico. Entende-se que essas informações são fundamentais para a correta implantação do projeto no terreno.

O levantamento topográfico exigiu a utilização dos seguintes equipamentos, que foram emprestados pelo departamento PTR da Escola Politécnica:

- Estação Total Leica TS06.
- Prisma de medição.
- GPS.
- Trena.

De maneira simplificada, o procedimento de medição é baseado na determinação da diferença angular (horizontal e vertical) entre um ponto fixo, em que se posiciona a estação total, e os pontos móveis, em que se posicionam o prisma de medição. A realização do levantamento topográfico, então, seguiu duas etapas:

- a) Definição e caracterização de dois pontos fixos principais. Esses pontos foram georreferenciados através da utilização de um GPS, que forneceu o par de coordenadas (N, E) em UTM, além da altitude (z). No caso, a estação total é fixada em um desses pontos. Já o outro ponto possui apenas função de calibração da estação total, através da variação angular. É somente a partir deste ponto fixo, que se consegue determinar os outros pontos do terreno.
- b) Posicionamento do prisma de medição na divisa do terreno. Os pontos medidos estão apresentados no croqui representado na Figura 5.3.

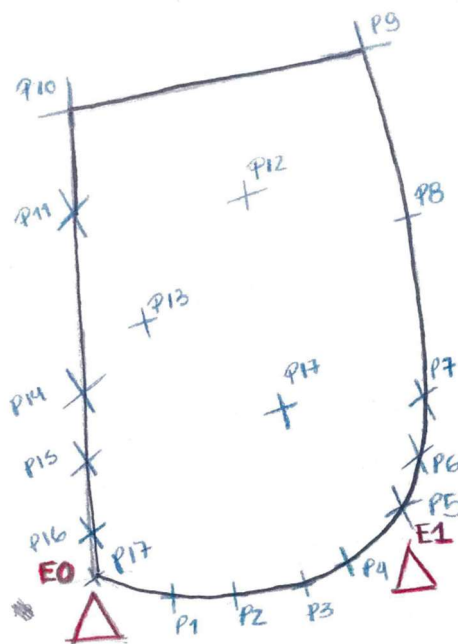


Figura 5.3 - Croqui realizado em campo para identificação dos pontos de entorno do terreno

Fonte: Autores (2019)

Após a realização da medição, coleta-se os dados da estação total. Através da utilização do software DataGeosis Office (versão Beta), consolida-se as informações coletadas em uma caderneta de coordenadas, apresentada na Figura 5.4.

DEF	pt E0	ds		x	208480,499	y	7645755,715	z	614,560	
EST	pt E0	ds		ai	1,345					
DEF	pt E1	ds		x	208478,932	y	7645753,453	z	613,830	
REF	pt E1	ds		ah	203°32'15"	av	93°03'56"	di	11,476	ap 1,400
VIS	pt P1	ds		ah	197°47'07"	av	93°12'25"	di	6,985	ap 1,400
VIS	pt P2	ds		ah	194°28'41"	av	92°56'24"	di	4,102	ap 1,400
VIS	pt P3	ds		ah	207°07'05"	av	94°13'33"	di	1,790	ap 1,400
VIS	pt P4	ds		ah	304°19'11"	av	91°04'27"	di	1,469	ap 1,400
VIS	pt P5	ds		ah	321°47'42"	av	91°11'19"	di	4,956	ap 1,400
VIS	pt P6	ds		ah	317°47'42"	av	91°26'25"	di	7,358	ap 1,400
VIS	pt P7	ds		ah	314°21'56"	av	91°54'22"	di	9,059	ap 1,400
VIS	pt P8	ds		ah	306°16'34"	av	92°34'44"	di	15,679	ap 1,400
VIS	pt P9	ds		ah	302°45'02"	av	92°51'02"	di	23,425	ap 1,400
VIS	pt P10	ds		ah	290°45'00"	av	92°26'39"	di	23,774	ap 1,400
VIS	pt P11	ds		ah	277°03'26"	av	92°36'00"	di	25,528	ap 1,400
VIS	pt P12	ds		ah	270°37'13"	av	93°00'27"	di	20,724	ap 1,400
VIS	pt P13	ds		ah	289°25'54"	av	91°51'48"	di	19,028	ap 1,400
VIS	pt P14	ds		ah	284°45'56"	av	92°29'15"	di	10,215	ap 1,400
VIS	pt P15	ds		ah	250°27'57"	av	93°23'43"	di	14,127	ap 1,400
VIS	pt P16	ds		ah	269°52'19"	av	92°53'40"	di	15,309	ap 1,400
VIS	pt P17	ds		ah	237°50'14"	av	93°07'35"	di	12,344	ap 1,400
VIS	pt P18	ds		ah	217°19'16"	av	93°12'03"	di	11,247	ap 1,400

Figura 5.4 - Caderneta de coordenada dos pontos levantados

Fonte: Autores (2019)

Essa caderneta apresenta os dois pontos fixos (E0 e E1), assim como os demais pontos do entorno do terreno medidos (P1 a P18). As informações contidas na caderneta são:

- Coordenadas (x,y,z): consiste no par de coordenadas em UTM e a altitude de cada um dos pontos fixos (N, E, Z).
- Ai: altura da estação total, em metros.
- Ap: altura do prisma, em metros.
- Ah: ângulo horizontal medido.
- Av: ângulo vertical medido.
- Di: distância da estação ao prisma.

Essas informações organizadas na caderneta de coordenadas, como apresentado na Figura 5.5, foram incluídas ao software AutoCAD Civil 3D, que realizou os cálculos para o posicionamento dos pontos medidos e a determinação de suas altitudes. O resultado desse levantamento topográfico está sintetizado na Figura 5.5.

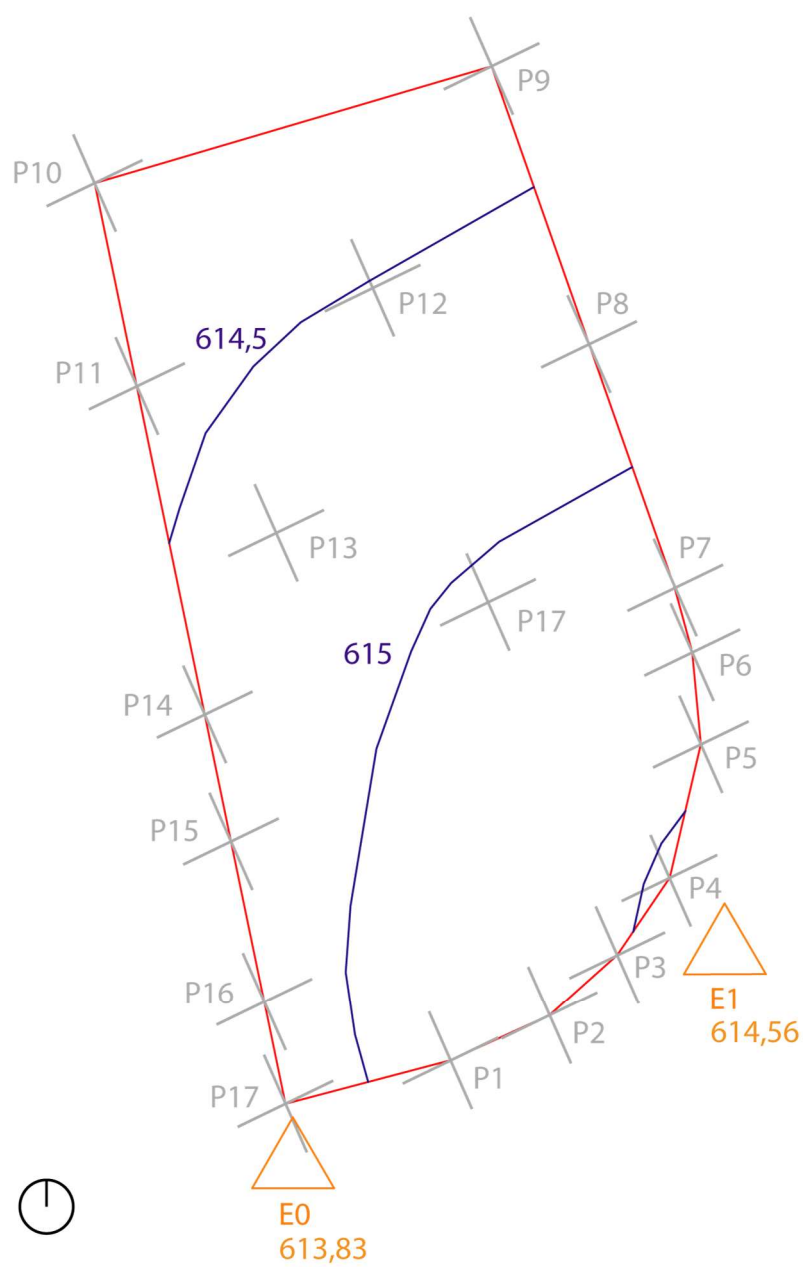


Figura 5.5 - Resultado do levantamento topográfico (em escala 1:100)

Fonte: Autores (2019)

Através do resultado do levantamento topográfico, conclui-se que o terreno é predominantemente plano, com um desnível máximo de aproximadamente 1,5 metro. Isso evita a necessidade de grandes movimentações de terra.

O regimento interno de obras do condomínio está em acordo com o zoneamento estabelecido pelo Plano Diretor, definindo uso estritamente residencial e restrições de recuos e dimensionamento específicos, dos quais se apresenta:

- Recuo frontal mínimo de 3,00 metros:
 - sem fechamento em muro ou gradil.
 - são permitidos pergolados.
- Recuo lateral mínimo para esquinas de 3,00 metros.
- Recuo de fundo mínimo de 2,00 metros em relação à divisa dos fundos.

5.4 Definição do programa

No início do projeto, buscou-se a elaboração de uma residência que atendesse as necessidades reais de um possível cliente. Entende-se que, dessa forma, garantir-se-ia uma maior proximidade com as demandas do mercado, tornando o exercício mais verossímil.

Nessa primeira etapa, o cliente simulado consistia em um casal com três filhos adultos, que vivem em outra cidade e, portanto, utilizariam a casa apenas em ocasiões especiais de visita. Dessa forma, foram estabelecidas as seguintes exigências:

- Residência com conforto térmico, acústico e de iluminação, em todos os seus ambientes.
- Existência de no mínimo 3 dormitórios, sendo pelo menos 1 suíte.
- No caso de um projeto de sobrado (com mais de um pavimento), garantir a espaço para alocação de um quarto e um banheiro no térreo, de modo a se obter acessibilidade e não precisar subir escadas.
- Ausência de muros, com a valorização da fachada.

Além dessas necessidades do usuário, também foi definida como premissa a utilização de sistema de aquecimento de água por placas solares e de sistema de geração de energia fotovoltaica.

5.5 Casa tese

Em uma análise posterior, foi-se questionado a respeito da representatividade da elaboração de um projeto restrito à um cliente. Afinal, a proposta de elaboração de uma residência energia zero possui princípios e motivações mais abrangentes, tais como a sua viabilidade tecnológica e cultural em uma região de clima tropical, como o Brasil.

Por isso, optou-se pela elaboração de uma residência unifamiliar que não esteja limitada, necessariamente, por programas ou regras restritivas e particulares de clientes específicos. Dessa forma, definiu-se um conceito de “casa tese”, em que o projeto da residência consiste, sobretudo, em um estudo científico a respeito da viabilidade de uma construção de ocupação residencial, somado ao conceito de energia zero, no Brasil. Entende-se que a elaboração de uma casa, com um viés social e tecnológico da construção civil, torna o projeto mais representativo, o que justifica a sua importância de estudo.

Como estratégias para a elaboração dessa representativa casa tese, optou-se por valorizar a seu potencial de replicabilidade, ainda que esteja em alinhamento com algumas condicionantes do ambiente em que está inserido: localização geográfica, geometria do terreno e plano diretor do condomínio, por exemplo. Essa capacidade de replicação do projeto é, portanto, representada através da racionalidade e simplificação de sua geometria, delimitação dos ambientes e volumetria, assim como também de seus sistemas prediais envolvidos.

5.6 Projeto arquitetônico

Através do escopo, referente à elaboração de uma casa tese energia zero, foi definido um projeto arquitetônico que buscou contemplar medidas e tecnologias, embasadas em princípios de conforto, qualidade e sustentabilidade, como por exemplo:

- Utilização de sistema de aquecimento de água por placas solares.
- Utilização de sistema de geração de energia fotovoltaica.
- Adoção de materiais com baixo impacto, em seu ciclo de vida, na emissão de gases poluentes.
- Utilização de materiais com vantagens para o conforto térmico e acústico da residência.
- Conformidade com os critérios da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Além disso, foram definidas diretrizes na concepção da geometria e volumetria da residência que favoreçam à economia de energia, de modo a possibilitar um maior conforto aos usuários e redução do consumo energético. Algumas estratégias utilizadas foram:

- Isolamento térmico e acústico na envoltória (paredes e cobertura).
- Utilização de elementos e brises que auxiliem na redução do ganho térmico por radiação solar.

- Geometria e aberturas favoráveis para promover a circulação cruzada do ar, de modo a reduzir as cargas térmicas internas.

5.6.1 Avaliação de Ciclo de Vida

O objetivo principal deste trabalho é a realização de uma residência que seja energia zero, de modo que todo o Potencial de Aquecimento Global (PAG) provocado pela emissão de gases de efeito estufa durante a vida útil da residência seja balanceada pela redução de emissão desses gases através da geração de energia (fotovoltaica e solar, para aquecimento de água). Está ilustrado na Figura 5.7 como é a participação, em modo simplificado, de cada um dos períodos ao longo do ciclo de vida de um empreendimento, no que se refere ao PAG. Identifica-se, assim, uma grande participação da etapa de construção e de uso/operação no balanceamento final de emissão de gases estufa.

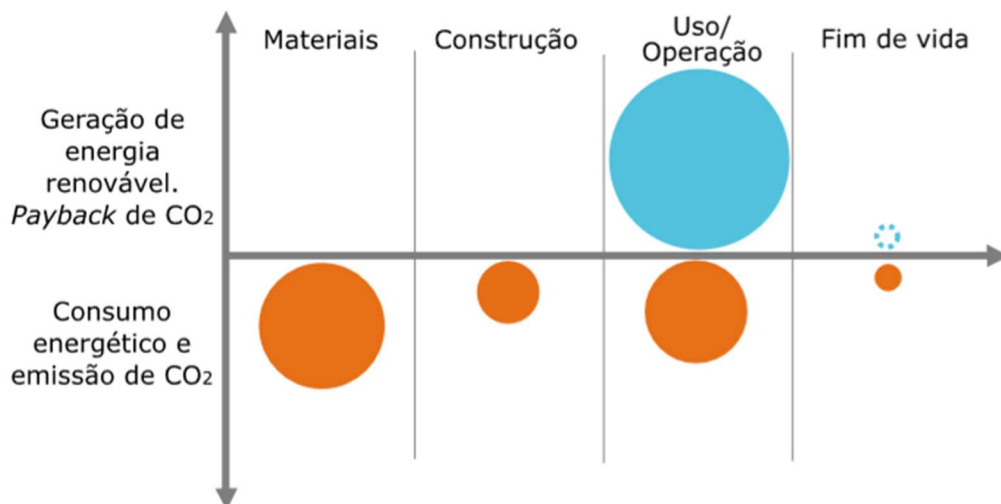


Figura 5.7 - Participação de cada etapa da vida útil de um empreendimento no Potencial de Aquecimento Global (PAG)

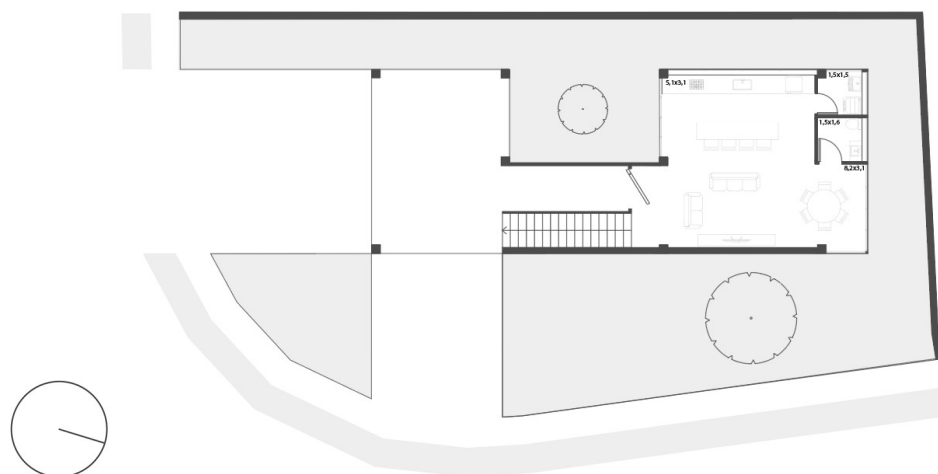
Fonte: <http://zeb.no>, acesso em 24 de outubro de 2019

Conforme apresentado anteriormente, este trabalho busca desenvolver o projeto de uma casa tese, que caracterize e justifique a viabilidade e o potencial sustentável na utilização da metodologia energia zero. Para isso, foi considerado no balanceamento energético a avaliação do Potencial de Aquecimento Global apenas das etapas de Materiais e Uso/Operação da residência, uma vez que possuem maiores percentuais de contribuição para esse impacto ambiental.

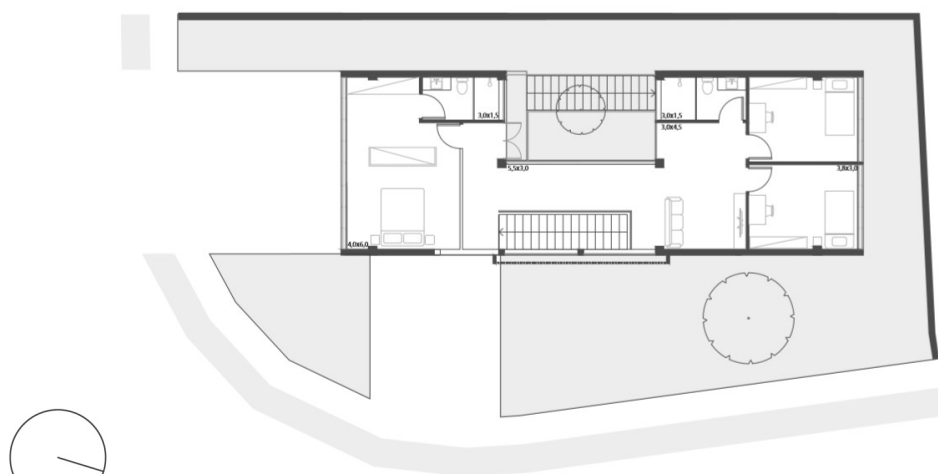
A Avaliação do Ciclo de Vida, portanto, foi realizada como uma ferramenta para a definição de diretrizes que auxiliaram na escolha de estratégias e materiais para a concepção da residência. Consiste, portanto, em etapa essencial na caracterização de elementos do projeto, tais como estruturais, de vedação e esquadrias, por exemplo.

5.7 Plantas

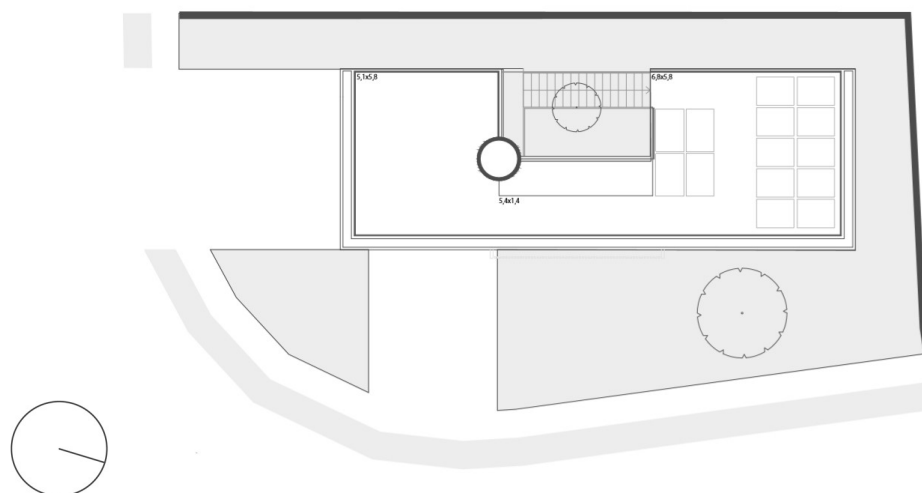
A realização de um projeto integrado, de modo a conciliar todos os projetos (arquitetura, estrutura, sistemas prediais, iluminação, etc.), consiste em um procedimento bastante demorado, que contempla várias iterações em busca de um resultado otimizado. Por fim, obteve-se o projeto da residência representado pelas plantas na Figura 5.8.



TÉRREO



PRIMEIRO PAVIMENTO



COBERTURA

Figura 5.8 - Plantas dos três pavimentos da residência

Fonte: Autores (2019)

Buscou-se na realização do projeto a obtenção de uma residência bastante racional e que valorizasse aberturas e vazios, conforme apresentado na Figura 5.8. Dessa forma, como elemento estruturador do projeto, assumiu um átrio, na fachada oeste, que é traduzida em um pátio externo de uso diverso, seja para a instalação de um jardim ou para uma área de lazer. Entende-se como um espaço convidativo para atividades e encontros, tendo a sua privacidade protegida por uma parede de cobogós, que delimita a entrada da residência. Vale ressaltar que esse átrio favorece a ventilação cruzada interna e entrada de luz natural nos ambientes comuns.

No térreo, portanto, buscou-se definir os ambientes comuns de forma bastante integrada. Na disposição apresentada na Figura 5.8, a sala relaciona-se diretamente com a cozinha e a mesa de jantar. As folhas de esquadria entre cozinha e área externa também se abrem para possibilitar esse acesso com exterior e favorecer a ventilação natural. Nota-se também a intenção de aproximar as áreas molhadas (pontos hidráulicos), de modo a reduzir perdas de cargas.

Vale ressaltar que não foi incluído no projeto um dormitório no térreo, conforme desejado pelo possível cliente, em uma condição futura de incapacidade de utilizar escadas. No entanto, a distribuição dos ambientes foi planejada de modo a poder incluí-lo, em um futuro, com a redução da sala de estar e da sala de jantar. O banheiro já é acessível e poderia ser adaptado com a inclusão de um chuveiro, caso necessário.

O primeiro pavimento revela a racionalidade no dimensionamento dos espaços. A simetria está presente nos dormitórios, à esquerda, e, também, no eixo perpendicular às escadas, observado nas disposições de dormitórios e dos banheiros. Essa racionalidade permite modularidade na disposição da arquitetura, o que possibilita, por exemplo, opções de dois até quatro dormitórios neste pavimento.

O desenho do terraço busca atender à demanda dos equipamentos geradores e hidráulicos: placas fotovoltaicas e solares, *boiler*, inversor, controlador de carga e caixa d'água. Estuda-se também a implantação de um telhado verde, para valorizar a o espaço da cobertura.

O projeto da residência foi concebido, considerando uma solução estrutural constituída de pilares de Madeira Laminada Colada (MLC) e vedações horizontais e verticais de Madeira Laminada Cruzada (CLT). Vale ressaltar também que, o nível utilizado para locação da

residência foi o nível intermediário (614m) determinado através do levantamento topográfico. A implantação do projeto no terreno e no condomínio está apresentado na Figura 5.9.



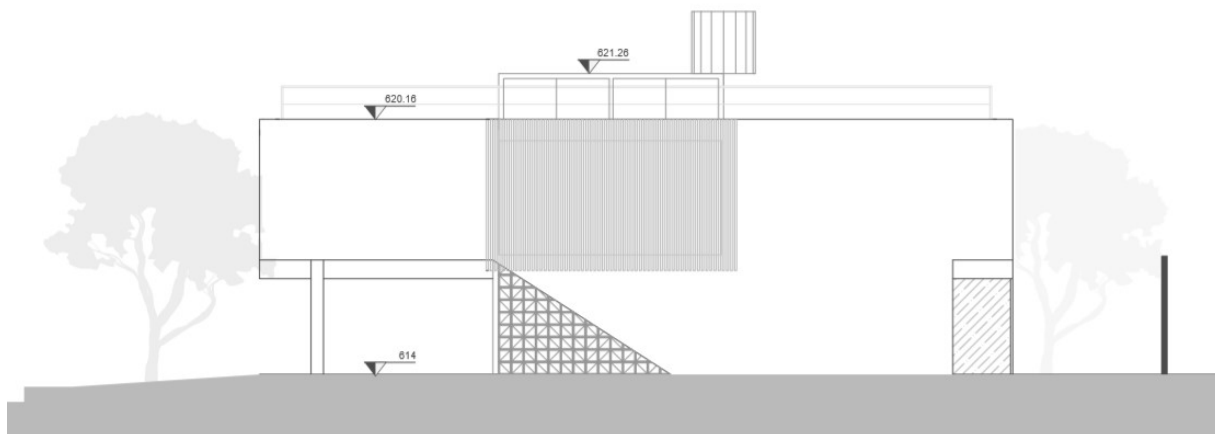
Figura 5.9 - Implantação do projeto no térreo e no condomínio (fora de escala)

Fonte: Autores (2019).

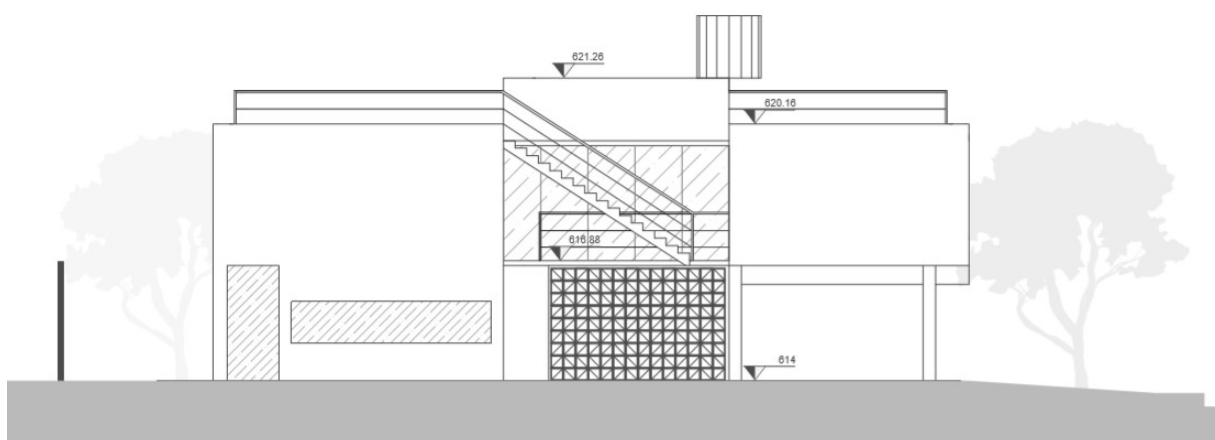
Todos os desenhos das plantas, implantação, cortes e elevação, com respectivas escalas, assim como algumas imagens representativas do projeto (*renders*), estão inclusos no Anexo.

5.8 Fachadas

Como desejado pelos possíveis clientes, buscou-se valorizar os desenhos das fachadas e evitar a utilização de muros, o que é favorecido pelo terreno em esquina. A Figura 5.10 contém a representação das fachadas da residência projetada.



FACHADA LESTE



FACHADA OESTE



FACHADA SUL

Figura 5.10 - Representação das elevações da residência (fora de escala)

Fonte: Autores (2019)

A fachada leste é voltada ao passeio público e possui uma abertura diagonal que acompanha a escada interna. Esta abertura revela, num segundo plano, uma parede de cobogós, divisor sutil que limita o público (rua) com o privado (área externa ou quintal da residência). Esta abertura também é o principal acesso da residência. Essa fachada contém ainda duas aberturas verticais, que valoriza a volumetria do projeto e permite a entrada de iluminação natural e ventilação.

A fachada oeste é mais privativa, através da qual se pode observar a dinâmica entre os ambientes internos e externos da residência. Os cobogós, nesse caso, estão totalmente expostos. Observa-se, também, no primeiro pavimento, o envelopamento do átrio com esquadrias de vidro, de modo a tornar os ambientes internos bastante permeáveis para iluminação e ventilação natural. Ao mesmo tempo, posiciona-se uma escada externa, que possibilita o acesso à cobertura.

Na fachada sul, pode-se observar as folhas das janelas camarão, que consistem nas esquadrias adotadas para os dormitórios no primeiro pavimento. Entende-se que, dessa forma, garante-se a entrada de iluminação natural, mesmo que seja uma fachada sul. Do mesmo modo, a fachada norte possui janelas camarão na caracterização dos dormitórios do primeiro pavimento. Contudo, contém também aberturas no térreo.

A caracterização da envoltória representada pelas fechadas é essencial para, além da definição de uma identidade arquitetônica, garantir aos ambientes internos bom desempenho quanto ao conforto térmico, lumínico e acústico. As aberturas, por exemplo, entre as fachadas norte e sul e o átrio central possibilitam a ventilação natural cruzada entre os aposentos da residência. O mesmo ocorre para as aberturas entre cozinha e sala de jantar no térreo. O brise vertical posicionado na fachada leste garante a permeabilidade do interior da residência durante o período da manhã e protege a fachada de incidência excessiva de radiação solar, além de funcionar como uma fachada dupla, dissipando a carga térmica local.

5.9 Cortes

Como forma de entender melhor os espaços internos e a delimitação dos ambientes, alguns cortes no projeto da residência foram realizados (Figura 5.12). Uma identificação dos eixos de corte está apresentada na Figura 5.11.

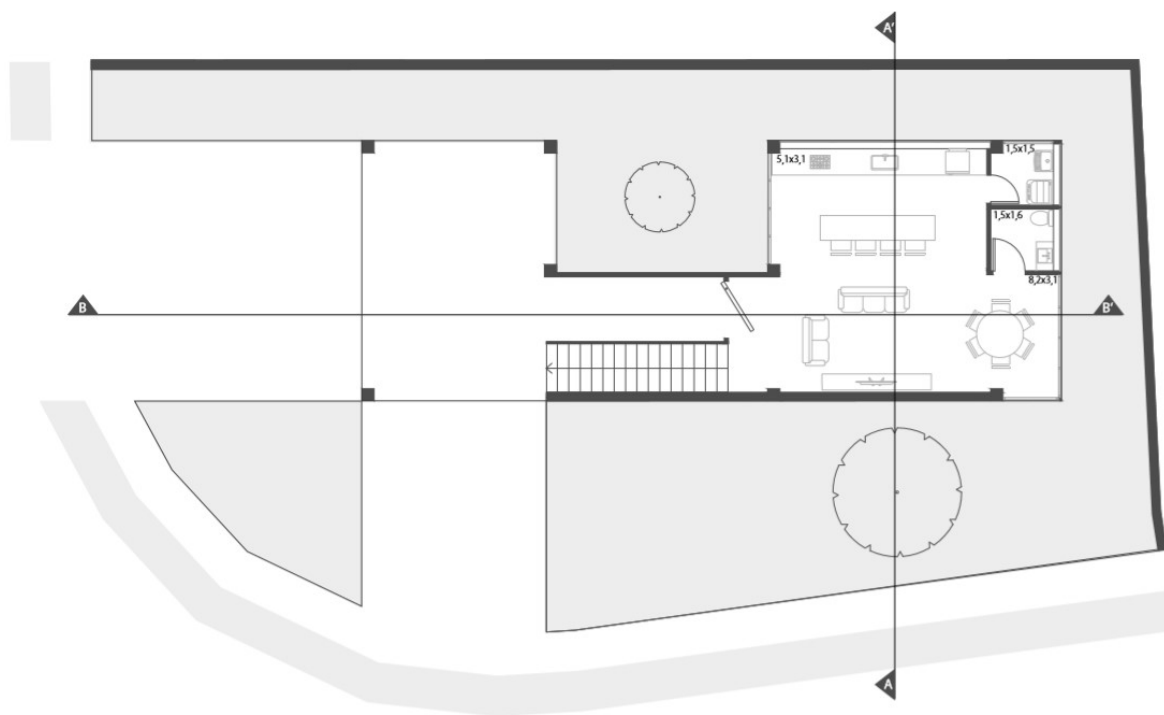
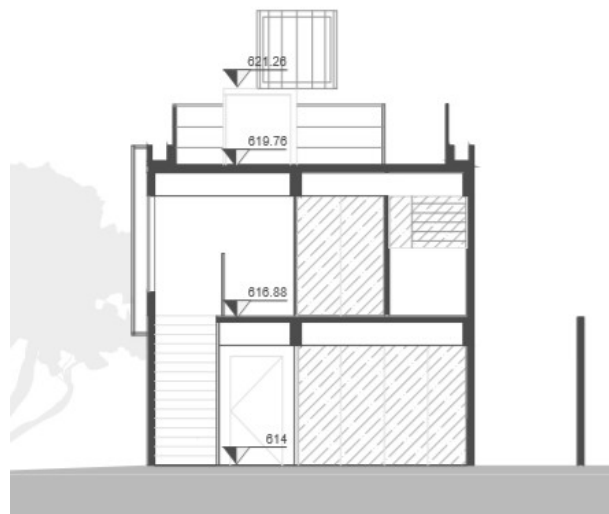


Figura 5.11 - Indicação dos cortes

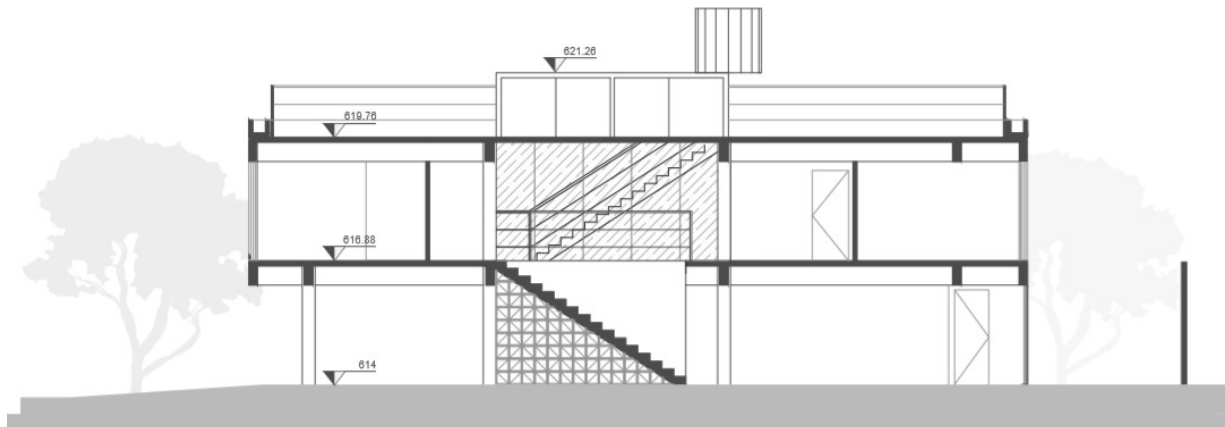
Fonte: Autores (2019)

No caso, o corte A revela a dinâmica da escada interna como divisor, que separa o ambiente público do ambiente privado, assim como separa o espaço comum do reservado. No pavimento térreo delimita-se as áreas comuns: sala de estar, cozinha, pátio; enquanto no primeiro pavimento posiciona-se os dormitórios e a sala íntima.

Já o corte B revela as circulações nos corredores da construção. As esquadrias definidas também mostram a grande interação visual entre os ambientes com o átrio da construção.



CORTE A-A'



CORTE B-B'

Figura 5.12 - Corte A-A' e B-B'

Fonte: Autores (2019)

5.10 Estrutura

O projeto estrutural da residência é etapa necessária para se verificar a viabilidade da configuração idealizada anteriormente. De modo geral, somente a partir da definição do método estrutural e de seu dimensionamento é possível determinar os outros elementos do projeto, tais como vedação, caixilhos e tubulação hidráulica, por exemplo.

No que se refere ao objetivo de uma residência energia zero, a definição dos elementos estruturais também é fundamental. Afinal, a estrutura, junto com os elementos de vedação, representa uma grande porcentagem na volumetria total do projeto. Por isso, entende-se necessária a elaboração de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), de modo a buscar a alternativa que resulte no menor potencial de aquecimento global (GWP).

A partir dessa avaliação, é possível determinar o material adotado para o projeto estrutural, assim como também para a vedação e outros sistemas auxiliares.

5.10.1 Avaliação de Ciclo de Vida

A Avaliação de Ciclo de Vida foi utilizada, portanto, como forma de definição de diretrizes para justificar a escolha do material com menor impacto ambiental. Após a concepção conceitual do projeto, apresentada anteriormente pelas plantas, cortes e elevações, optou-se pela utilização de uma configuração estrutural reticulado, de modo a reduzir o consumo de material.

De acordo com a metodologia apresentada pela ISO 14040:2006, a Avaliação do Ciclo de Vida deve ser realizada para elementos ou processos que possuem uma mesma função, de modo a comparar os impactos ambientais provocados para a realização desse objetivo. Para isso, portanto, foi elaborado um modelo no software Revit, contemplando os principais elementos que constituem a volumetria de um projeto: estrutura, vedação e caixilhos. Esse modelo, portanto, foi adaptado para duas diferentes configurações estruturais predominantes: concreto ou madeira.

Vale pontuar que a madeira como material estrutural apresenta frequentemente sistemas estruturais diferentes do concreto. Pensados em *wood frames* e estruturas leves, frente ao brutalismo e peso do concreto. Porém, a técnica de colagem de lâminas de madeira, de acordo

com a sua orientação, permite a fabricação de elementos com dimensões flexíveis e extensas, o que lhe permite, portanto, um sistema estrutural muito similar ao linear de concreto.

Como os caixilhos seriam os mesmos para as duas diferentes configurações em análise, optou-se por não os incluir no cálculo. Por isso, modelou-se a estrutura apresentada na Figura 5.13, considerando 2 tipos de sistemas:

- Concreto:
 - Lajes, vigas e pilares de concreto armado com resistência entre 20 a 25 MPa, considerando uma composição com 20% de agregados recicláveis
 - Vedação dos ambientes de bloco de alvenaria de cerâmica, de 9 ou 19 cm de espessura, dependendo da localização (interna ou externa, respectivamente).
- Madeira:
 - Pilares e vigas de Madeira Laminada Colada (MLC)
 - Lajes de Madeira Laminada Cruzada (CLT)
 - Vedação de *wood frame* composta de seguinte composição:
 - Compensado de madeira (*Plywood*)
 - Pannel de Tiras de Madeira Orientadas (OSB)
 - Camada de ar
 - Fibras de madeira
 - Placas de madeira de pinus

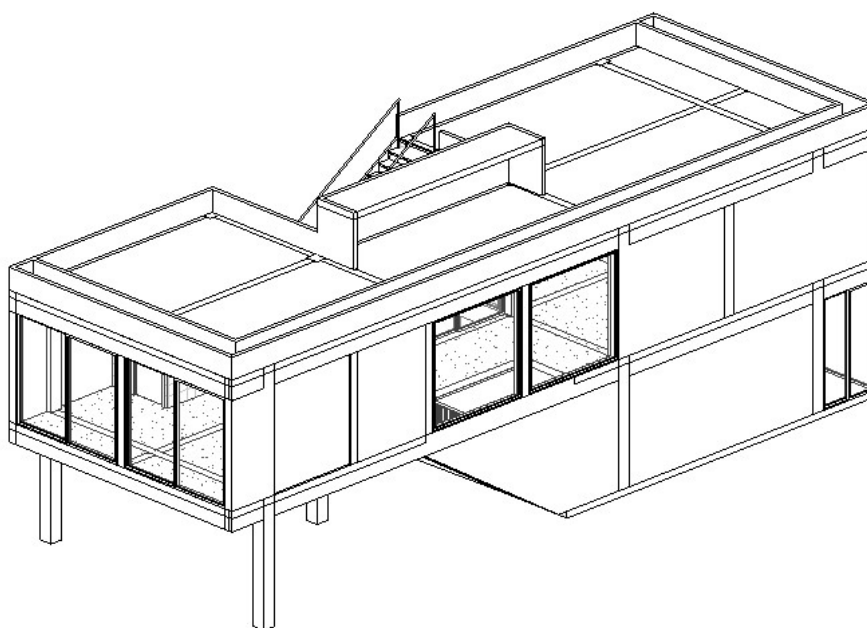


Figura 5.13 - Modelo 3D elaborado no software Revit

Fonte: Autores (2019)

Desse modo, foi possível a determinação do volume respectivo de cada tipo de material utilizado na estrutura e vedação da residência. Com auxílio de software externo para realização de ACV (*One Click LCA*), com banco de dados extenso, foi possível atribuir a cada elemento da modelagem um material específico, como forma de contabilizar o potencial de aquecimento global envolvido na elaboração dessa estrutura, como um todo.

Vale ressaltar que o software de ACV utilizado não possui um banco de dados muito amplo para materiais produzidos no Brasil (a maior disponibilidade é de dados europeus). Isso interfere na precisão e confiabilidade dos resultados finais obtidos. Como forma de reduzir essa interferência foram utilizados, na caracterização dos elementos, quando necessários, materiais do banco de dados oriundos de países que possuam matriz energética semelhante à do Brasil. Afinal, a emissão de gases de efeito estufa na produção de um material está diretamente associada com o consumo energético necessário para isso.

Conforme apresentado anteriormente, o Brasil possui matriz energética predominantemente de hidrelétricas. Diante disso, observa-se a matriz energética de países europeus (Figura 5.14) e identifica-se que países como Portugal, Áustria, Croácia e Noruega, cujas matrizes energéticas

também são predominantemente de hidrelétricas, representam possíveis alternativas para atribuição de materiais no processo de Avaliação de Ciclo de Vida.

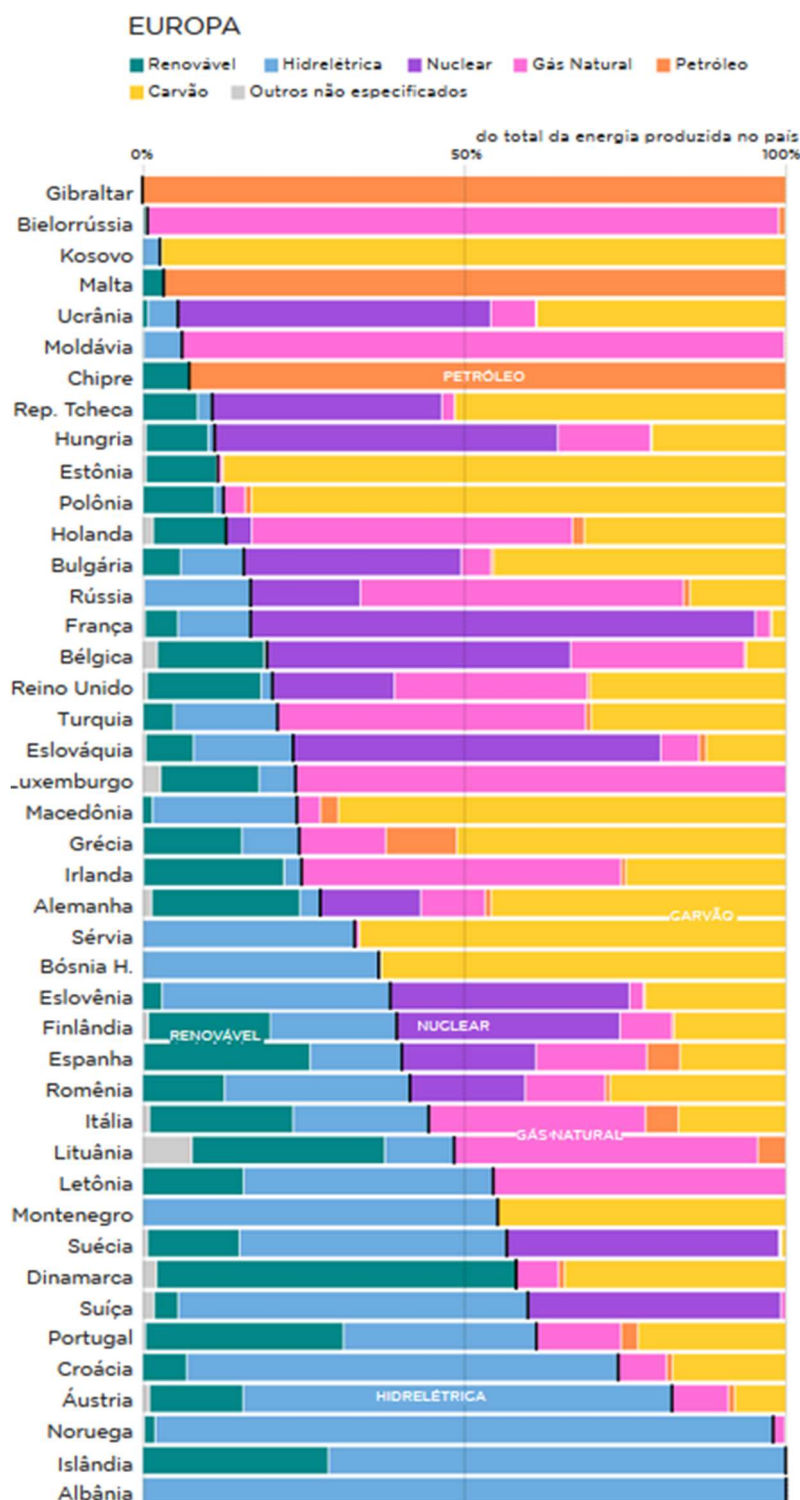


Figura 5.14 - Matriz energética de países europeus

Fonte: Nexo Jornal, 2018 (acesso em 30 de outubro de 2019, disponível em www.nexojornal.com.br/grafico/2018/03/27/Hidrelétricas-carvão-petróleo-como-cada-país-gera-sua-energia)

Ao final da realização dessa Avaliação de Ciclo de Vida preliminar, portanto, obteve-se o resultado apresentado na Figura 5.15 e na Figura 5.16, respectivamente para a estrutura em concreto e para a estrutura em madeira.

	Sector	Potencial de Aquecimento Global (kg CO ₂ eq)	Acidificação Terrestre (kg SO ₂ eq)	Eutrofização (kg PO ₄ eq)	Depleção de Ozônio Estratosférico (kg CFC11eq)	Energia Primária (MJ)
A1-A3	Materiais de Construção	1,55E+04	3,66E+01	4,64E+00	2,78E-04	1,34E+05
A4	Transporte					
A5	Processo de Construção/Instalação					
B1-B5	Manutenção e Reposição de Materiais					
B6	Energia Utilizada					
B7	Água Utilizada					
C1-C4	Desconstrução	1,21E+03	4,10E+00	9,79E-01	2,15E-04	2,94E+04
D	Impactos Externos (não incluído no total)	-2,76E+03	-5,64E+00	-1,89E+00	-6,29E-05	-1,73E+04
	TOTAL	1,67E+04	4,07E+01	5,62E+00	4,93E-04	1,63E+05

Figura 5.15 - Resultados da Avaliação de Ciclo de Vida do edifício, considerando a estrutura em concreto

Fonte: Autores (2019)

	Sector	Potencial de Aquecimento Global (kg CO ₂ eq)	Acidificação Terrestre (kg SO ₂ eq)	Eutrofização (kg PO ₄ eq)	Depleção de Ozônio Estratosférico (kg CFC11eq)	Energia Primária (MJ)
A1-A3	Materiais de Construção	8,09E+03	3,72E+01	1,41E+01	1,20E-03	1,80E+05
A4	Transporte					
A5	Processo de Construção/Instalação					
B1-B5	Manutenção e Reposição de Materiais	1,60E+03	8,23E+00	1,16E+00	2,13E-04	3,32E+04
B6	Energia Utilizada					
B7	Água Utilizada					
C1-C4	Desconstrução	2,11E+03	3,29E+00	1,04E+00	1,39E-06	8,11E+03
D	Impactos Externos (não incluído no total)	-1,74E+04	-1,85E+01	-2,96E+00	-3,03E-08	-3,07E+05
	TOTAL	1,18E+04	4,87E+01	1,63E+01	1,41E-03	2,21E+05

Figura 5.16 - Resultado da Avaliação de Ciclo de Vida da residência, considerando a estrutura em madeira

Fonte: Autores (2019)

É importante frisar que o software de Avaliação de Ciclo de Vida realiza a análise do impacto da residência para seis tipos diferentes de categorias de impacto, sendo quatro definidas pelo Painel de Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, em inglês), organizado pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, em inglês) e pela Organização das Nações Unidas (ONU), como uma iniciativa para sintetizar e padronizar os impactos ambientais responsáveis por mudanças climáticas:

- Potencial de Aquecimento Global (PAG)
- Acidificação Terrestre (AT)
- Eutrofização (EU)

- Depleção de Ozônio Estratosférico (OLD)
- Energia Primária

De modo geral, essas categorias são essenciais para a elaboração de um indicador comum, denominado de Unidade de Referência na metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida, apresentada na NBR ISO 14.040 (ABNT, 2001). Afinal, apenas dessa forma é possível a realização da comparação do impacto ambiental referente às duas configurações estudadas.

Vale ressaltar que, como o objetivo deste trabalho consiste na conceitualização de uma casa tese energia zero, avalia-se apenas o critério que envolve o Potencial de Aquecimento Global (PAG), ou Global Warming Potencial (GWP), medido em kg CO₂/eq, conforme apresentado nos resultados. Assim, pode-se ao final, quantificar a quantidade de gás carbônico equivalente foi emitido para o meio ambiente em função de três etapas consideradas na Avaliação de Ciclo de Vida (apresentadas na Figura 5.15 e na Figura 5.16):

- A - Construção dos Materiais: fabricação dos materiais e elementos construtivos.
- B - Manutenção e Reposição de Materiais: durante a Vida Útil do projeto.
- C - Desmontagem: término da Vida Útil do projeto.

É importante frisar que a etapa correspondente à etapa D – Reciclagem ou Reutilização do Material não foi considerado na análise, pois no escopo deste trabalho busca-se quantificar os impactos ambientais provocados ao longo do ciclo de vida de um único produto, e não uma análise holística de toda a cadeia de produção. Desse modo, entende-se que para a obtenção da energia zero, deve-se contabilizar os impactos que tangem à execução e operação da residência, desde a transformação da matéria-prima em materiais de construção até o término da vida útil de projeto, configurando uma Avaliação de Ciclo de Vida de “Berço ao túmulo”.

Por fim, conclui-se que, para os objetivos contemplados no escopo desse trabalho, considerando uma Vida Útil de 50 anos para a residência, o Potencial de Aquecimento Global (PAG) da configuração em madeira é 29% inferior ao da configuração em concreto. Isso, portanto, norteou a decisão para a elaboração de um projeto estrutural e de vedação com predomínio de materiais em madeira, como forma a projetar uma residência mais sustentável, com menor impacto para a potencialização do aquecimento global, de modo a auxiliar na obtenção do balanceamento das

emissões de gases estufas, em relação com a matriz energética brasileira, que caracteriza o conceito de energia zero.

5.10.2 Análise Conceitual

A escolha pela utilização de uma configuração estrutural em madeira, definido após Avaliação de Ciclo de Vida da residência projetada, norteou uma análise preliminar e conceitual da configuração estrutural da residência, em que se resiste às principais cargas e carregamentos da estrutura.

Para isso, foi idealizado uma estrutura reticulada, de modo a garantir uma racionalização estrutural, simplificada, sem prejudicar os espaços vazios. Nessa análise, portanto, foi considerada algumas especificidades da estrutura, tais como:

- Dificuldade na utilização de pórticos com travamentos, por conta das aberturas presentes na maioria das fachadas;
- Presença de vigas em balanço na fachada norte e na fachada sul, na área correspondente aos quartos;
- Atenção à fachada leste, em função da viga em que se apoia a escada, que deve resistir a um vão de 10m.

Dessa forma, definiu-se a configuração conceitual da estrutura, conforme apresentada na Figura 5.17.

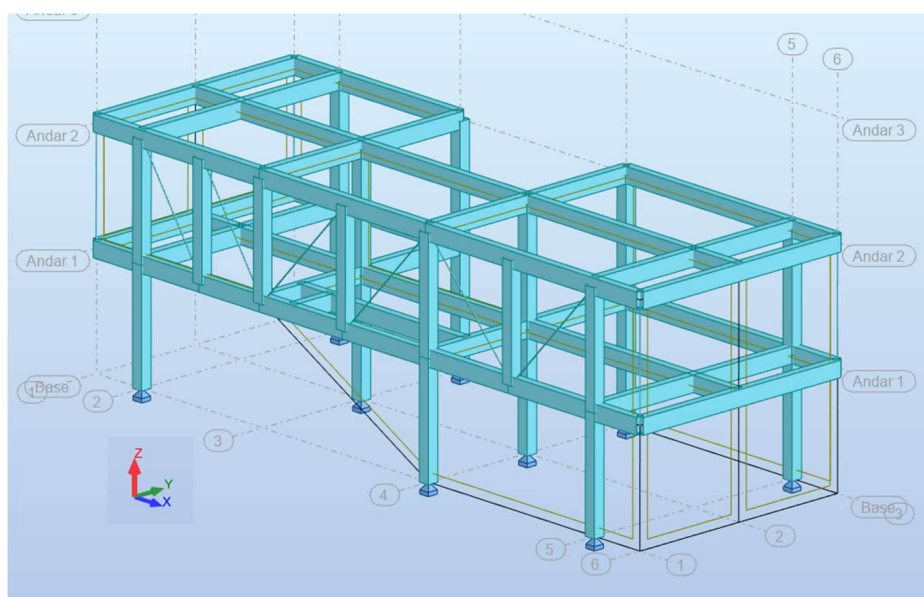


Figura 5.17 - Modelo estrutural tridimensional, representando as seções estruturais

Fonte: Autores (2019)

Nessa configuração, foram consideradas algumas soluções para os problemas previamente destacados:

- Utilização de estrutura treliçada na fachada leste, para distribuir melhor os esforços, garantindo resistência à viga mais crítica, em que se apoia a escada e possui vão de 10m;
- As treliças para o travamento desta estrutura treliçada serão compostas de cabos de aço, pois são mais esbeltos que travamentos em madeira;
- Utilização de cabos de aço, com a função de tirantes, para garantir resistência às vigas em balanço nas fachadas norte e sul;
- Estrutura reticulada composta de pilares e vigas em Madeira Laminada Colada (MLC) e lajes, em Madeira Laminada Cruzada (CLT);
- Pontos fixos rígidos para estabilidade nas ligações entre estrutura e fundação.

5.10.3 Dimensionamento

Após a realização de uma análise preliminar e conceitual da configuração estrutural da residência, pôde-se modelar a estrutura através de um modelo linear, de modo a possibilitar a determinação de seus esforços solicitantes. Essa configuração estrutural apresentada na Figura 5.18.

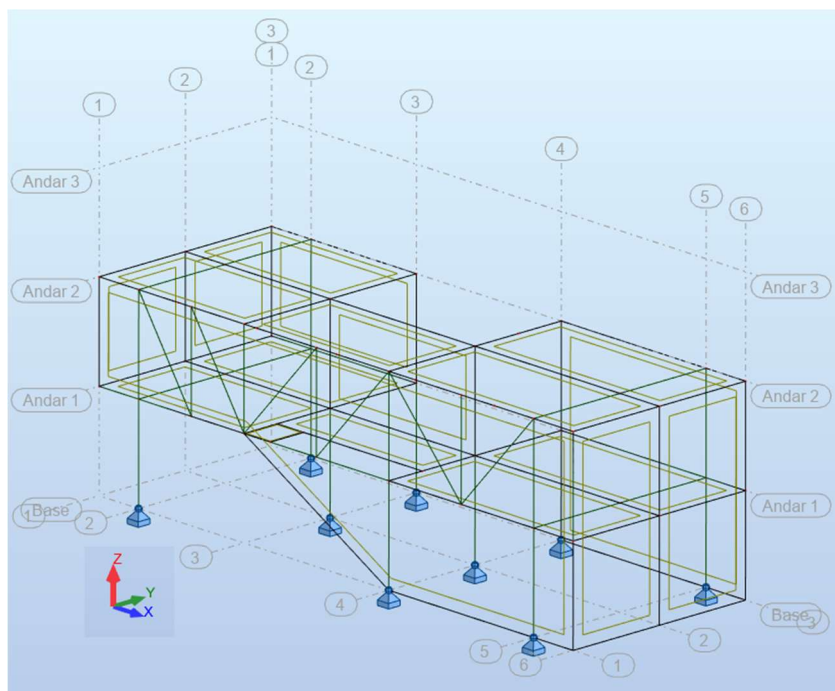


Figura 5.18 - Modelo linear estrutural

Fonte: Autores (2019)

Essa configuração estrutural apresenta o posicionamento de seus principais elementos: pilares, vigas, lajes e elementos de treliça. Esse modelo foi elaborado com auxílio do *software* Autodesk Robot. Através dele, pode-se definir as superfícies de carregamento, assim como também atribuir a elas os carregamentos característicos da estrutura: como o peso próprio da laje, sobrecarga e pressões geradas pelo vento, por exemplo. Isso permite a realização do dimensionamento de todos os seus elementos.

Vale ressaltar que o procedimento de cálculo, associado ao software em questão, utiliza a norma americana: a *National Design Specification (NDS) for Wood Construction*, criada pela *American Wood*. Ao término da modelagem da estrutura, realiza-se uma verificação automática do modelo estrutural modelado.

Para esse modelo conceitual da estrutura, considerou-se a utilização de três tipos de elementos estruturais na composição da residência:

- Pilares e vigas: em Madeira Laminada Colada (MLC), com seção retangular de 20x40cm
- Lajes: em Madeira Laminada Cruzada (CLT), com espessura de 10cm;
- Elementos de treliça: em barras de aço, com seção circular de 3cm de diâmetro.

A Madeira Laminada Colada é utilizada frequentemente como viga ou coluna. As lâminas de madeiras são coladas justapostas com as fibras longitudinalmente. Deste modo, a anisotropia favorece o atendimento das maiores solicitações, tais como momentos fletores e forças normais. A Madeira Laminada Cruzada (CROSSLAM ou CLT), no entanto, é utilizada na forma de painéis. As lâminas de madeira são coladas alternadamente com fibras transversais, fornecendo assim um comportamento isotrópico na placa.

A partir da definição desses elementos estruturais, introduz-se ao modelo elaborado no Robot as características específicas para cada um deles. Para o dimensionamento dos pilares e vigas, foi utilizado o material GL Timber ER HARDWOODS H18 (A 1.8E3) 2LAM apresentado na Figura 5.19. Já para os elementos de treliça, foi considerado o material STEEL, aço americano disponibilizado pelo software, também apresentado na Figura 5.19.

Definição de material

Madeira | Aço | Concreto | Alumínio | Outros

Nome: GL ER HARDWOODS H18 (v) | Descrição: 5D GL Timber ER HARDWOODS H18 (A 1.8E)

Comum

Peso específico: 6,55 (kN/m³)

Categoria: Postes ASTM D3200 - Guia 6B (v)

Dimensões

Profundidade mín.: (cm) | Profundidade máx.: (cm) | Largura mín.: (cm) | Largura máx.: (cm)

Módulos de força e elasticidade (MPa)

Tensão paralela à fibra: Ft = 7,93

Compressão paralela à fibra: Fc = 12,76

Flexão em torno de Y | Flexão em torno de Z

Dobra - parte inferior da viga na: Fby+ = 10,00

Dobra - parte inferior da viga em: Fby- = 10,00

Cisalhamento paralelo à fibra: Fvy = 1,38

Compressão perpendicular - face de: Fcpty = 0,00

Compressão perpendicular - face de: Fcpcy = 7,00

Módulo de elasticidade - para: Ey = 11721,09

Módulo de elasticidade - para a: Eymin = 6067,39

Adicionar | Excluir | OK | Cancelar | Ajuda

Definição de material

Aço | Concreto | Alumínio | Madeira | Outros

Nome: STEEL (v) | Descrição: Carbon Fy 36 ksi

Elasticidade

Módulo de Young, E: 199947,97 (MPa)

Coefficiente de Poisson, v: 0,3

Módulo de cisalhamento, G: 76904,12 (MPa)

Peso específico (peso): 76,97 (kN/m³)

Coef. de expansão térmica: 0,000012 (1/°C)

Relação de amortecimento: 0,06

Resistência

Características: 248,21 (MPa)

Fator de redução de cisalh.: 1,66

Resistência limite da tensão: 399,90 (MPa)

☒ Aço recozido

Adicionar | Excluir | OK | Cancelar | Ajuda

Figura 5.19 - Definição da MLC e do aço de escolha para a modelagem e suas propriedades

Fonte: Autores (2019)

A partir dessa escolha de materiais, importa-se o catálogo de perfis da base de dados NDS, conforme ilustrado na Figura 5.20. Isso é essencial para possibilitar a verificação automática da estrutura, em conformidade com o tipo de material e de suas seções utilizadas. Nesse caso, esse catálogo foi utilizado apenas como referência, pois as seções foram personalizadas para adequação às características dimensionais e estruturais definidas em projeto.

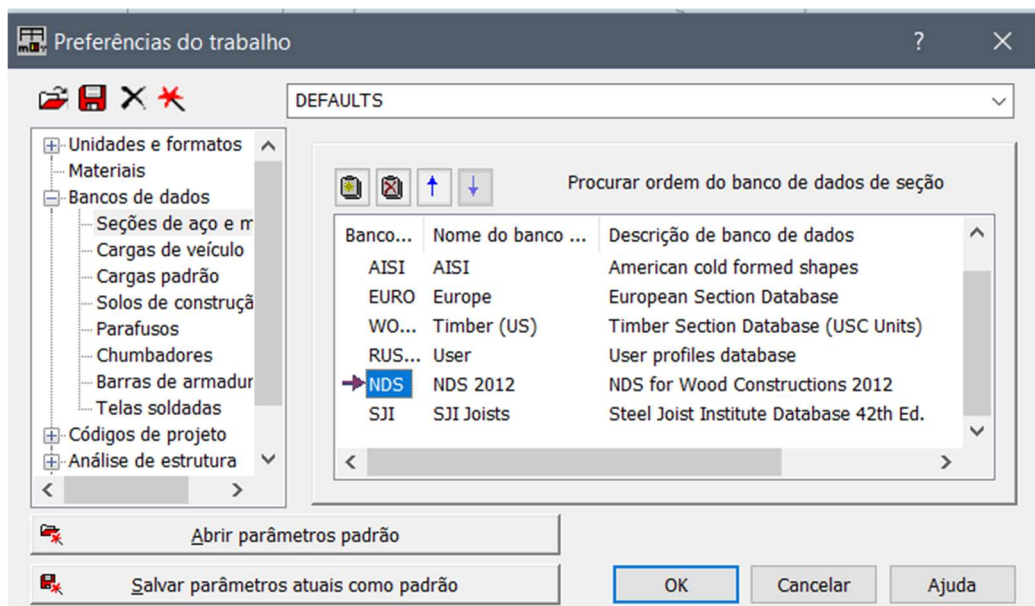


Figura 5.20 – Importação do catálogo NDS com banco de dados de perfis

Fonte: Autores (2019)

Então, definiu-se diferentes tipos de carga, considerando as aplicações do modelo estrutural. Para isso, utilizou-se as recomendações de ações da NBR 6.123 (ABNT, 1988), NBR 7.190 (ABNT, 1997) e do Eurocode 0 (Bsi, 1990). Os tipos considerados, assim como a natureza específica para cada uma delas, definidas para o dimensionamento estrutural foram (conforme apresentado na Figura 5.21):

- Peso Próprio (PP)
- Revestimento (REV)
- Alvenaria (ALV)
- Sobrecarga (SC)
- Vento (VENTO1)
- Último C
- Serviço

Tipos de carga

Descrição do caso

Número: 1 Legenda: SC

Natureza: morto

Nome: PP

Adicionar Modificar

Lista de casos definidos:

Nº.	Nome do caso	Natureza
1	PP	morto
2	REV	morto
3	ALV	morto
4	SC	morto
5	VENTO1	vento
6	Último c	morto
7	Serviço	morto
8		
9		

Excluir Excluir tudo

Fechar Ajuda

Figura 5.21 - Lista dos tipos de carga considerados e suas naturezas

Fonte: Autores (2019)

Vale ressaltar que as combinações de carga foram estabelecidas de acordo com as recomendações da NBR 7.190 (ABNT, 1997) e Eurocode 5 (European Standard, 1995). Nesse caso, foram utilizados os seguintes carregamentos:

- Carregamentos permanentes (G): peso-próprio das vigas e pilares (MLC), lajes (CLT), os revestimentos e a alvenaria.
- Carregamento acidental (Q): sobrecarga.
- Carregamento pela pressão de vento (V).

A composição de cada uma dessas combinações está apresentada na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Composição das combinações de carregamentos considerados

Fonte: Autores (2019)

Combinação	Ponderação	Duração
Último C	$1,35G + 1,5(Q + 0,6V)$	Curta-duração
Último D	$1,35G + 1,5V$	Curta-duração
Serviço	$G + 0,2V$	Deformação instantânea

O valor do peso próprio das vigas e colunas é determinado com auxílio do *software* Robot, através da importação dos materiais da base de dados NDS 2012 (ANSI/AWC), conforme apresentado anteriormente. No caso, o peso específico das lajes de CLT foi considerado de 6 kN/m^3 , com espessura de 10 cm, resultando em $0,6 \text{ kN/m}^2$.

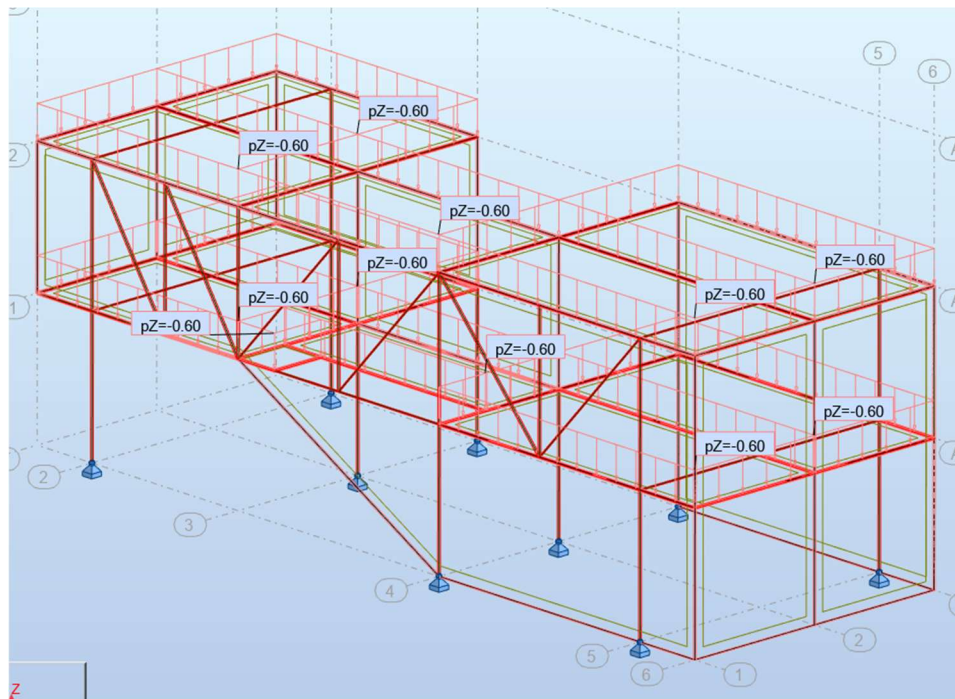


Figura 5.22 - Carregamento do peso próprio (PP)

Fonte: Autores (2019)

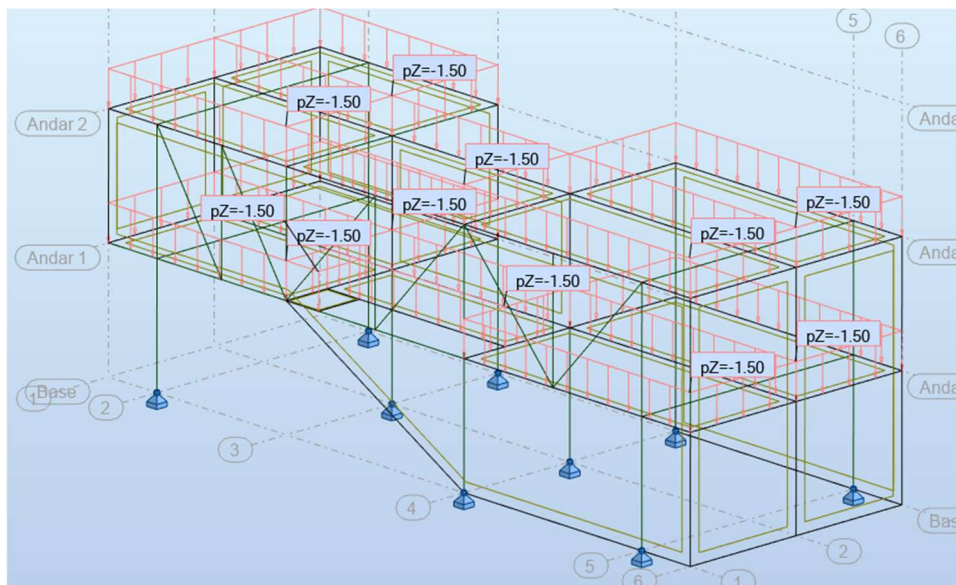


Figura 5.23 - Carregamento do revestimento (REV)

Fonte: Autores (2019)

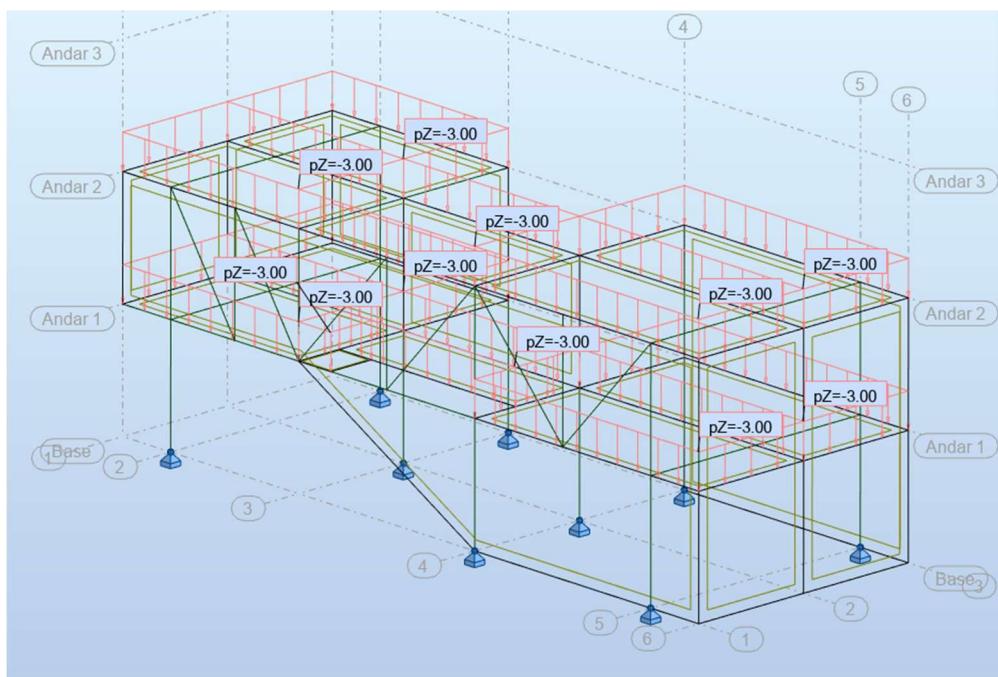


Figura 5.24 - Carregamento da sobrecarga (SC)

Fonte: Autores (2019)

Como já apresentado anteriormente, os esforços de vento foram determinados com base nas recomendações da NBR 6.123 (ABNT, 1988). A velocidade de vento médio considerado em Ribeirão Preto é $V_0 = 35 \text{ m/s}$. Já os fatores aplicados para redução na consideração dos ventos são:

- $S_1 = 1$, fracamente acidentado.
- $S_2 = 0,94$ (considerando Categoria 3, classe A).
- $S_3 = 1$ (considerando Grupo 3, para residências).

Assim, estima-se uma velocidade do vento resultante de:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 = 32,9 \text{ m/s.}$$

De modo que a carga seja:

$$q = 0,613 * (32,9)^2 = 663,5 \text{ N/m}^2$$

Os fatores de distribuição dessa carga, para cada região da residência, são ilustrados na Figura 5.25 e elencados na Tabela 5.2.

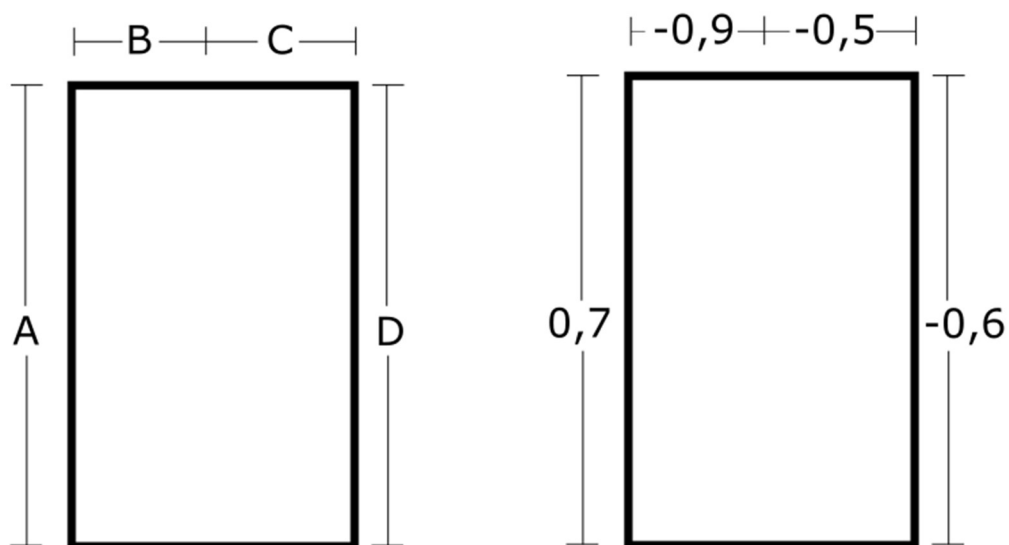


Figura 5.25 - Superfícies e fatores da pressão de vento

Fonte: Autores (2019)

Tabela 5.2 - Cargas de pressão do vento em cada superfície

Fonte: Autores (2019)

Superfície	Fator	Carga
		kN/m ²
A	0,7	464,45
B	-0,9	-597,15
C	-0,5	-331,75
D	-0,6	-398,1

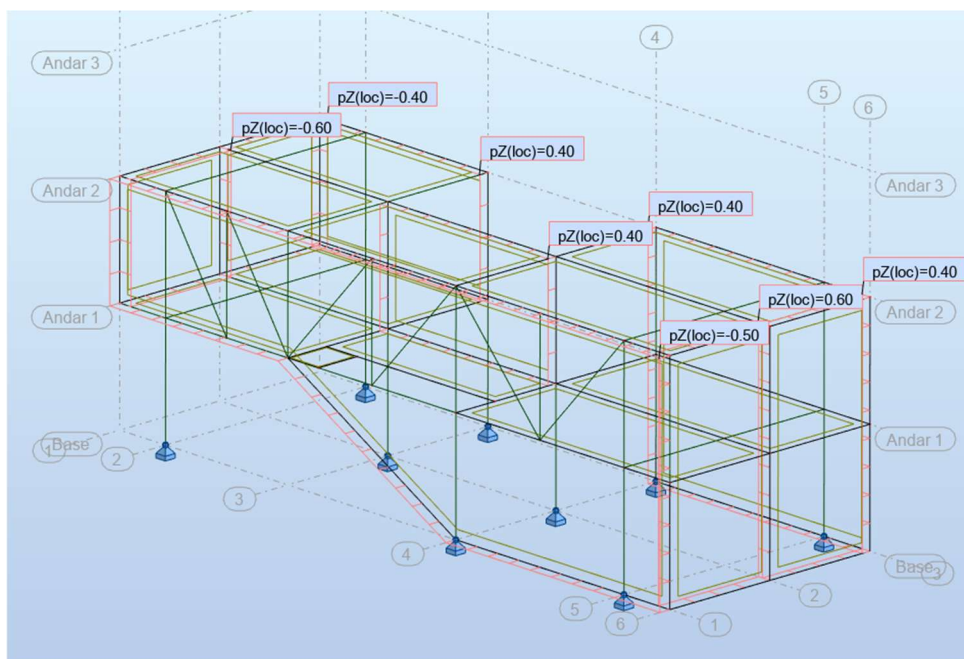


Figura 5.26 - Carregamento do vento (VENTO)

Fonte: Autores (2019)

Realizou-se então os cálculos através do *software* Robot, de modo a obter as solicitações de momentos fletores, forças normais e cortantes nas seções dos membros para todos os tipos de carregamentos. A Figura 5.27, Figura 5.28 e Figura 5.29, ilustram os esforços obtidos para o carregamento Último C definido anteriormente.

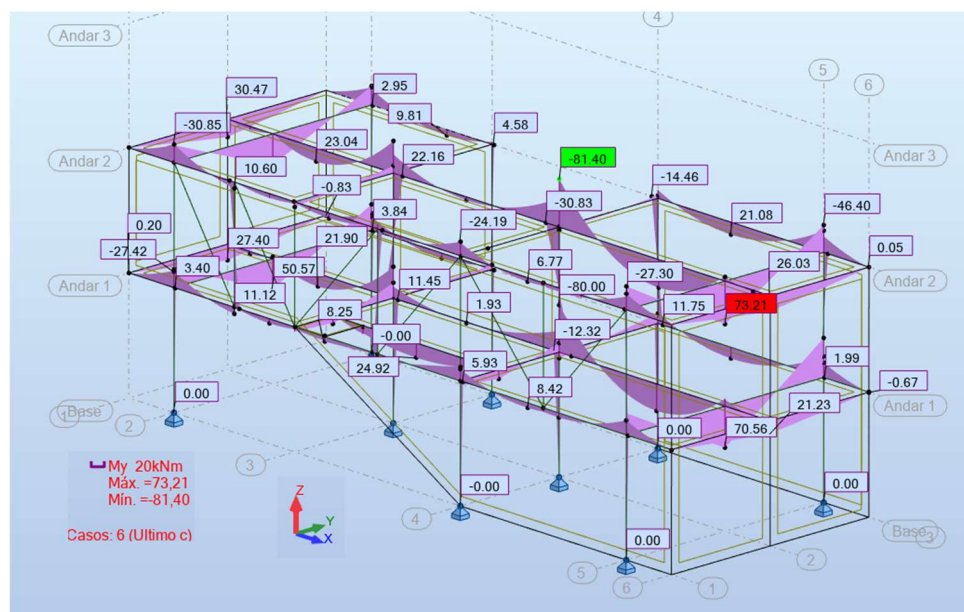


Figura 5.27 - Momentos fletores (My) no caso de carregamento Último C

Fonte: Autores (2019)

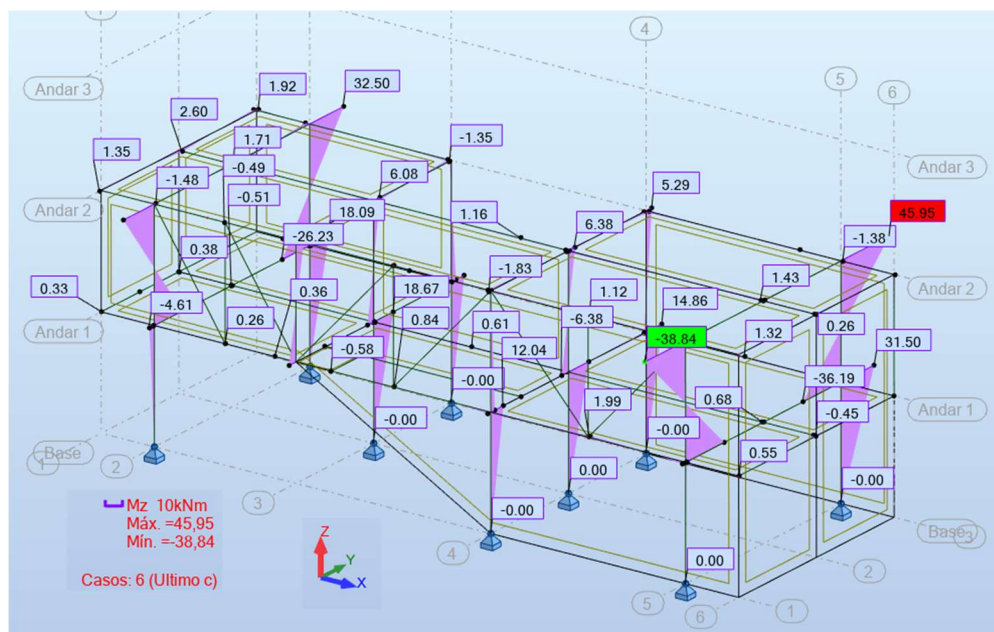


Figura 5.28 - Momentos fletores (M_z) no caso de carregamento Último C

Fonte: Autores (2019)

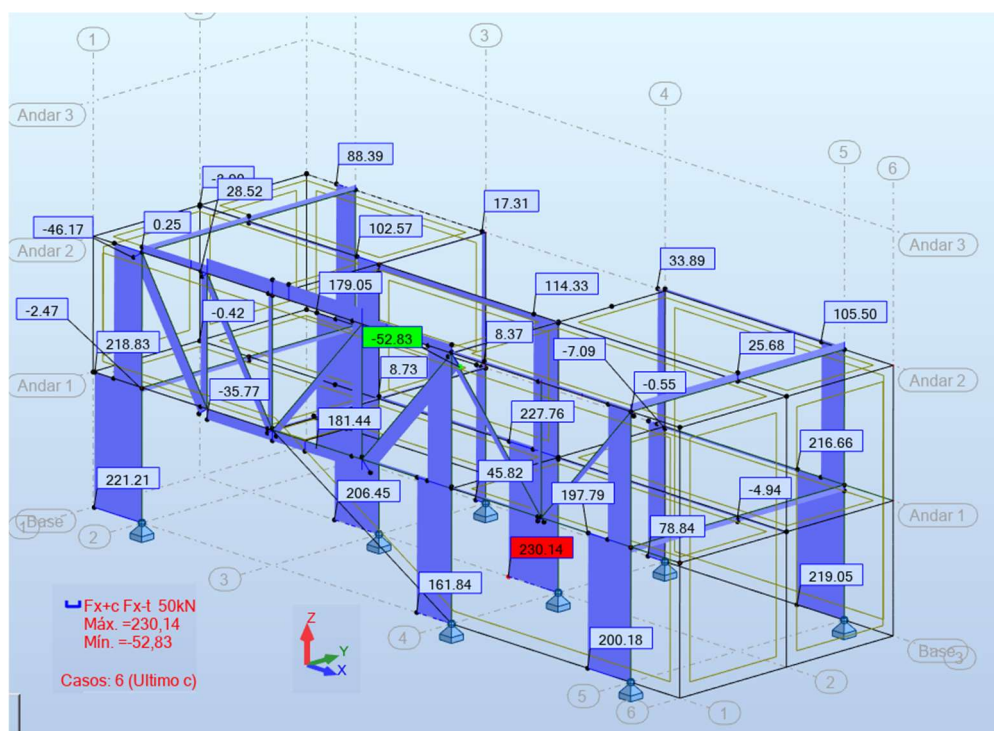
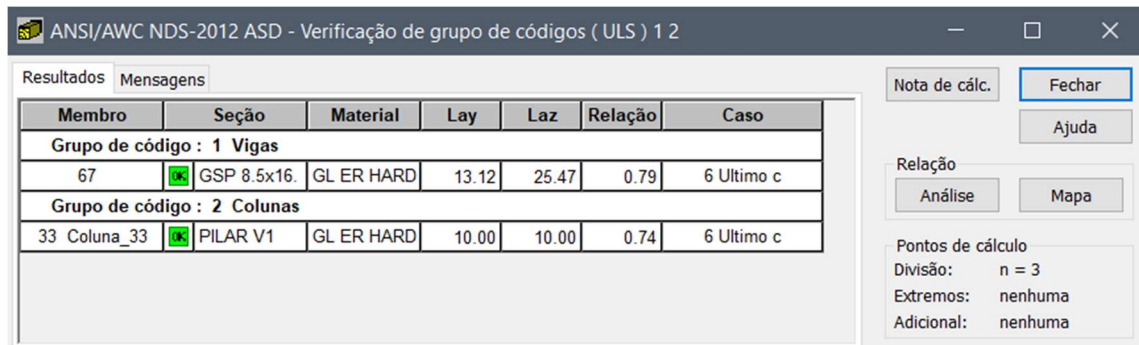


Figura 5.29 - Forças normais (N_x) no caso de carregamento Último C

Fonte: Autores (2019)

Ao final, executou-se a verificação automática do Robot, a partir das normas americanas, conforme apresentado anteriormente, o que resultou em um resultado positivo para as seções

escolhidas, conforme ilustrado na Figura 5.30. A verificação foi realizada para o caso de carregamento Último C, identificado pelo *software* como o mais crítico, estruturalmente. Os elementos em destaque (Figura 5.30) são os casos mais críticos da estrutura detectados.



Membro	Seção	Material	Lay	Laz	Relação	Caso
Grupo de código : 1 Vigas						
67	GSP 8.5x16.	GL ER HARD	13.12	25.47	0.79	6 Ultimo c
Grupo de código : 2 Colunas						
33 Coluna_33	PILAR V1	GL ER HARD	10.00	10.00	0.74	6 Ultimo c

Nota de cálc. Fechar
Ajuda

Relação
Análise Mapa

Pontos de cálculo
Divisão: n = 3
Extremos: nenhuma
Adicional: nenhuma

Figura 5.30 - Forças normais (Nx) no caso de carregamento Último C

Fonte: Autores (2019)

RESULTADOS - Código - ANSI/AWC NDS-2012 ASD

Grupo: 2 Colunas
Barra: 33 Coluna_33
Ponto/coordenada: 3 / x = 1.00 L = 3.00 m
Caso de carga: 6 Ultimo c 5*0.60+4*1.50+(1+2+3)*1.35

Seção OK

PILAR V1

Auto

OK

Alterar

Resultados simplificados Resultados detalhados

PARÂMETROS DO MEMBRO

DEFORMAÇÃO Y	DEFORMAÇÃO Z	LATERAL-DEFORMAÇÃO TORSIONAL
Key = 1.00	Kez = 1.00	lu = 3.00 m
ley = 3.00 m	lez = 3.00 m	let = 5.52 m
ley/d = 10.00	lez/b = 10.00	RB = 4.29
CPy = 0.90	CPz = 0.90	CL = 1.00
FcEy = 49.87 MPa	FcEz = 49.87 MPa	FbE = 395.70 MPa

FORÇAS INTERNAS E RESISTÊNCIAS REAIS

N = 105.50 kN	My = 10.12 kN*m	Mz = 45.95 kN*m	Vy = 6.54 kN	Vz = -26.91 kN
fc = 1.17 MPa	fby = 2.25 MPa	fbz = 10.21 MPa	fvy = 0.11 MPa	fvz = -0.45 MPa
Mx = 0.00 kN*m			fvy = 0.00 MPa	fvz = 0.00 MPa

FORÇAS DO PROJETO DE MADEIRA

$F_c' = F_c(12.76) * CD(1.60) * Ct(1.00) * Cct(1.00) * Ccs(1.04) * Cls(1.11) * CP(0.90) = 21.20 \text{ MPa}$
 $F_b' = F_b(10.00) * CD(1.60) * Ct(1.00) * Cct(1.00) * CF(1.00) * Cls(1.08) = 17.24 \text{ MPa}$
 $F_v' = F_v(1.38) * CD(1.60) * Ct(1.00) * Cct(1.00) = 2.21 \text{ MPa}$
 $E_{min}' = E_{min}(6067.39) * Ct(1.00) = 6067.39 \text{ MPa}$

RESULTADOS

$(f_c/F_c')^2 + f_{by}/(F_b' * (1 - f_c/F_{cEz} - (f_{by}/F_{bE})^2)) = 0.74 < 1.00 \text{ [3.9-3]} \text{ OK!}$
 $f_c/F_{cEz} + (f_{by}/F_{bE})^2 = 0.02 < 1.00 \text{ [3.9-4]} \text{ OK!}, f_c/F_{cEz} = 0.02 < 1.00 \text{ [3.9.2]} \text{ OK!},$
 $(f_{vy} + 3/2 * f_{vty})/F_v' = 0.05 < 1.00 \text{ [3.4.1]} \text{ OK!}, (f_{vz} + 3/2 * f_{vtz})/F_v' = 0.20 < 1.00 \text{ [3.4.1]} \text{ OK!}$

ley/d = 10.00 < 50.00 ESTÁVEL, lez/b = 10.00 < 50.00 ESTÁVEL, Rb = 4.29 < 50.00 ESTÁVEL

Forças

Nota de cálc.

Ajuda

Figura 5.32 – Resultados do código de verificação para os pilares

Fonte: Autores (2019)

5.10.4 Verificação

A verificação de adequação da estrutura para as combinações de carregamentos recomendados pela NBR 7.190 (ABNT, 1997) e o Eurocode 5 (European Standard, 1995) foi realizada de forma automática pelo software Robot, que já possui rotina de verificação específica pra estruturas de madeiras. Contudo, o seu procedimento de verificação segue as recomendações propostas pela norma americana NDS (2012).

Portanto, foi elaborado um algoritmo em Matlab, de modo a também realizar a verificação estrutural dos pilares e vigas definidos para o projeto da residência, em conformidade com as recomendações definidas pela norma europeia, Eurocode 5 (European Standard, 1995), uma vez que a norma brasileira NBR 7.190 (ABNT, 1997) não contempla madeira laminada colada (MLC).

5.10.4.1 Fatores de influência sobre as propriedades da madeira

Qualquer propriedade de resistência da madeira possui seu valor de projeto (X_d) calculado a partir da redução de seu valor característico (X_k), através da utilização de um coeficiente de redução (γ_M) e de um coeficiente de modificação (k_{mod}). A Eq.1 representa essa definição:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

- Coeficiente de redução (γ_M) é referente ao tipo de madeira utilizado no dimensionamento, definido a partir da Tabela 5.3. No caso de madeira laminada colada, utiliza-se 1,25.

Tabela 5.3 - Coeficiente de redução (γ_M) para cada caso

Fonte: Sartorelli, 2018

Combinações fundamentais	
Madeira Maciça	1.30
MLC	1.25
Conexões	1.30
Combinações acidentais	1.00

- Coeficiente de modificação (k_{mod}) é referente à relação entre a Classe de Serviço (Tabela 5.4) e a Duração da Ação (Tabela 5.5), definido a partir da Tabela 5.6.

Tabela 5.4 - Classe de Serviço

Fonte: Sartorelli, 2018

Classe de Serviço	Umidade do Ar Relativa	Umidade da Madeira
1	> 65% em poucas semanas do ano	< 12% em geral
2	> 85% em poucas semanas do ano	< 20% em geral
3	> 85% por maiores períodos	> 20%

Tabela 5.5 - Classe de Duração da Ação

Fonte: Sartorelli, 2018

Classe de Duração da Ação	Duração da Ação	Exemplos de Ações
Permanente	mais de 10 anos	Peso Próprio
Longa Duração	6 meses - 10 anos	Depósito
Média Duração	1 semana - 6 meses	Acidental Sobre Pisos, Neve
Curta Duração	menos de 1 semana	Neve, Vento
Instantânea		Vento, Acidentais

Tabela 5.6 - Coeficiente de modificação (k_{mod}) para MLC

Fonte: Sartorelli, 2018

Material	Classe de Serviço	Classe de Duração da Ação				
		Permanente	Longa	Média	Curta	Instantânea
Madeira Maciça ou Madeira Laminada Colada	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	3	0,50	0,55	0,55	0,70	0,90

No caso do projeto, utiliza-se um coeficiente (k_{mod}) de valor 0,5, correspondente à Classe de Serviço 3 e a Classe de Duração da Ação permanente.

5.10.4.2 Coeficiente de fluência sobre a deformação

Deve-se considerar um coeficiente de fluência (k_{def}), por conta da umidade e da duração das ações, na análise do Estado Limite de Serviço (ELS) e do Estado Limite Último (ELU), de acordo com a Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Coeficiente de fluência (k_{def})

Fonte: Sartorelli, 2018

Material	Classe de Serviço	Valores do coeficiente de Fluência (k_{def})
Madeira Maciça ou Madeira Laminada Colada	1	0,60
	2	0,80
	3	2,00

Assim, tem-se:

- ELS:

$$E_{médio,final} \leq \frac{E_{médio}}{(1+k_{def})} \quad \text{Eq. 2}$$

$$G_{médio,final} \leq \frac{G_{médio}}{(1+k_{def})} \quad \text{Eq. 3}$$

$$K_{médio,final} \leq \frac{K_{médio}}{(1+k_{def})} \quad \text{Eq. 4}$$

- ELU:

$$E_{médio,final} \leq \frac{E_{médio}}{(1+k_{def})} \quad \text{Eq. 5}$$

$$G_{médio,final} \leq \frac{G_{médio}}{(1+k_{def})} \quad \text{Eq. 6}$$

$$K_{médio,final} \leq \frac{K_{médio}}{(1+k_{def})} \quad \text{Eq. 7}$$

Em que o fator ψ_2 corresponde à ação responsável por maior solicitação ou resistência na combinação de cargas quase-permanente. Como foi considerado o caso de Ação Permanente, utiliza-se $\psi_2 = 1$.

5.10.4.3 Verificação dos perfis para Estado Limite Último (ELU)

5.10.4.3.1 Tração paralela à fibra

Para verificação dos esforços de tração, deve-se satisfazer a seguinte expressão:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad \text{Eq. 8}$$

Em que:

- $\sigma_{t,0,d}$ é a tensão de tração de projeto paralela à fibra;
- $f_{t,0,d}$ é a resistência de projeto à tensão paralela à fibra.

5.10.4.3.2 Compressão perpendicular à fibra

Para verificação de compressão perpendicular à fibra, deve-se satisfazer a seguinte expressão:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad \text{Eq. 9}$$

De modo que:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad \text{Eq. 10}$$

Em que:

- $\sigma_{c,90,d}$ é a tensão de compressão perpendicular à fibra;
- $k_{c,90}$ é o fator que considera a possibilidade de ruptura (equivalente a 1,5 para o caso de MLC);
- $f_{c,90,d}$ é a resistência da madeira para compressão perpendicular à fibra;
- $F_{c,90,d}$ é a força resultante aplicada perpendicularmente à fibra;
- A_{ef} é a área efetiva determinada através do comprimento efetivo de distribuição da força.

5.10.4.3.3 Compressão paralela à fibra

Para verificação de compressão paralela à fibra, deve-se avaliar a instabilidade da estrutura à flambagem. Para isso, é necessária uma análise inicial da esbeltez do perfil em suas duas direções principais de inércia, através das Eq. 11 e Eq. 12:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{Eq. 11}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{Eq. 12}$$

Em que:

- λ_y e λ_z representam a esbeltez da estrutura;
- $f_{c,0,k}$ é a resistência à compressão característica paralela à fibra;
- $E_{0,05}$ é o quinto valor percentual do módulo de elasticidade paralelo à fibra.

Caso a esbeltez do perfil resultante seja inferior a 0,3, não há necessidade de se considerar efeitos de instabilidade por flambagem, de modo que a condição de segurança é fornecida pela expressão abaixo:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad \text{Eq. 13}$$

Em que:

- $\sigma_{c,0,d}$ é a resistência à compressão de projeto paralela à fibra;
- $f_{c,0,d}$ é a resistência à compressão de projeto paralela à fibra.

Caso contrário, deve-se incluir um fator de redução de resistência devido à instabilidade a flambagem, definido pelas Eq. 14 e Eq. 15:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2)}} \quad \text{Eq. 14}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{(k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2)}} \quad \text{Eq. 15}$$

De modo que:

- β é 0,1 para MLC
- k_y e k_z sejam determinados por:

$$k_y = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3)) + \lambda_{rel,y}^2 \quad \text{Eq. 16}$$

$$k_z = 0,5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3)) + \lambda_{rel,z}^2 \quad \text{Eq. 17}$$

Ao final, deve-se respeitar a expressão abaixo:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \cdot f_{c,0,d} \quad \text{Eq. 18}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \cdot f_{c,0,d} \quad \text{Eq. 19}$$

5.10.4.3.4 Flexão

Para vigas sujeitas a esforços de flexão, deve ser verificado a possibilidade de instabilidade lateral à torção a partir da esbeltez relativa à flexão definida pela Eq. 20:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad \text{Eq. 20}$$

Em que:

- $\lambda_{rel,m}$ é a esbeltez relativa à flexão;
- $f_{m,k}$ é a resistência característica à flexão;
- $\sigma_{m,crit}$ é a tensão de flexão crítica, que é definida por:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y} \quad \text{Eq. 21}$$

Em que:

- $E_{0,05}$ é o valor do quinto percentil do módulo de elasticidade paralelo à fibra;
- $G_{0,05}$ é o valor do quinto percentil do módulo de cisalhamento paralelo à fibra;
- I_z é o momento de inércia à flexão no eixo de menor inércia;
- I_{tor} é o momento de inércia à torção;
- W_y é o módulo de inércia em torno do eixo y, que consiste no eixo principal de inércia em que se é realizada a análise de estabilidade;
- l_{ef} é o comprimento efetivo da viga, conforme apresentado na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Relação entre comprimento efetivo e o comprimento real para diferentes tipos de ações

Autor: Sartorelli, 2018

Tipo de Viga	Tipo de Ação	l_{ef}/l
Bi-apoiada	Momento concentrado	1.0
	Carregamento distribuído	0.9
	Força Pontual	0.8
Em balanço	Carregamento distribuído	0.5
	Força Pontual	0.8

Contudo, para vigas retangulares, que é o caso do projeto, pode-se simplificar a Eq. 22 da tensão de flexão crítica para:

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \frac{b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} \quad \text{Eq. 22}$$

Em que:

- b é a largura da viga;
- h é a altura da viga,

Caso a esbelteza relativa à flexão ($\lambda_{rel,m}$) seja inferior a 0,75, não se considera os efeitos de instabilidade lateral à torção, de modo que se deve respeitar as seguintes expressões:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 23}$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 24}$$

Em que:

- $\sigma_{m,y,d}$ é a tensão e a resistência à flexão no eixo principal de inércia y;
- $\sigma_{m,z,d}$ é a tensão e a resistência à flexão no eixo principal de inércia z;
- k_m é um fator de ponderação, equivalente a 0,7 para vigas retangulares.

Caso contrário, os efeitos de instabilidade lateral devem ser considerados, de modo que se deve respeitar a seguinte expressão:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 25}$$

Em que:

- k_{crit} é fator de correção para situação crítica, definido por:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1,56 - 0,7\lambda_{rel,m} & 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \lambda_{rel,m} \geq 1,4 \end{cases}$$

5.10.4.3.5 Flexo-Compressão

Para verificação de por flexo-compressão, deve ser considerado efeitos de segunda ordem decorrentes da deslocabilidade da estrutura e possibilidade de flambagem. Para isso, os elementos estruturais devem satisfazer as seguintes expressões:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 26}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{Eq. 27}$$

5.10.4.3.6 Cortante

Para verificação de esforços por força cortante, deve-se satisfazer a seguinte expressão:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \text{Eq. 28}$$

Em que:

- $f_{v,d}$ é a resistência ao cisalhamento de projeto;
- τ_d é a tensão de cisalhamento de projeto, definido por:

$$\tau_d = \frac{V_d}{hb_{ef}} \quad \text{Eq. 29}$$

De tal que modo que:

- V_d é a força cortante de projeto;
- h é a altura da viga;
- b_{ef} é a largura efetiva dada pela ponderação da largura, com influência de fissuras, definido por:

$$b_{ef} = k_{crit} b \quad \text{Eq. 30}$$

Com:

- k_{crit} fator de ponderação por influência de fissura, que vale 0,67 para MLC;

5.10.4.4 Verificação dos perfis para Estado Limite de Serviço (ELS)

O Estado Limite de Serviço para as estruturas é verificado através do seu deslocamento, caracterizado por três momentos:

- w_{inst} é a deformação instantânea da viga;
- w_{final} é a deformação total da estrutura, definida por:

$$w_{final} = w_{inst} + w_{creep} \quad \text{Eq. 31}$$

Em que:

- w_{creep} é a deformação a longo prazo;
- $w_{net,final}$ é a deformação final da viga, em longo prazo, que pode ser igual a w_{final} em caso da inexistência de contra-flecha.

5.10.4.5 Resultados da verificação

O algoritmo foi utilizado para a verificação de todos os elementos estruturais do projeto (pilares, vigas e treliças) em sua situação mais crítica, através dos diagramas de esforços resultantes da modelagem realizada no software Robot.

Foi verificado que, com exceção de 2 vigas, todos os elementos estruturais estavam em conformidade com o método de verificação de ELU e ELS definidos pelo Eurocode 5 (European Standard, 1995) e pela NBR 7.190 (ABNT, 1997). Nesse caso, as duas vigas não atendiam ao critério de flexo-compressão do ELU. Elas estão identificadas na Figura 5.33.

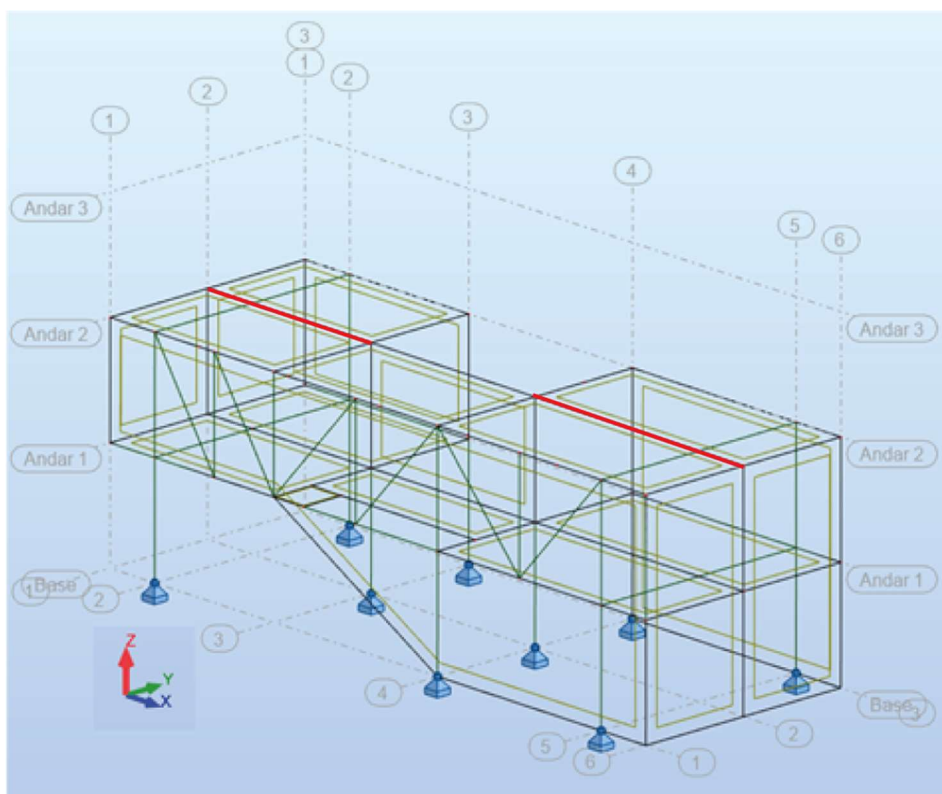


Figura 5.33 - Indicação das vigas que não atenderam às normas no processo de verificação estrutural

Fonte: Autores (2019)

Para a resolução desse problema, optou-se pelo aumento da altura da seção transversal dessas duas únicas vigas, em 5cm, de modo que tivessem seção de 20x45cm. Isso garantiu a verificação de toda a estrutura da residência no atendimento aos critérios de ELU e ELS.

5.10.5 Conexões de madeira

A transmissão dos esforços é essencial para o trabalho conjunto da estrutura. As conexões de madeira ditam as interações entre os membros e devem representar a concepção estrutural. Isto é, definem-se, por exemplo, através dessas ligações se estrutura deve se comportar como uma rótula ou como uma ligação rígida.

Este projeto estrutural apresenta conexões diversas. Os múltiplos andares precisam de soluções adequadas que possam acomodar as vigas de MLC e lajes de CLT. Além do sistema viga-coluna, a fachada principal é uma treliça de madeira com tirantes metálicos, acrescentando mais elementos à sua complexidade.

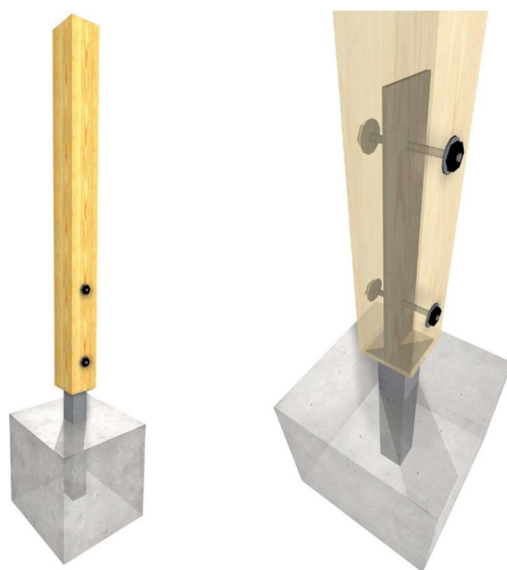


Figura 5.34 - Exemplo de pilar resistente às cargas laterais

Fonte: Arauco, (2019), disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco>

Ligações metálicas apresentam-se como soluções populares para esta função. Não somente devido à sua leveza e resistência, mas também pela maleabilidade de atender diversas demandas geométricas. A Figura 5.34 define uma conexão metálica tipo *insert* no pilar de madeira

Conexões viga-viga mostram-se em conexões de chapa interna (Figura 5.35) ou externas (Figura 5.36). Enquanto que o esquema geral de conexões é ilustrado na Figura 5.37.

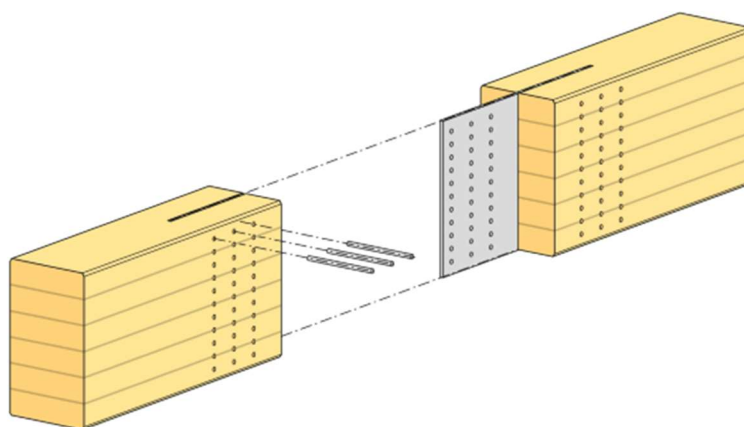


Figura 5.35 – Exemplo de conexão viga-viga com chapa metálica interna

Fonte: Design Solutions, Setra (2019)

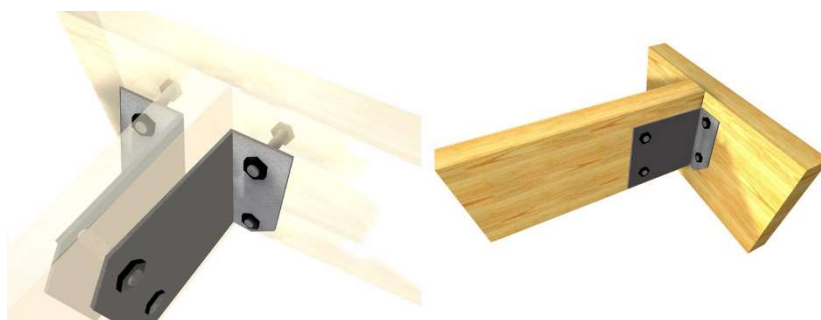


Figura 5.36 - Exemplo de conexão viga-viga transversal com chapa metálica externa

Fonte: Arauco (2019), disponível em <https://www.archdaily.com.br/br/867547/15-conexoes-metalicas-para-estruturas-de-madeira-laminada-arauco>

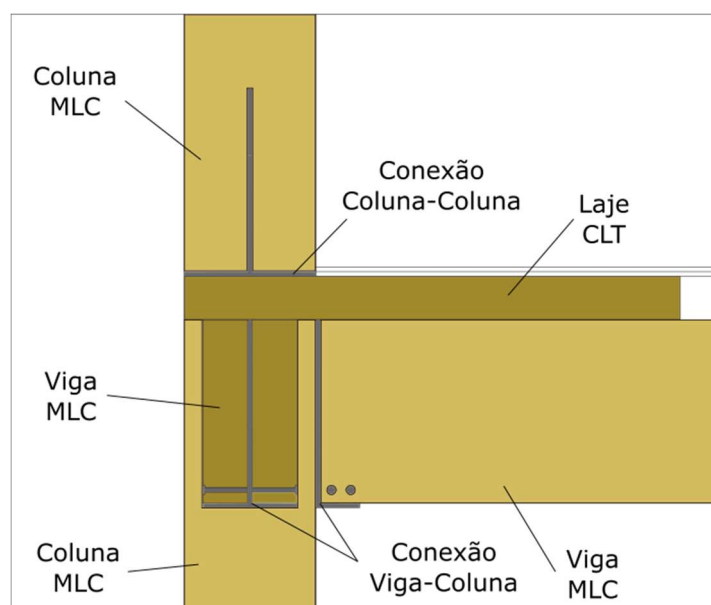


Figura 5.37 - Exemplo de conexão com duas conexões viga-pilar, acomodação da laje CLT e emenda da coluna

Fonte: Autores, 2019

No escopo deste projeto não serão dimensionadas e verificadas tais conexões e detalhamentos. Porém ressalta-se que o projeto adequado desses elementos é tão importante quanto outras etapas estruturais.

5.10.6 Fundação

A ausência de documentos de sondagens ou de informações referente ao solo do terreno em que está localizado a residência dificultou a elaboração de um projeto de fundação. Contudo, identifica-se que em Ribeirão Preto o solo é predominantemente colapsível (MILENA e TAMI, 2009). Entende-se que essa característica é resultante do predomínio de solo basáltico na região, conforme apresentado na Figura 5.38.

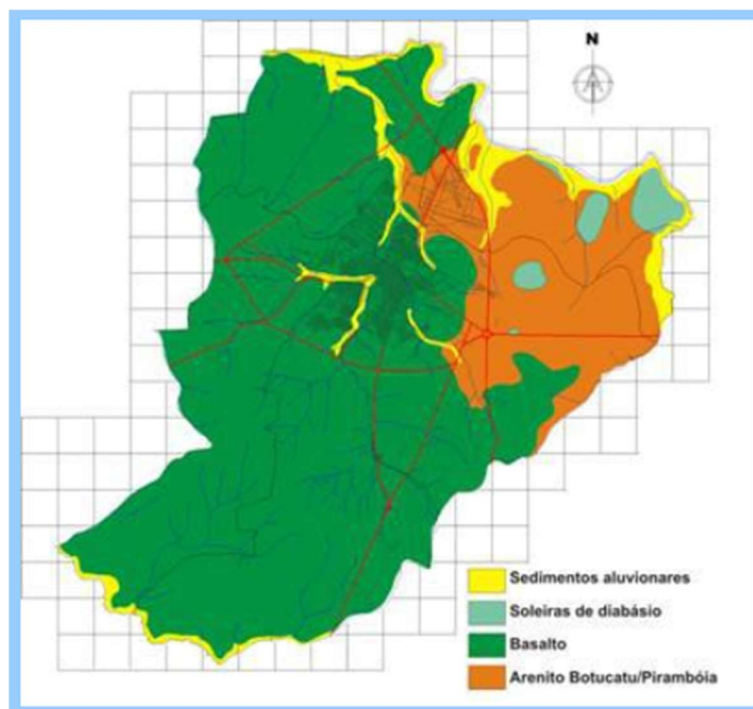


Figura 5.38 - Caracterização do solo na cidade de Ribeirão Preto

Fonte: Rubens, disponível em <https://slideplayer.com.br/slide/2876065>

Esse solo colapsível pode, portanto, sofrer significativa redução de volume com a elevação do lençol freático, com ou sem aplicação de carga adicional, de modo a acarretar recalques excessivos da fundação e, conseqüentemente, em problemas estruturais para o projeto.

De modo a evitar possíveis problemas estruturais, adota-se a utilização de fundações profundas, tais como estacas, tubulões ou brocas com vigas baldrames. Essas alternativas de fundação consideram a resistência lateral do solo no dimensionamento, o que favorece à sua resistência nesse tipo de solo identificado.

Através de pesquisas com alguns profissionais da área, em Ribeirão Preto, pode-se concluir que a utilização de estacas com vigas baldrame é a escolha usualmente utilizada para os projetos residenciais.

5.11 Vedação e revestimento de superfícies

Os sistemas de vedação e de revestimento de superfícies são importantes para a definição e caracterização de outros sistemas prediais, como o hidrossanitário e o elétrico, por exemplo.

Afinal, é necessário entender como a tubulação desses sistemas estarão associados com a estrutura e o revestimento da residência.

Para a casa em estudo, portanto, define-se para as superfícies de vedação vertical (paredes) três diferentes configurações:

1. Wood Frame (fachada): utilização de uma configuração semelhante à representada na Figura 5.39, com a utilização dos seguintes materiais, elencando do elemento interior pro elemento exterior:
 - Placa de compensado de madeira (*Plywood*), com a devida proteção à umidade, em caso de ambientes molhados como banheiros e cozinha;
 - Placa de OSB, para controle de umidade e ar;
 - Fibra de vidro, para isolamento térmico;
 - Fibra de madeira;
 - Cavidade de ar, para ventilação e drenagem de água;
 - Placas de madeira pinus, com revestimento e proteção à umidade.

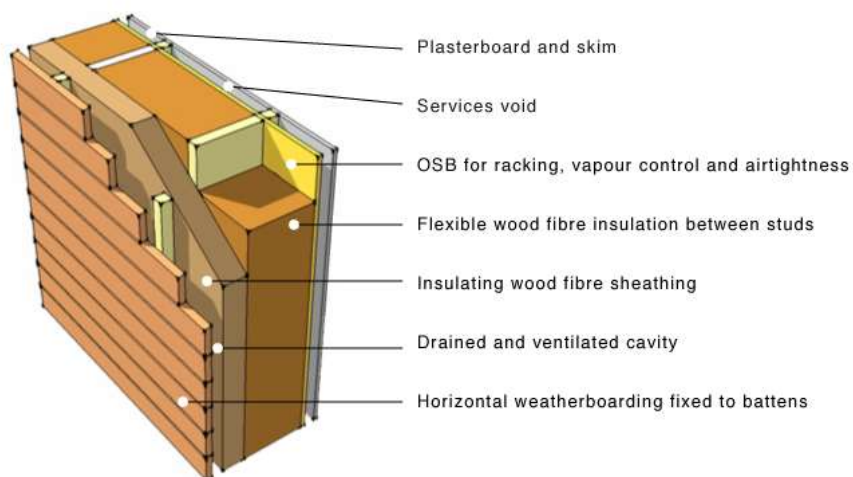


Figura 5.39 - Modelo esquemático de corte de vedação em wood frame

Fonte: GreenSpec (2019), disponível em <http://www.greenspec.co.uk>

2. Wood Frame (divisórias internas): utilização de uma configuração semelhante à apresentada anteriormente, com a utilização dos seguintes materiais:

- Placa de compensado de madeira (*Plywood*); com a devida proteção à umidade, em caso de ambientes molhados como banheiros e cozinha;
- Placa de OSB, para controle de umidade e ar;
- Fibra de vidro, para isolamento térmico;
- Placa OSB;
- Placa de compensado de madeira (*Plywood*).

3. Caixilhos de vidro insulado.

O revestimento dos pisos possui, também, duas diferentes configurações, de modo semelhante ao apresentado na Figura 5.40.



Figura 5.40 - Modelo esquemático de revestimento de piso em CLT

Fonte: GreenSpec (2019), disponível em <http://www.greenspec.co.uk>

De modo que as suas composições possuem, do material superior para o inferior.

1. Piso entre térreo e primeiro pavimento:
 - Revestimento em taco Lamparquet (ou de cerâmica, em área molhadas);
 - Contrapiso, para regularização;
 - Lã de vidro, para absorção sonora (conforto acústico);
 - Membrana permeável, para permeabilidade de ar;
 - CLT.

2. Cobertura:

- Contrapiso, para regularização;
- Lã de vidro, para absorção sonora (conforto acústico);
- Impermeabilização;
- Membrana permeável, para permeabilidade de ar;
- CLT.

5.12 Sistemas prediais

Na realização da residência, dimensiona-se os seguintes sistemas prediais:

- Água fria e água quente;
- Esgoto;
- Água pluvial;
- Iluminação artificial;
- Elétrica.

5.12.1 Água fria e água quente

O projeto do sistema de distribuição de água fria e quente seguem, respectivamente, as recomendações da NBR 5.626 (ABNT, 1998) e da NBR 7.198 (ABNT, 1993).

5.12.1.1 Dimensionamento do alimentador

Dado o programa inicial, seriam consideradas 4 pessoas habitando a residência. Adota-se que a residência deve suportar até uma pessoa a mais, para convidados e visitantes. Logo infere-se o valor de 5 habitantes. Assim:

$$P = 5 \text{ habitantes}$$

Estima-se para esta casa um consumo *per capita* (C) de 150 litros d'água diariamente. Assim tem-se um consumo total diário de:

$$Cd = 5 * 150 = 750 \text{ L/dia}$$

O alimentador predial deve atender o consumo diário. Assim a sua vazão mínima é de:

$$Q_{ap} = \frac{Cd}{86400} = \frac{750}{86400} = 0,008681 \text{ L/s.}$$

O diâmetro do alimentador predial é dado por:

$$D_{ap} = \sqrt{\frac{4 \times Q_{ap}}{\pi \times V_{ap}}}$$

Tal que V_{ap} abrange o intervalo de 0,6 a 1,0 m/s:

$$V_{ap} = 0,6 \text{ m/s} \Rightarrow D_{ap} = \sqrt{\frac{4 \times 0,008681}{\pi \times 0,6 \times 1000}} = 0,004292 \text{ m}$$

$$V_{ap} = 1,0 \text{ m/s} \Rightarrow D_{ap} = \sqrt{\frac{4 \times 0,008681}{\pi \times 1 \times 1000}} = 0,003325 \text{ m}$$

Dados os diâmetros inferiores a 5 milímetros, adota-se o menor diâmetro comercial de PVC de 20 mm.

5.12.1.2 Dimensionamento do reservatório

Não havendo um reservatório inferior, o dimensionamento do reservatório superior compreende 100% do consumo diário somado à reserva de um dia extra.

A escolha do reservatório se guiou por modelos comerciais. A escolha pelo aço inox foi guiada pela maior resistência mecânica e durabilidade frente aos termoplásticos comuns. No caso, optou-se pela utilização da Caixa d'água Sander INOX de 1500 L.



Capacidade (litros)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Tampa d (mm)	Peso (kg)
500	1150	610	420l 1150	19
1000	1150	1100	420l 1150	26
1500	1150	1600	420l 1150	31
2000	1150	2100	420l 1150	41

* Medidas aproximadas

Figura 5.41 - Figura do reservatório e tipos especificados

Fonte: Sander Inox (2019), disponível em <http://www.sanderinox.com.br/>

5.12.1.3 Traçado dos ramais de água fria e quente

A partir da geometria da estrutura e do dimensionamento do alimentador e do reservatório, já considerando a demanda de água para a residência, pode-se consolidar os traçados dos ramais de água fria e quente. Esse traçado está indicado na Figura 5.42. Também foi realizado uma representação da elevação de um dos banheiros do primeiro pavimento, com indicação dos ramais de água fria e água quente, conforme apresentado na Figura 5.43, em que:

1. Adaptador CPVC soldável 25mm
2. Registro de Gaveta c/ canopla ½"
3. Conector 25mm
4. Joelho PVC soldável 90° 25mm
5. Joelho CPVC soldável 90° 25mm
6. Tê PVC soldável 90° 25mm
7. Tê CPVC soldável 90° x 25mm
8. Curva de transposição 25mm
9. Joelho PVC soldável com bucha de latão 90° 25mm
10. Curva de transposição 20 mm
11. Joelho PVC soldável 90° 20mm
12. Joelho CPVC soldável 90° 20mm
13. Conector CPVC 20mm
14. Tê CPVC soldável 90° x 20mm
15. Joelho CPVC soldável com bucha de latão 90° 20mm

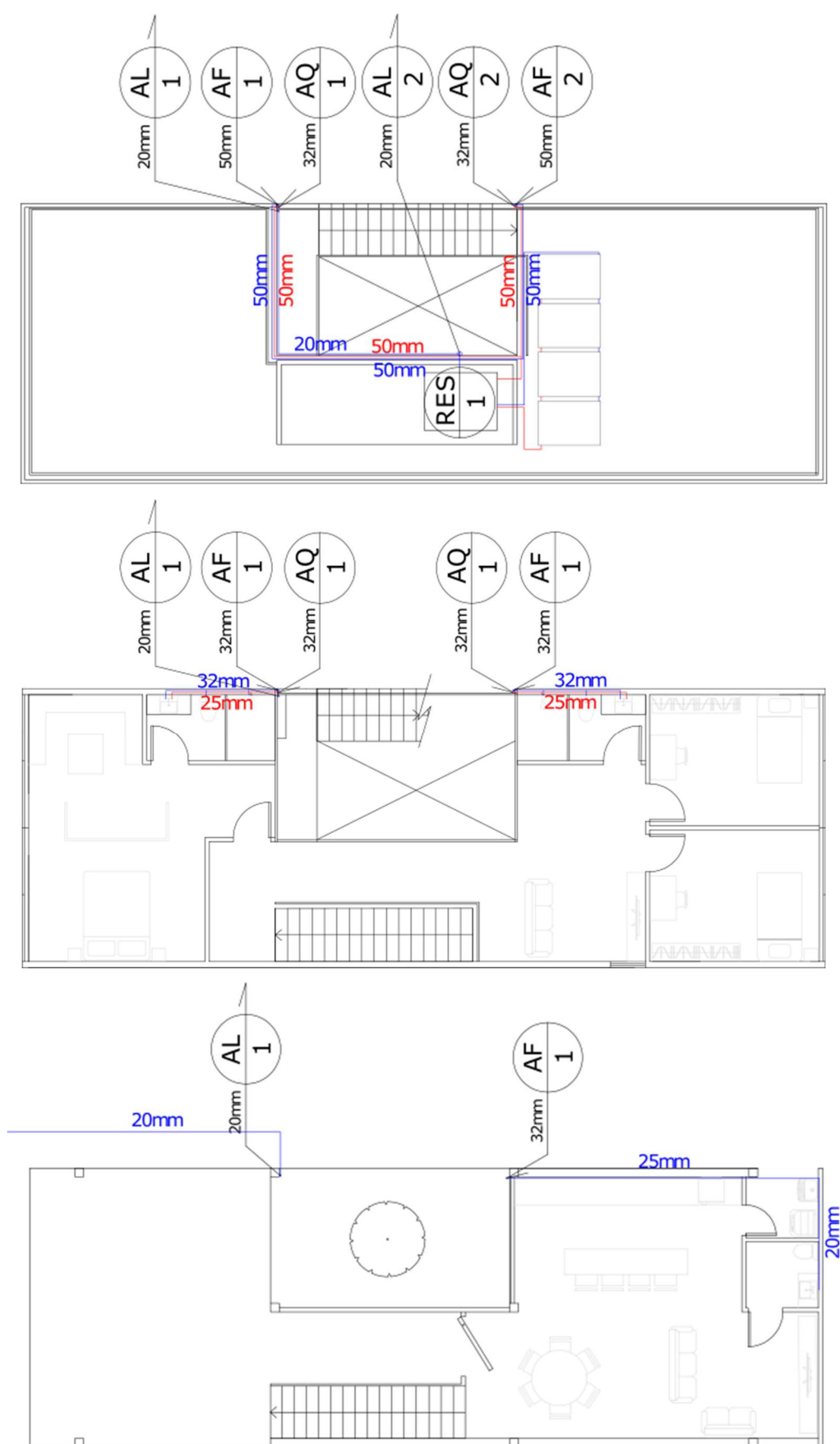


Figura 5.42 - Planta dos três pavimento da residência, com os traçados da tubulação de água fria e água quente

Fonte: Autores (2019)

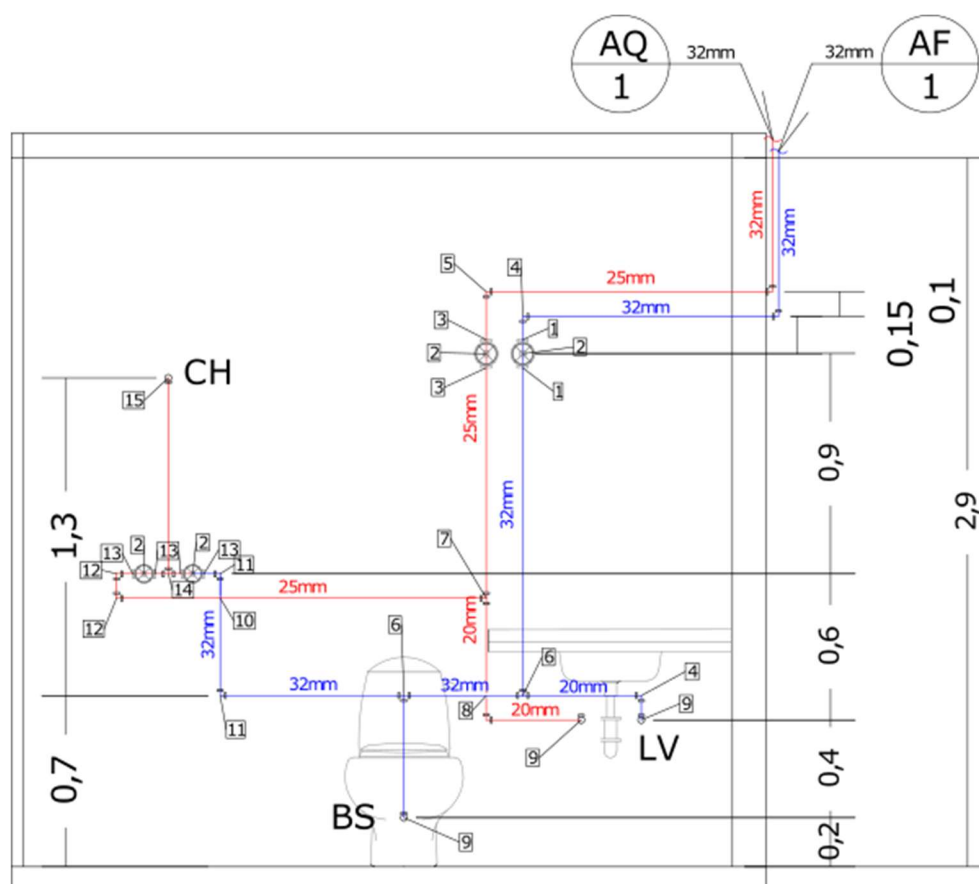


Figura 5.43 - Elevação do banheiro sul e traçados unifilar do sistema de AF e AQ

Fonte: Autores (2019)

5.12.1.4 Dimensionamento dos ramais de alimentação

Os ramais de alimentação da residência podem ser simplificados pelo diagrama unifilar apresentado na Figura 5.44, em que:

- P: pia;
- Bs: bacia sanitária;
- Ch: chuveiro elétrico;
- Tq: tanque;
- Mq: máquina de lavar roupa.

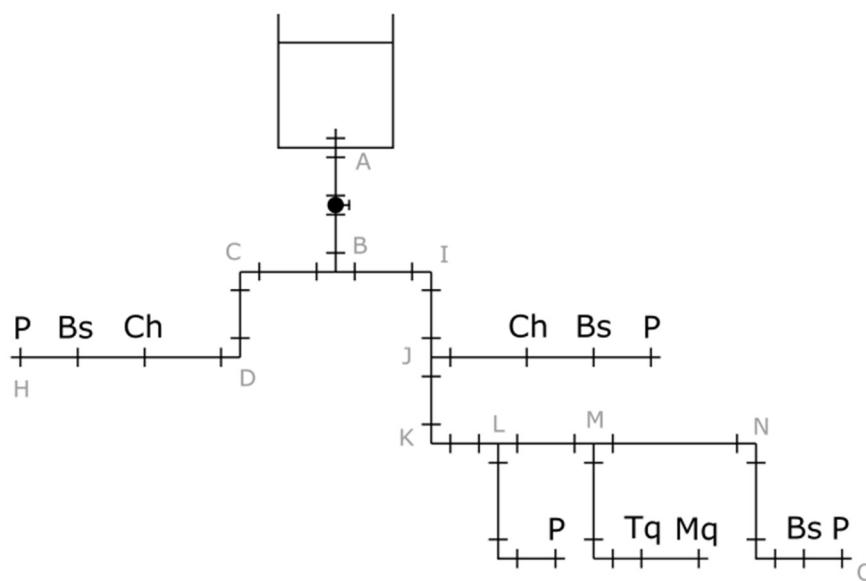


Figura 5.44 - Esquema unifilar do sistema de alimentação de água

Fonte: Autores (2019)

A partir disso, consolida-se a tabela de pesos por componentes hidráulicos disponíveis na residência, conforme apresentado na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Pesos dos componentes hidráulicos por ambiente

Fonte: Autores (2019)

Pesos dos componentes hidráulicos		
Cozinha	Pia	0,7
	Lavabo	0,7
Banheiro	Bacia sanitária	0,3
	Pia	0,7
	Chuveiro	0,4
Serviço	Máquina de Lavar Roupas	1
	Tanque	0,7

Define-se também, para cada trecho, a quantidade de componentes hidráulicos dos ramais (Tabela 5.10 e Tabela 5.11), contabilizados no dimensionamento através de comprimentos virtuais na perda de carga, de acordo com o diagrama unifilar apresentado na Figura 5.44.

Tabela 5.10 - Contabilização dos componentes hidráulicos por trecho de distribuição, do reservatório até o chuveiro do banheiro sul

Fonte: Autores (2019)

Descrição	Trecho	DN	Quantidade de componentes hidráulicos por trechos															
		mm	Entrada de borda	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	tipo leve	tipo pesado	Reg. Globo aberto	Reg. Gaveta aberto	Reg. Ângulo aberto	Joelho 90	Joelho 45	Curva 90	Curva 45	Tê 90 pass direta	Tê 90 saída de lado	Tê 90º saída bilateral	Entrada normal
Reservatório-Barrilete	A-B	40	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Barrilete - Coluna de alimentação	B-C	25	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Coluna - 1 pavimento	C-D	25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1 pavimento - T	D-E	25	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
T-pia	E-F	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
T-vaso	E-G	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
vaso-chuveiro	G-H	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

Tabela 5.11 - Contabilização dos componentes hidráulicos por trecho de distribuição, do reservatório até a pia do lavabo

Fonte: Autores (2019)

Descrição	Trecho	DN	Quantidade de componentes hidráulicos por trechos															
		mm	Entrada de borda	Saída de canalização	Válvula de pé e crivo	tipo leve	tipo pesado	Reg. Globo aberto	Reg. Gaveta aberto	Reg. Ângulo aberto	Joelho 90	Joelho 45	Curva 90	Curva 45	Tê 90 pass direta	Tê 90 saída de lado	Tê 90º saída bilateral	Entrada normal
Reservatório-Barrilete	A-B	40	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barrilete - Coluna de alimentação (banheiro)	B-I	40	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Coluna Banheiro - Coluna Terreo	I-J	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Coluna Terreo - 90	J-K	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
90 - Cozinha	K-L	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Cozinha - AS	L-M	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
As - Lavabo	M-N	25	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Lavabo - Vaso	K-O	25	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Vaso - Pia	O-Q	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

Dimensiona-se, assim, o diâmetro de uma tubulação através, primeiramente, do cálculo de sua vazão, com a fórmula:

$$Q_p = 0,3 \sqrt{\sum N_i \times P_i}$$

$$Q_p = 0,3 \sqrt{6,2} = 0,747 \text{ L/s}$$

Determina-se o diâmetro mínimo da tubulação, adotando-se a velocidade de 3 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_p}{\pi \times V_{\text{máx}}}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,747}{\pi \times 3}} = 17,81 \text{ mm}$$

Adota-se então um tubo PVC de diâmetro nominal (DN) de 25 mm, com diâmetro interno (DI) de 21,6 mm, como chute inicial que será refinado posteriormente.

Em seguida, determina-se a perda de carga, para tubos de cobre ou PVC, com a água a 20°C. Para isso, calcula-se primeiro o comprimento virtual, contabilizando os componentes hidráulicos do trecho. No caso, encontram-se presentes um registro de gaveta, uma entrada de borda e um tê com saída lateral, de modo que:

$$L_{virtual} = L_{real} + \Sigma L_e$$

$$L_{virtual} = L_{real} + \Sigma L_e = 1,5 + 2,2 = 3,7m$$

Também, estabelece-se a perda linear de carga:

$$J = 0,00085 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$$

$$J = 0,00085 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} = 0,00085 \times \frac{(0,747 \frac{1,75}{1000})^{1,75}}{(0,0216)^{4,75}} = 0,2339 m/m$$

Portanto, calcula-se a perda de carga no trecho através de:

$$L_{virtual} = L_{real} + \Sigma L_e = 1,5 + 1,5 = 3,0m$$

$$\Delta H = J \times L_{virtual} = 0,2339 \times 3,0 = 0,6361 mca$$

Por fim, determina-se a pressão mínima no trecho em questão:

$$P = 1,5 mca - 0,6361 mca = 0,8684 mca$$

Estabelece-se esse mesmo dimensionamento para cada um dos trechos. Então, a partir dos diâmetros mínimos considerados no início do dimensionamento, obtém-se a Tabela 5.12 de resultados.

Tabela 5.12 - Dimensionamento do trecho do barrilete até o chuveiro do banheiro sul, incorreto

Fonte: Autores (2019)

DIMENSIONAMENTO ÁGUA FRIA - BANHEIRO SUL															
Descrição	Trecho	Peso	Qp	Dmín	DN	DI	V (m/s)	Lreal	Le	L virtual	J	Perdas	P disponível	P residual	
		[	L/s	mm	mm	mm	m/s	m	m	m	m/m	mca	mca	mca	
Reservatório-Barrilete	A-B		6,2	0,746994	17,80545	25	21,6	3	1,5	1,2	2,7	0,2339	0,6316	1,5	0,8684
Barrilete - Coluna de alimentação	B-C		1,4	0,354965	12,27403	20	17	3	8,9	2,2	11,1	0,1984	2,8342	1,5	-1,334
Coluna - 1 pavimento	C-D		1,4	0,354965	12,27403	20	17	3	1	1,1	2,1	0,1984	3,2509	2,5	-0,751
1 pavimento - T	D-E		1,4	0,354965	12,27403	20	17	3	2,5	2,3	4,8	0,1984	4,2034	2,5	-1,703
T-pia	E-F		0,7	0,250998	10,32119	20	17	3	0,2	2,3	2,5	0,1082	4,4738	2,5	-1,974
T-vaso	E-G		0,7	0,250998	10,32119	20	17	3	0,9	4,6	5,5	0,1082	4,7984	2,5	-2,298
vaso-chuveiro	G-H		0,4	0,189737	8,973669	20	17	3	2,6	1,1	3,7	0,0663	4,4487	2,5	-1,949
												Pressão mínima	-2,298		

Nota-se que os diâmetros mínimos não atendem as cargas mínimas estabelecidas pela norma NBR 7.198 (ABNT, 1993). No caso, os trechos não devem apresentar pressão inferior a 0,5 mca e os aparelhos não devem apresentar pressões inferiores ao mínimo definido pelo fabricante, no caso crítico em questão, 2 mca para os chuveiros. Dadas essas restrições, determina-se o

dimensionamento final e verifica-se as pressões nos trechos, conforme apresentado na Tabela 5.13, Tabela 5.14 e Tabela 5.15.

Tabela 5.13 - Dimensionamento do trecho o barrilete até o chuveiro do banheiro sul

Fonte: Autores (2019)

DIMENSIONAMENTO ÁGUA FRIA - BANHEIRO SUL														
Descrição	Trecho	Peso	Qp	Dmín	DN	DI	V (m/s)	Lreal	Le	L virtual	J	Perdas	P disponível	P residual
	m	[l]	L/s	mm	mm	mm	m/s	m	m	m	m/m	mca	mca	mca
Reservatório-Barrilete	A-B	6,2	0,746994	17,80545	50	44	3	1,5	3	4,5	0,0080	0,0359	1,5	1,4641
Barrilete - Coluna de alimentação	B-C	1,4	0,354965	12,27403	50	44	3	8,9	6,4	15,3	0,0022	0,0690	1,5	1,431
Coluna - 1 pavimento	C-D	1,4	0,354965	12,27403	32	27,8	3	1	1,5	2,5	0,0192	0,1170	2,5	2,383
1 pavimento - T	D-E	1,4	0,354965	12,27403	25	21,6	3	2,5	2,6	5,1	0,0636	0,4414	2,5	2,0586
T-pia	E-F	0,7	0,250998	10,32119	20	17	3	0,2	2,3	2,5	0,1082	0,7119	2,5	1,7881
T-Bacia Sanitária	E-G	0,7	0,250998	10,32119	25	21,6	3	0,9	4,8	5,7	0,0347	0,6392	2,8	2,1608
Bacia Sanitária-chuveiro	G-H	0,4	0,189737	8,973669	25	21,6	3	2,6	1,3	3,9	0,0213	0,7221	2,8	2,0779
Pressão mínima													1,431	

Tabela 5.14 - Dimensionamento do trecho de AF do barrilete até o lavatório do lavabo

Fonte: Autores (2019)

DIMENSIONAMENTO ÁGUA FRIA - LAVABO														
Descrição	Trecho	Peso	Qp	Dmín	DN	DI	V (m/s)	Lreal	Le	L virtual	J	Perdas	P disponível	P residual
	m	[l]	L/s	mm	mm	mm	m/s	m	m	m	m/m	mca	mca	mca
Reservatório-Barrilete	A-B	6,2	0,746994	17,80545	50	44	3	1,5	3	4,5	0,0080	0,0359	1,5	1,4641
Barrilete - Coluna de alimentação (ban	B-I	4,8	0,657267	16,70188	50	44	3	3,5	6,4	9,9	0,0064	0,0989	1,5	1,4011
Coluna Banheiro - Coluna Terreo	I-J	3,4	0,553173	15,32233	32	27,8	3	3	0,9	3,9	0,0417	0,2616	2,5	2,2384
Coluna Terreo - 90	J-K	3,4	0,553173	15,32233	25	21,6	3	1	2	3	0,1383	0,6764	5,5	4,8236
90 - Cozinha	K-L	3,4	0,553173	15,32233	25	21,6	3	1,4	0,8	2,2	0,1383	0,9806	5,5	4,5194
Cozinha - AS	L-M	2,7	0,49295	14,46425	25	21,6	3	6,9	2	8,9	0,1130	1,9865	5,5	3,5135
AS - Lavabo	M-N	1	0,3	11,28379	20	17	3	1,4	1,1	2,5	0,1478	2,3561	5,5	3,1439
Lavabo - Bacia Sanitária	K-O	1	0,3	11,28379	20	17	3	3,35	2,4	5,75	0,1478	3,2061	5,5	2,2939
Bacia Sanitária - Pia	O-Q	0,7	0,250998	10,32119	20	17	3	0,7	0,7	1,4	0,1082	3,3576	5,5	2,1424
Pressão mínima													1,4011	

Tabela 5.155 - Dimensionamento do trecho de AQ do barrilete até o lavatório do lavabo

Fonte: Autores (2019)

DIMENSIONAMENTO ÁGUA QUENTE														
Descrição	Trecho	Peso	Qp	Dmín	DN	DI	V (m/s)	Lreal	Le	L virtual	J	Perdas	P disponível	P residual
	m	[l]	L/s	mm	mm	mm	m/s	m	m	m	m/m	mca	mca	mca
Reservatório-Barrilete	A-B	2,2	0,444972	13,74234	50	44	3	1,5	10,3	11,8	0,0032	0,0380	1	0,962
Barrilete - Coluna de alimentação	B-C	1,1	0,314643	11,55589	50	44	3	8,9	6,4	15,3	0,0018	0,0648	1	0,9352
Coluna - 1 pavimento	C-D	1,1	0,314643	11,55589	32	27,8	3	1	3	4	0,0155	0,1270	2	1,873
1 pavimento - T	D-E	1,1	0,314643	11,55589	25	21,6	3	2,5	3,1	5,6	0,0515	0,4155	2,8	2,3845
T-pia	E-F	0,7	0,250998	10,32119	20	17	3	0,2	1,1	1,3	0,1082	0,5561	2,8	2,2439
T-chuveiro	G-H	0,4	0,189737	8,973669	25	21,6	3	2,6	6	8,6	0,0213	0,7389	2,8	2,0611
Pressão mínima													0,9352	

5.12.1.5 Dimensionamento de sistema de água quente

Para o dimensionamento do sistema de água quente, utiliza-se as referências de consumo apresentadas no Anexo C da NBR 15.569 (ABNT, 2018), considerando o uso racional da água, conforme Tabela 5.16. Porém, é recomendado que os valores de consumo sejam obtidos diretamente com os fabricantes das peças e a demanda avaliada pelo padrão de utilização.

Tabela 5.16 - Consumo nos pontos de utilização de água quente

Fonte: NBR 15.569 (ABNT, 2018)

Peças	Consumo mínimo	Consumo máximo	Ciclo diário (minuto/pessoa)	Temperatura de consumo °C
Ducha de banho	3,0 L/min	15,0 L/min	10	39 – 40
Lavatório	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Ducha higiênica	3,0 L/min	4,8 L/min	2	39 – 40
Banheira	80 L	440 L	banho	39 – 40
Pia de cozinha	2,4 L/min	7,2 L/min	3	39 – 40
Lava-louças (12 pessoas)	20 L	20 L	ciclo de lavagem	39 – 50
Máquina de lavar roupa	90 L	200 L	ciclo de lavagem	39 – 40

Adota-se valores de vazão obtidos diretamente das fabricantes das peças, como descrito também na Tabela 5.16, que se enquadrem dentro dos consumos mínimos e máximos estipulados.

A ducha elétrica adotada é a Lorenzetti Advanced Eletrônica, que possui a curva de vazão por pressão dinâmica apresentada na Figura 5.45 - Curva característica de pressão por vazão. Aplicada à uma pressão de 3 mca, definimos uma vazão de 9 litros por minuto. A ducha elétrica favorece o aquecimento da água contida nos dutos que encontram-se frias, até a chegada das águas aquecidas do *boiler*.

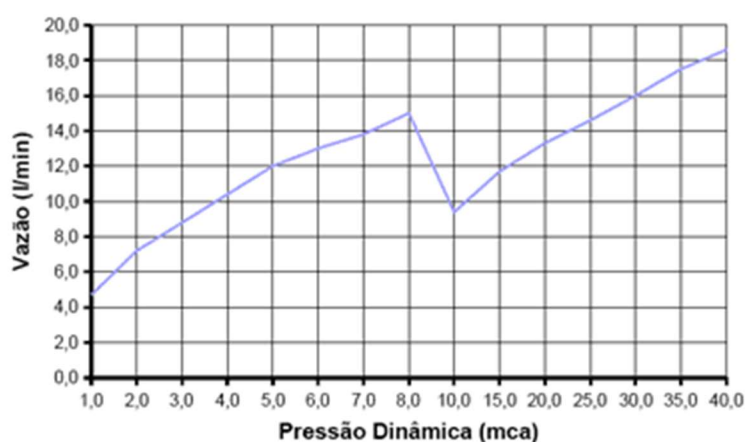


Figura 5.45 - Curva característica de pressão por vazão

Fonte: Lorenzetti (2018), disponível em <http://www.lorenzetti.com.br>

As vazões das torneiras da cozinha e dos lavatórios serão a máxima proposta na Tabela 5.16. Os fabricantes fornecem apenas limites de pressão dinâmica das peças. Portanto assume-se que, para o dimensionamento, o valor máximo será mais conservador.

Os valores de ciclo diário serão os mesmos da Tabela 5.17 e os usuários definidos diretamente pelo programa do projeto. Assim, o cálculo de consumo diário total é dado na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Previsão de consumo de água quente

Fonte: Autores (2019)

	Vazão (L/min)	Tempo (min)	Ciclo diário por usuário ou ciclo	Usuários ou ciclos	Consumo diário (L/dia)
Ducha de banho	9	10	1	5	450
Pia de cozinha	7,2	8	2	2	230,4
Lavatório	4,8	2	2	5	96
Total					776,4

O consumo total diário corresponde ao volume de água mista, que é utilizado para mensurar o volume de água quente armazenado no *boiler*. A temperatura de armazenamento adotada será de 60°C.

Tabela 5.18 - Dimensionamento de armazenamento de água quente

Fonte: Autores (2019)

Temperatura de consumo	39 °C
Temperatura ambiente	22,4 °C
Temperatura de armazenamento	60 °C
Volume de consumo	0,7764 m ³
Volume de armazenamento	0,343 m ³

Os volumes comerciais de *boilers* são múltiplos de 200 litros. Assim, define-se um *boiler* de 400 L para atender a residência, levando em conta 5 pessoas num clima a 22.4°C (RETScreen, 2018).

5.12.1.5.1 Dimensionamento de placas solares para aquecimento de água

Na NBR 15.569 (ABNT, 2008) estão apresentadas implicações à sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto. Estendendo-se desde requisitos gerais até os exemplos de dimensionamento.

O processo utilizado e descrito a seguir levou em consideração a metodologia de cálculo 2 do anexo B da NBR 15.569 (ABNT, 2008). O cálculo conta com a irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia). Os dados da Figura 5.19 foram extraídos do software RETScreen.

Tabela 5.19 - Irradiação solar diária, retirada do software RETScreen, com os dados definidos em Ribeirão Preto

Fonte: RETScreen (2019)

Irradiação solar diária (kWh/m ² /d)	Plano Horizontal
Janeiro	5.6
Fevereiro	5.57
Março	5.29
Abril	5.04
Maio	4.26
Junho	4.16
Julho	4.4
Agosto	5.02
Setembro	5.26
Outubro	5.78
Novembro	6
Dezembro	5.72
MÉDIA (Calculada)	5.175

Estima-se, portanto, a energia útil necessária através do volume de demanda diário (já dimensionado, anteriormente), pela temperatura de armazenamento e temperatura ambiente média.

Tabela 5.20 - Energia útil necessária

Fonte: Autores (2019)

Massa esp. Água (rô)	1000 kg/m ³
Calor esp. Água (Cp)	4,18 kJ/kg
Energia útil	14,965 kWh/dia

A geometria de instalação das placas influencia diretamente em seu rendimento. Onde Beta é a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal e Gama é a orientação em relação ao Norte geográfico, adotados para melhor se adequar às dimensões da cobertura.

Tabela 5.21 - Cálculo do fator de correção pelo posicionamento da placa

Fonte: Autores (2019)

Beta	31,3 °
Latitude do local	21,3 °
Beta ótimo	31,3 °
Gama	17 °
Fator de correção (F _{instal})	1,010 []

Assim, deve-se definir um produto para exemplificar a eficiência energética disponível. A placa adotada será a MC15 Evolution Pro, representada pela Figura 5.46, que conta com avaliação A pelo Inmetro.



Figura 5.46 - Dados do fabricante Heliotek para o coletor solar MC15 Evolution Pro

Fonte: Heliotek (2019)

A NBR 15.569 (ABNT, 2018) também define perdas de 15% na irradiação recebida nas placas. A área coletora é definida por:

$$A_{coletora} = \frac{(E_{\text{útil}} + E_{\text{perdas}}) \times FC_{\text{instal}} \times 4,901}{PMDEE \times I_G}$$

Onde:

- $A_{coletora}$ é a área coletora, expressa em metros quadrados (m^2);
- I_G é o valor da irradiação global média anual para o local de instalação, expresso em quilowatts hora por metro quadrado dia ($kWh/m^2.dia$) (Anexo D da norma NBR 15.569/2018);
- $E_{\text{útil}}$ é a energia útil, em quilowatts hora por dia (kWh/dia);
- E_{perda} é o somatório das perdas térmicas dos circuitos primário e secundário, expresso em quilowatts hora por dia (kWh/dia), calculada pela soma das perdas ou pela equação:

$$E_{\text{perdas}} = 0,15 * E_{\text{útil}};$$

- PMDEE é a produção média diária de energia específica do coletor solar, expressa em quilowatts hora por metro quadrado (kWh/m), calculada através da equação:

$$PMDEE = 4,901 \times (F_{rra} - 0,0249 \times F_{ruL}).$$

Tabela 5.22 - Dimensionamento da área coletora necessária -

Fonte: Autores (2019)

Perdas térmicas (E_{perdas})	2,245 kWh/dia
Irradiação solar média anual (I_G)	5,175 $kWh/m^2/dia$
Área coletora	5,8316666 m^2

Determinada a área coletora em 5.83 m^2 , pode-se realizar a quantificação das placas. Os modelos adotados anteriormente possuem 1,5 x 1,0 m^2 .

Assim, estabelecem-se 4 placas, com 6 m^2 de área coletora.

5.12.2 Sistema de esgoto sanitário

Para o dimensionamento do sistema de esgoto sanitário foi utilizado o método das Unidades de Hunter de Contribuição (UHC), conforme a NBR 8.160 (ABNT, 1999).

5.12.2.1 Dimensionamento do ramal de descarga dos aparelhos sanitários

Para cada ramal de descarga, foi estabelecido um Diâmetro Nominal (DN) mínimo e um número de UHC característico. A síntese desse levantamento está apresentada na Tabela 5.23.

Tabela 5.23 - Dimensionamento dos ramais de descarga

Fonte: Autores (2019)

Dimensionamento para Ramal de Descarga			
Cômodo	Aparelhos Sanitários	Número de Unidades de Hunter de Contribuição	Diâmetro Nominal Mínimo do Ramal de Descarga DN (mm)
Banheiro	Bacia Sanitária	6	100
	Chuveiro de Residência	2	40
	Lavatório de Residência	1	40
Lavabo	Bacia Sanitária	6	100
	Lavatório de Residência	1	40
Área de Serviço	Tanque	3	40
	Máquina de Lavar Roupas	3	50
Cozinha	Pia	3	50

5.12.2.2 Dimensionamento do ramal de esgoto

O dimensionamento do ramal, do tubo de queda e de ventilação dos banheiros do primeiro pavimento, de acordo com as UHC preestabelecidas, são definidos pela Tabela 5.24:

Tabela 5.24 - Dimensionamento do ramal de esgoto, tubo de quebra e de ventilação dos banheiros do primeiro pavimento

Fonte: Autores (2019)

Ramal de esgoto da caixa sifonada dos banheiros	
Somatório UHC (01 lavatório e 01 chuveiro)	3
Diâmetro nominal do tubo [mm]	50

Tubo de queda dos banheiros	
Somatório UHC (01 lavatório; 01 chuveiro e uma bacia sanitária)	9
Diâmetro nominal do tubo [mm]	100

Dimensionamento ramal de ventilação	
Somatório UHC (01 lavatório, 01 chuveiro e 1 bacia sanitária)	9
Diâmetro Nominal do Ramal de Ventilação (Grupo de aparelhos com bacias sanitárias)	50

Já o dimensionamento do ramal da caixa sifonada do lavabo, de acordo com as UHC preestabelecidas, é definido pela Tabela 5.26 :

Tabela 5.25 - Dimensionamento da caixa sifonada do lavabo

Fonte: Autores (2019)

Ramal da caixa sifonada do lavabo e área de serviço	
Somatório UHC (01 máq. de lavar roupa; 01 tanque de lavar roupa)	6
Diâmetro nominal do tubo [mm]	50

O ramal da caixa sifonada do lavabo deve apresentar uma inclinação de 2%, de acordo com a norma.

Tabela 5.26 - Dimensionamento do lavatório do lavabo

Fonte: Autores (2019)

Ramal do lavatório do lavabo	
Somatório UHC (1 lavatório)	3
Diâmetro nominal do tubo [mm]	100

O ramal da bacia sanitária será conduzido diretamente à uma caixa de inspeção externa.

Tabela 5.27 - Dimensionamento da pia da cozinha

Fonte: Autores (2019)

Ramal da pia de cozinha	
Somatório UHC (01 pia de cozinha residencial)	3
Diâmetro nominal do tubo [mm]	40

O ramal da pia de cozinha, é conduzido diretamente à caixa de gordura PVC com cesta de limpeza.

Os resultados dos dimensionamentos, assim como sua posição em relação aos ambientes, estão apresentados na Figura 5.47 e Figura 5.48.

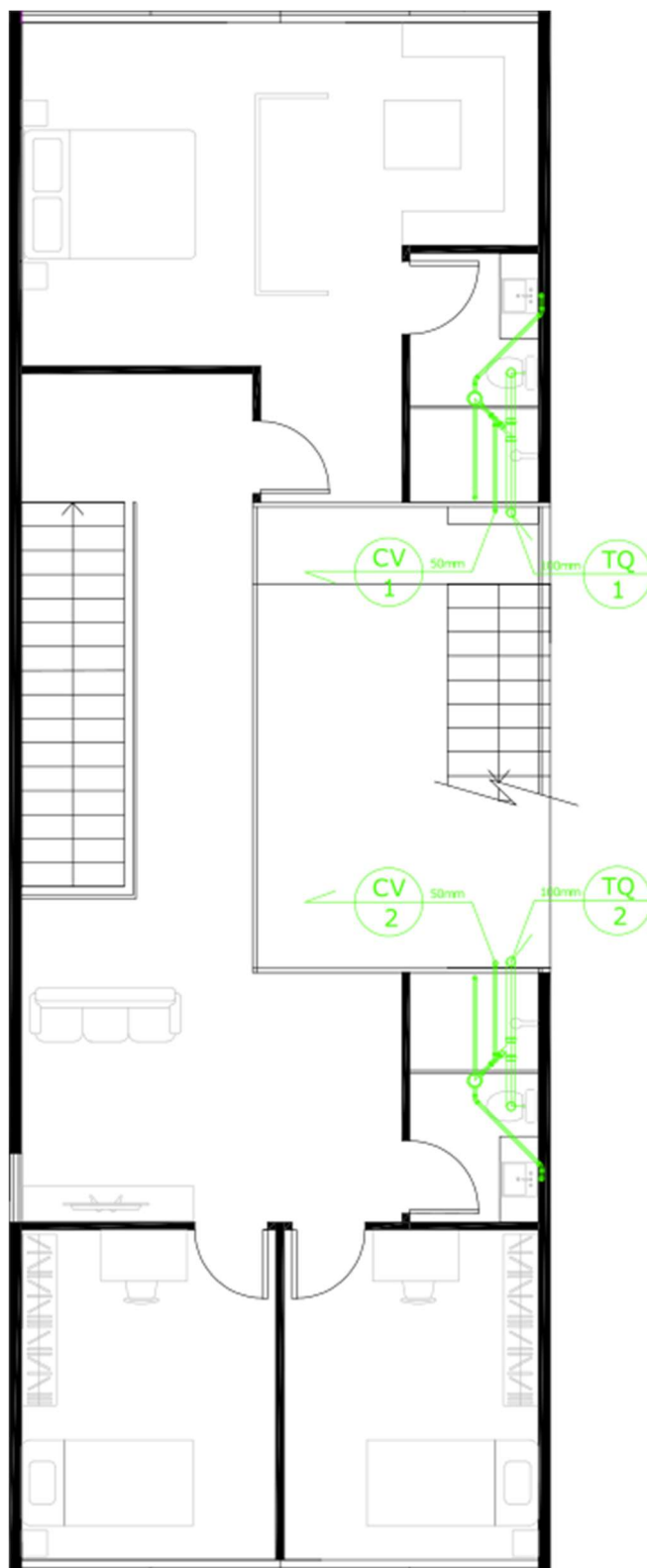


Figura 5.47 - Planta do primeiro pavimento com o traçado do esgoto

Fonte: Autores (2019)

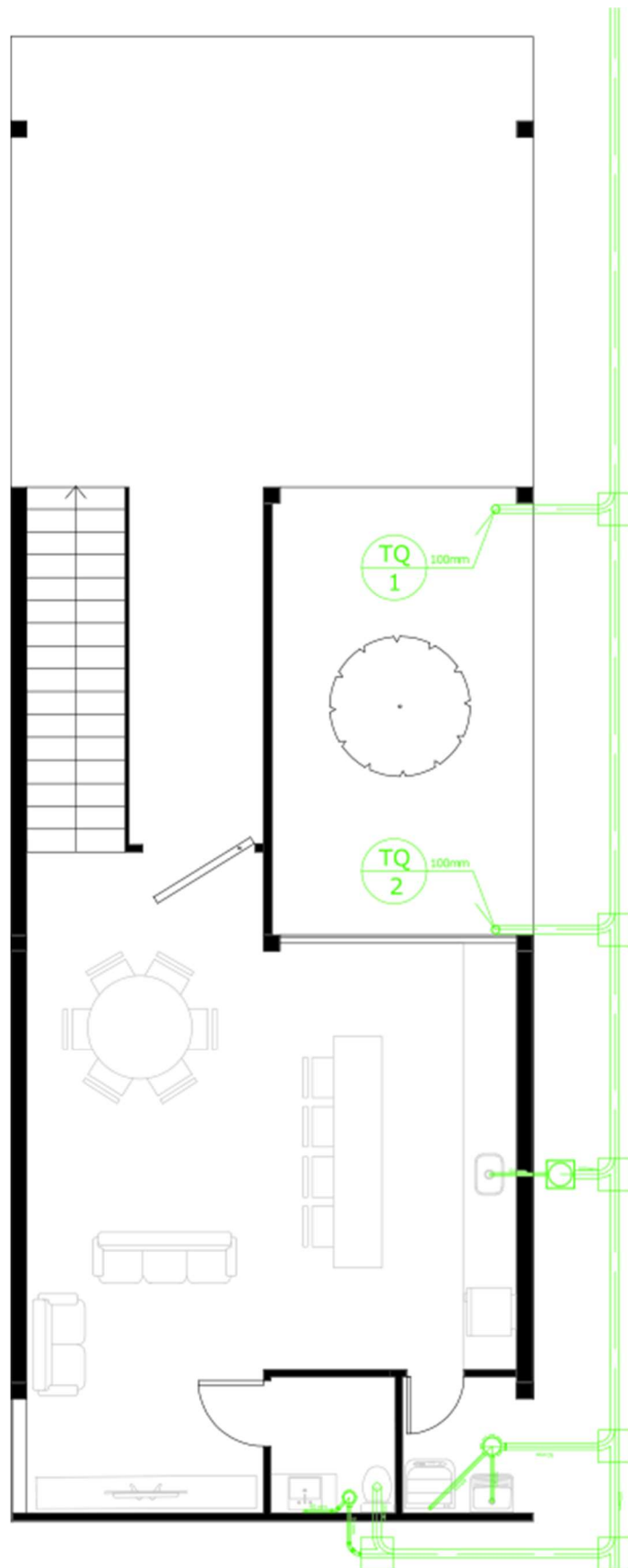


Figura 5.48 - Planta do térreo com o traçado do esgoto

Fonte: Autores (2019)

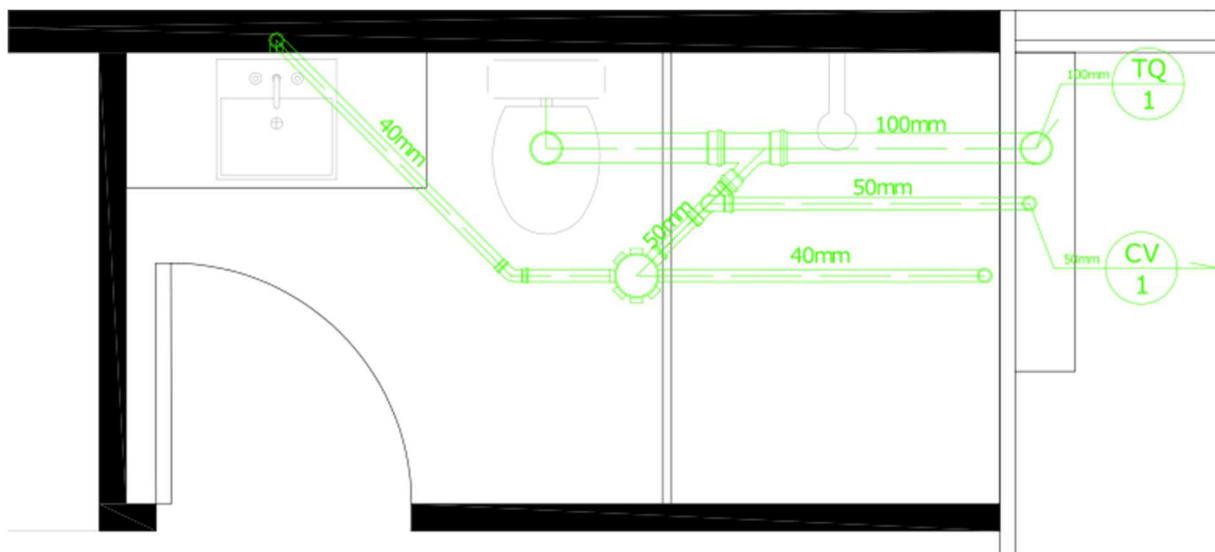


Figura 5.49 - Detalhamento dos ramais de esgoto no banheiro

Fonte: Autores (2019)

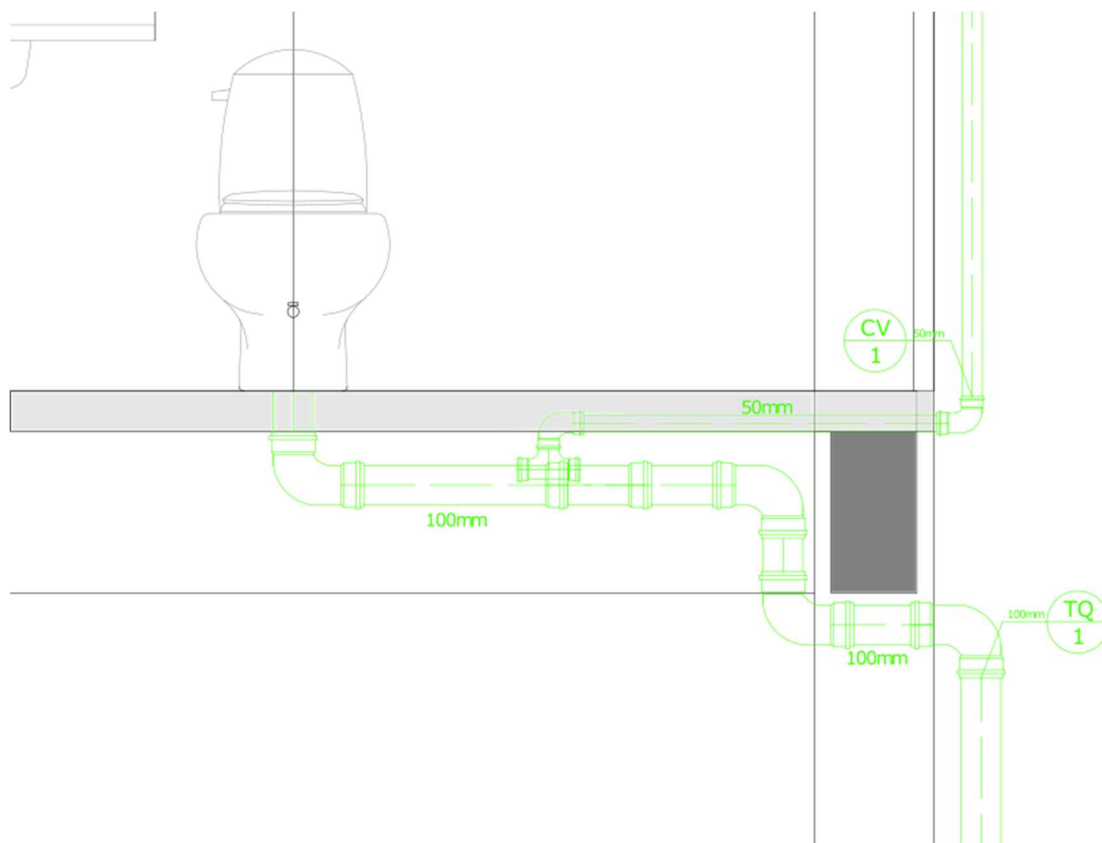


Figura 5.50 - Detalhamento de passagem do ramal de descarga e da coluna de ventilação

Fonte: Autores (2019)

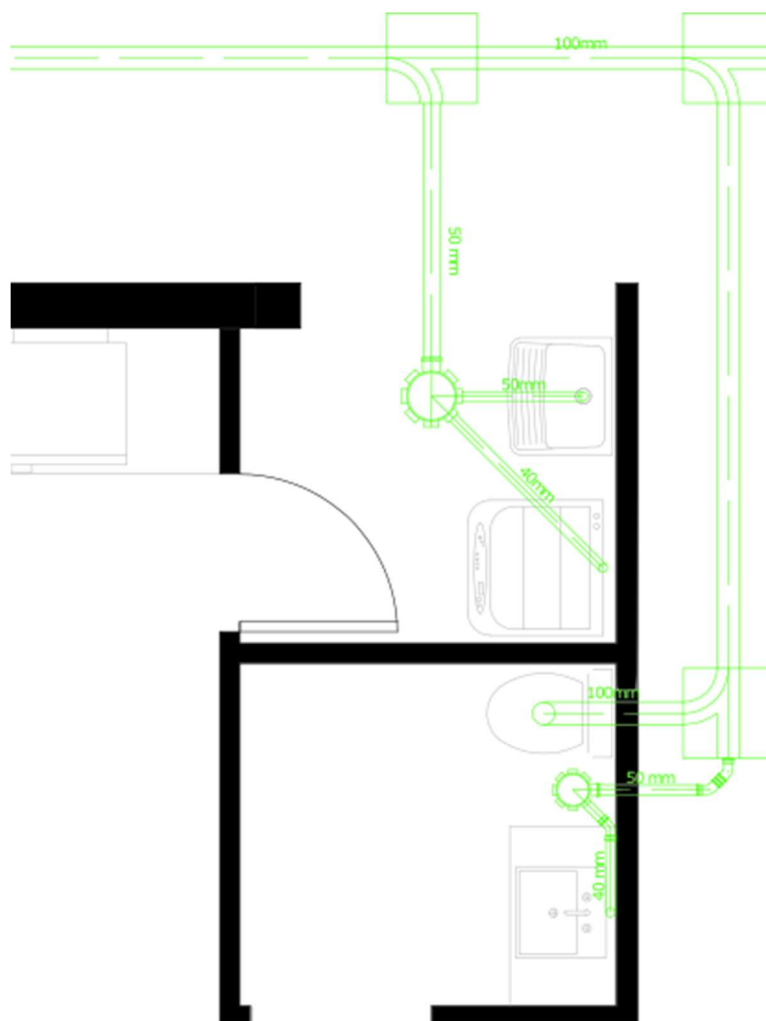


Figura 5.51 - Detalhamento dos ramais de esgoto do lavabo e área de serviço

Fonte: Autores (2019)

5.12.3 Águas pluviais

Os sistemas prediais de águas pluviais devem ser projetados de modo a atender aos requisitos da NBR 10.844 (ABNT, 1989). Dentre os principais requisitos exigidos dos sistemas de águas pluviais, estão a capacidade de coletar e conduzir a vazão de projeto até os locais permitidos pelos dispositivos legais, ser estanques e permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto do sistema, assim como resistir às solicitações decorrentes das variações térmicas dos choques mecânicos e intempéries.

A área de contribuição é definida no terraço. O espaço é dividido em seis áreas de contribuição e não comporta calhas, sendo conduzido exclusivamente através da superfície impermeabilizada do terraço. Atende-se toda a contribuição das áreas através de dois condutores verticais localizados junto do *shaft* externo de outros sistemas hidráulicos.

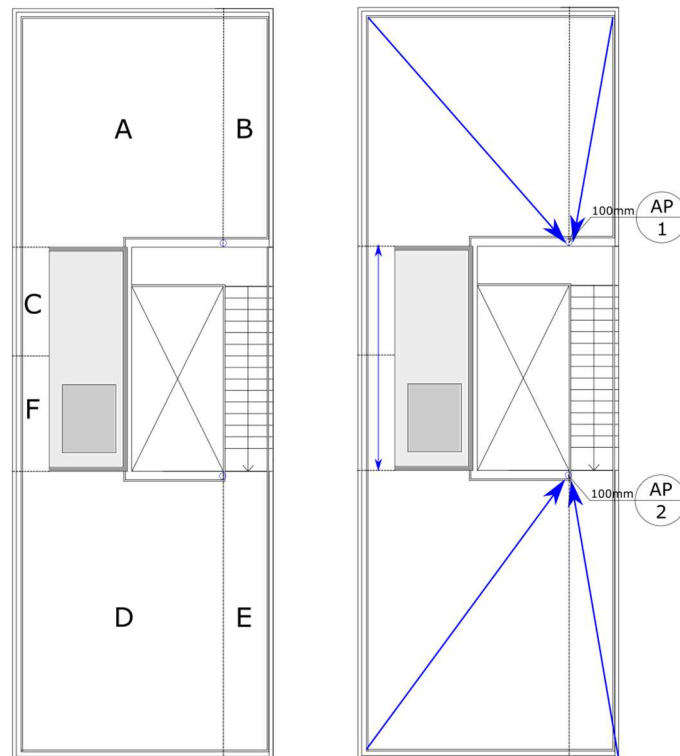


Figura 5.52 - Áreas do terraço e direções da inclinação e escoamento

Fonte: Autores (2019)

Define-se a vazão de projeto pela contribuição das áreas. O cálculo da vazão é definido também pelo coeficiente de escoamento superficial (C) e pela intensidade pluviométrica que, para terraços e coberturas deve ser considerado um período de retorno (T) de 5 anos e, assim $I=172$ mm/h.

Tabela 5.28 - Áreas do terraço e vazões de contribuição para T = 5 anos

Fonte: Autores (2019)

Região	Área	Vazão
	m ²	L/min
A	28,4	13,57
B	8,1	3,87
C	2,4	1,15
D	34,3	16,39
E	9,8	4,68
F	2,4	1,15

Dimensiona-se os condutores verticais de acordo com a vazão de projeto e área de contribuição de cada A, previamente definida. Para as áreas em projeção horizontal da cobertura, em metros quadrados (UNIFORM PLUMBING CODE, 1973).

Tabela 5.29 - Dimensionamento de condutores verticais, para áreas em projeção horizontal, em metros quadrados

Fonte: UNIFORM PLUMBING CODE (1973)

Precipitação mm/h	Diâmetro do Conductor Vertical			
	50	75	100	125
25	267,8	818,4	1711,2	3217,8
50	135,9	409,2	855,6	1608,9
76	89,3	272,5	570,1	1072,3
101	67	204,6	427,8	804,5
127	53,5	168,7	342,2	648,6
152	44,6	136,7	283,5	536,1
178	38,1	117,2	244,6	439,9
203	33,5	102,3	213,9	402,2
229	29,8	91,1	190,2	357,6
254	27	81,1	171,1	321,8
279	24,2	74,4	155,8	292,5
305	22,3	67,9	142,3	267,8

Determina-se, então, os diâmetros dos condutores verticais. Nota-se que para a vazão de 172mm/h um diâmetro de 75 mm de condutor vertical atende até 117,2 m². Realizou-se uma interpolação linear, conforme apresentado na Tabela 5.30.

Tabela 5.30 – Dimensionamento dos condutores verticais pelo Uniform Plumbing Code

Fonte: Autores (2019)

Coletor vertical	Região de contribuição	Área	Vazão	Diâmetro
		m ²	L/min	mm
1	A, B, C	38,9	111,51	75
2	D, E, F	46,5	133,30	75

Por fim, pode-se definir o diâmetro mínimo como 100mm, usual na construção civil, resultando na Tabela 5.31.

Tabela 5.31 - Dimensionamento dos condutores verticais

Fonte: Autores (2019)

Coletor vertical	Região de contribui	Área	Vazão	Diâmetro
		m ²	L/min	mm
1	A, B, C	39,9	111,51	100
2	D, E, F	46,5	133,30	100

Define-se também as declividades e diâmetros dos condutores horizontais subterrâneos. Refere-se à tabela de capacidade de condutores horizontais de ação circular da NBR 10844 (ABNT, 1989), representados na Figura 5.53.

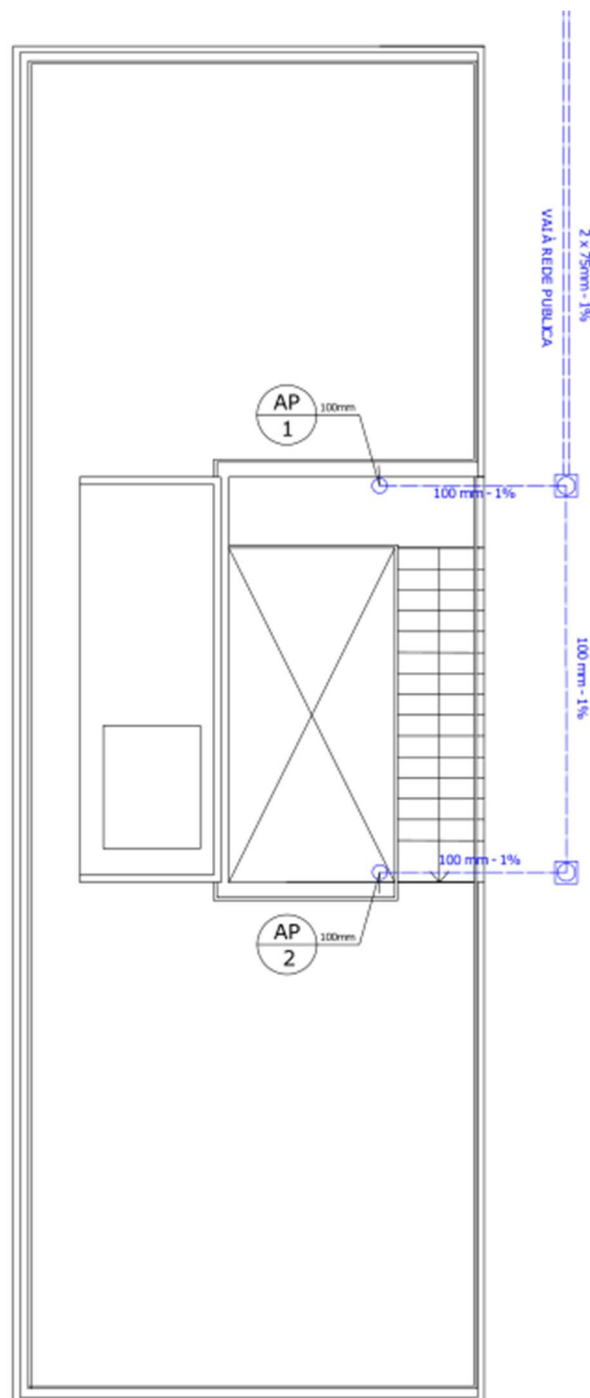


Figura 5.53 - Traçado geral do sistema de águas pluviais

Fonte: Autores (2019)

5.12.4 Iluminação Artificial

Também foi realizado um projeto luminotécnico para a residência, de modo a garantir adequação por todos os ambientes de um nível mínimo de luminância que garanta o conforto dos usuários, mesmo em períodos em que não há iluminação natural. A NBR 8.995 (ANT, 2013) define valores de luminância mínimo exigidos para diferentes ambientes de trabalho. Contudo, não aborda sobre ambientes de uma residência.

Em geral, os recintos de uma casa requerem menores potências luminosas, pois conta, principalmente, com áreas de lazer e de descanso que não exigem muita iluminação. Nesses locais, para se obter um conforto maior, utiliza-se lâmpadas mais amareladas, por exemplo, com temperaturas de cor, geralmente, próximo a 3000 K. Em função dessas características, estima-se, com base em valores definidos na NBR 8.995 (ABNT, 2013), as seguintes faixas de iluminância, que seriam adequadas para garantir conforto aos usuários da residência, em função do ambiente e de seu uso:

- Cozinha: 250 lux;
- Banheiro: 200 lux;
- Salas: 150 lux;
- Quartos: 150 lux;
- Áreas de circulação: 100 lux.

Considerando a proposta estabelecida no projeto, de utilização de estruturas, sistemas e instalações prediais aparentes, optou-se como elemento principal de iluminação a utilização de trilhos aparentes com a utilização de luminárias spot, conforme modelo apresentado na Figura 5.54. De modo geral, esses modelos apresentam os seguintes benefícios ao projeto:

- Não requerem vários pontos de luz, de modo que com um ponto já se conecta todo o trilho;
- Há liberdade na utilização e no direcionamento dos spots, de modo a posicionar o foco reduzindo desconforto por ofuscamento;
- Não interferem na altura do pé-direito da residência, já que não necessitam de forro ou algum outro elemento de fixação além dos trilhos, que é posicionado diretamente na laje.



Figura 5.54 - Modelo de luminária Spot

Fonte: Lumicenter (2019), disponível em <https://www.lumicenteriluminacao.com.br/>

Esses spots estarão serão responsáveis pela iluminação dos principais elementos da residência: quartos, salas, áreas de circulação de banheiros. Nos outros ambientes, optou-se pela utilização de alguns outros elementos, tais como:

- Luminárias pendentes sobre o balcão da cozinha e sobre a mesa de jantar, uma vez que áreas de alimentação geralmente exigem maior iluminação para conforto;
- Arandelas próximo às cabeceiras das camas;
- Arandelas de chão e de parede no pátio central para uma boa iluminação dessa área externa, em caso de possíveis eventos e confraternizações;
- Arandelas de parede na cobertura e na garagem;
- Luminárias de piso no jardim abaixo da escada.

Como forma de se avaliar a adequação dessas luminárias para a obtenção de conforto nos ambientes, através de uma iluminância adequada, realizou-se uma simulação luminotécnica com o *software* Dialux. Nele, foi realizado a modelagem da residência e adicionado todos os elementos de iluminação correspondentes. A Figura 5.55 revela os pavimentos tipos modelados, assim como o posicionamento dos spots e luminárias.

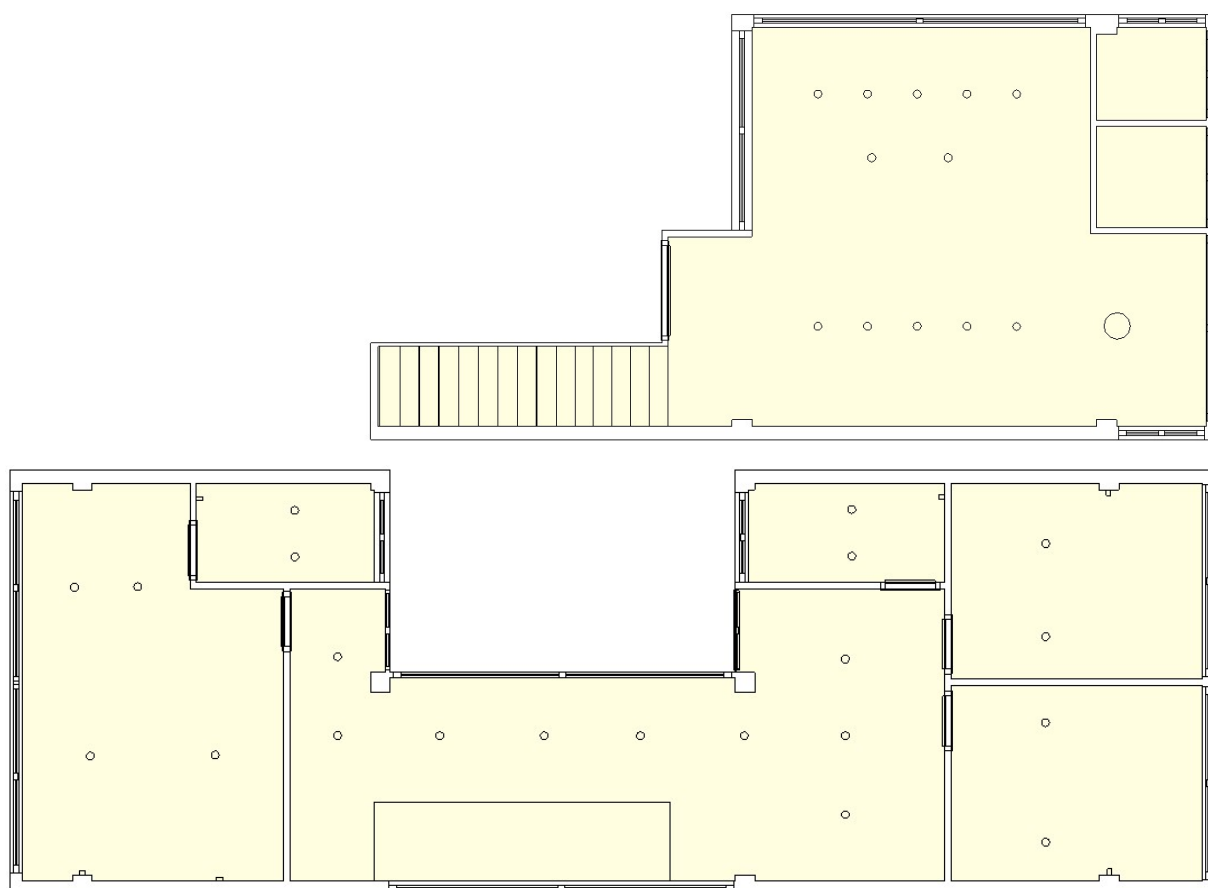
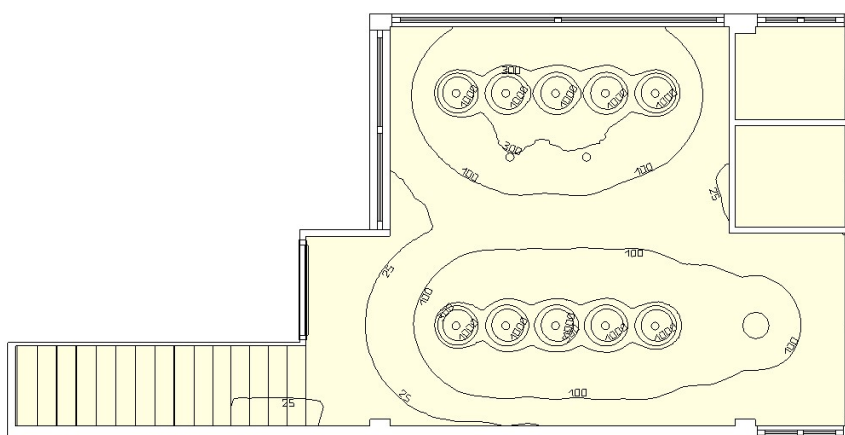


Figura 5.55 - Plantas dos pavimentos com posicionamento dos spots e das luminárias

Fonte: Autores (2019)

Após a realização da simulação, obteve-se as curvas fotométricas (ou isolux) representadas pela Figura 5.56, correspondentes a cada um dos pavimentos. A Figura X consiste na análise gráfica desses resultados através de um diagrama de cores falsas.



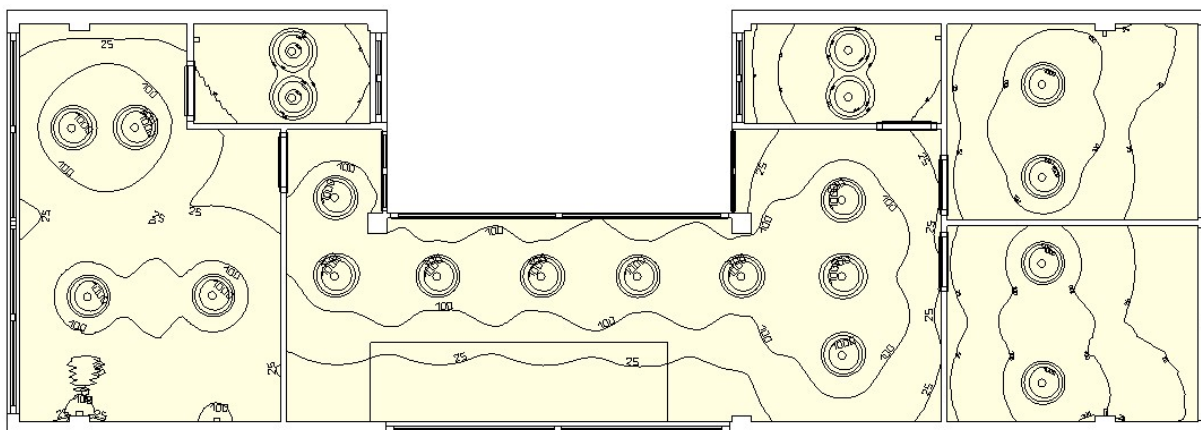


Figura 5.56 - Curvas fotométricas dos pavimentos tipos após simulação

Fonte: Autores (2019)

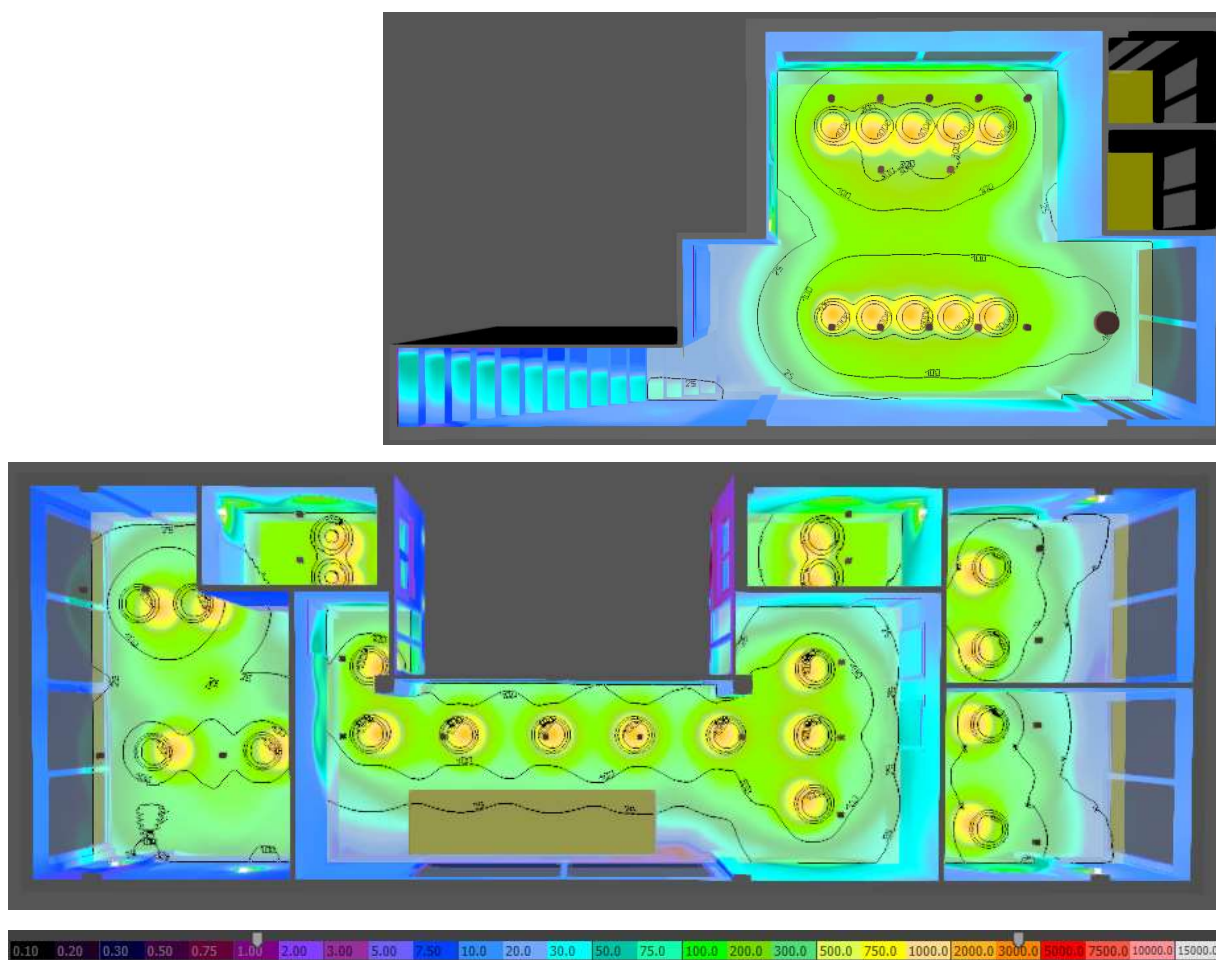


Figura 5.57 - Representação em cores falas para avaliação do desempenho luminotécnico do sistema de iluminação artificial projetado

Fonte: Autores (2019)

Interpreta-se, a partir dos resultados, que a quantidade e o posicionamento dos spots são suficientes para garantir uma iluminância predominante entre 50 e 200 lux para todos os ambientes, o que se entende como confortável, de acordo com os parâmetros anteriormente definidos.

5.12.5 Elétrica

Após a finalização do projeto luminotécnico, pode-se realizar o projeto elétrico da residência, de modo a identificar os locais em que devem ser instalados os conduítes e de qual diâmetro, além de determinar a corrente dos circuitos, para o dimensionamento adequado dos disjuntores. Para a elaboração desse projeto, portanto, utiliza-se como referência a NBR 5.410 (ABNT, 2008).

Como primeira etapa para a realização do projeto, deve-se entender quais são as áreas e as necessidades relativas a cada um dos ambientes, referente a equipamentos e à iluminação. Em seguida, utilizou-se a plataforma Woca, desenvolvida pela Ocalev, onde foram elaboradas as plantas da residência (térreo e 1º pavimento) e adicionados os pontos de iluminação, de tomada e de interruptores, além do quadro de energia.

A partir da definição desses pontos, pôde-se incluir todos os condutos, que conectam esses elementos e, então, determinar toda a fiação envolvida no projeto. Os resultados desse dimensionamento estão representados na Figura 5.58 e Figura 5.59.

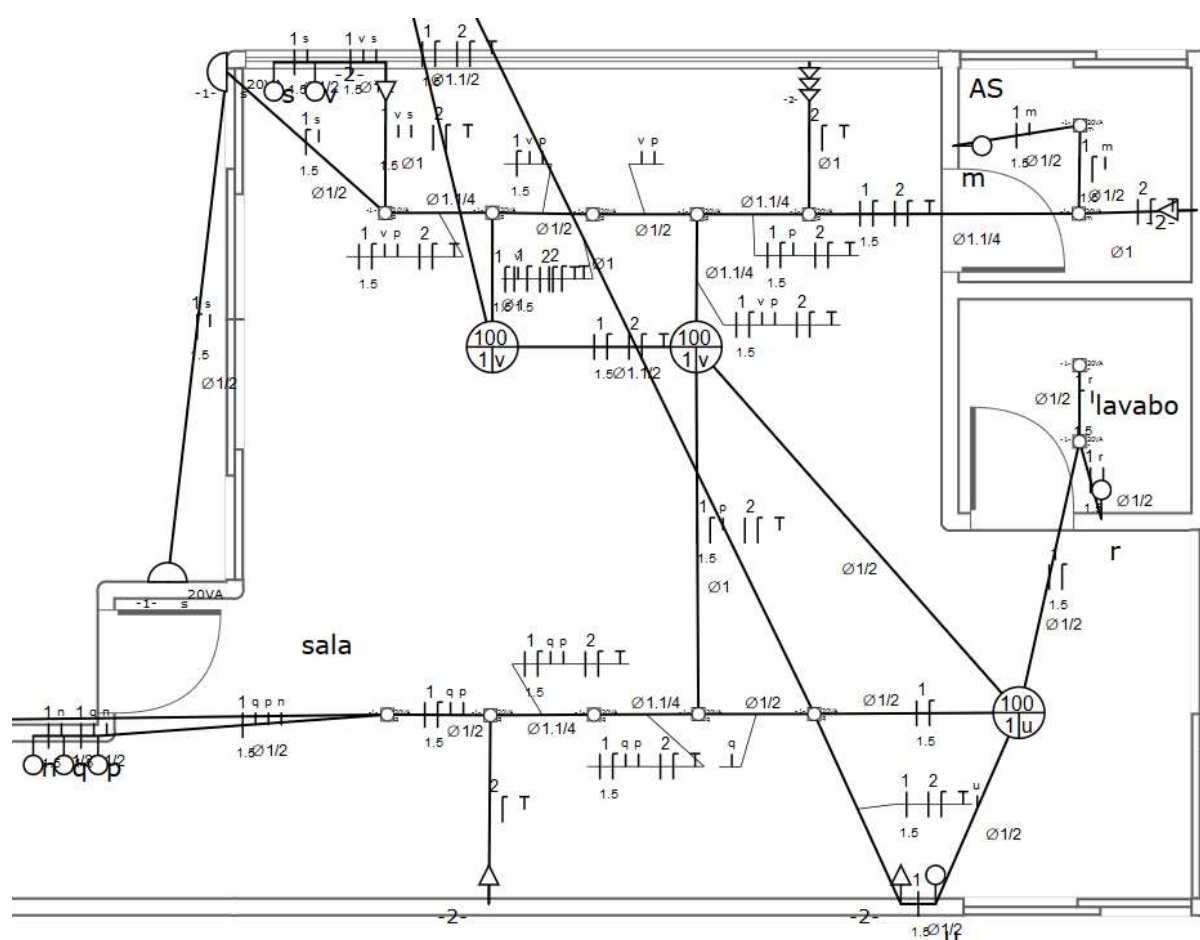


Figura 5.58 - Representação do sistema elétrico da residência, para o térreo

Fonte: Autores (2019)

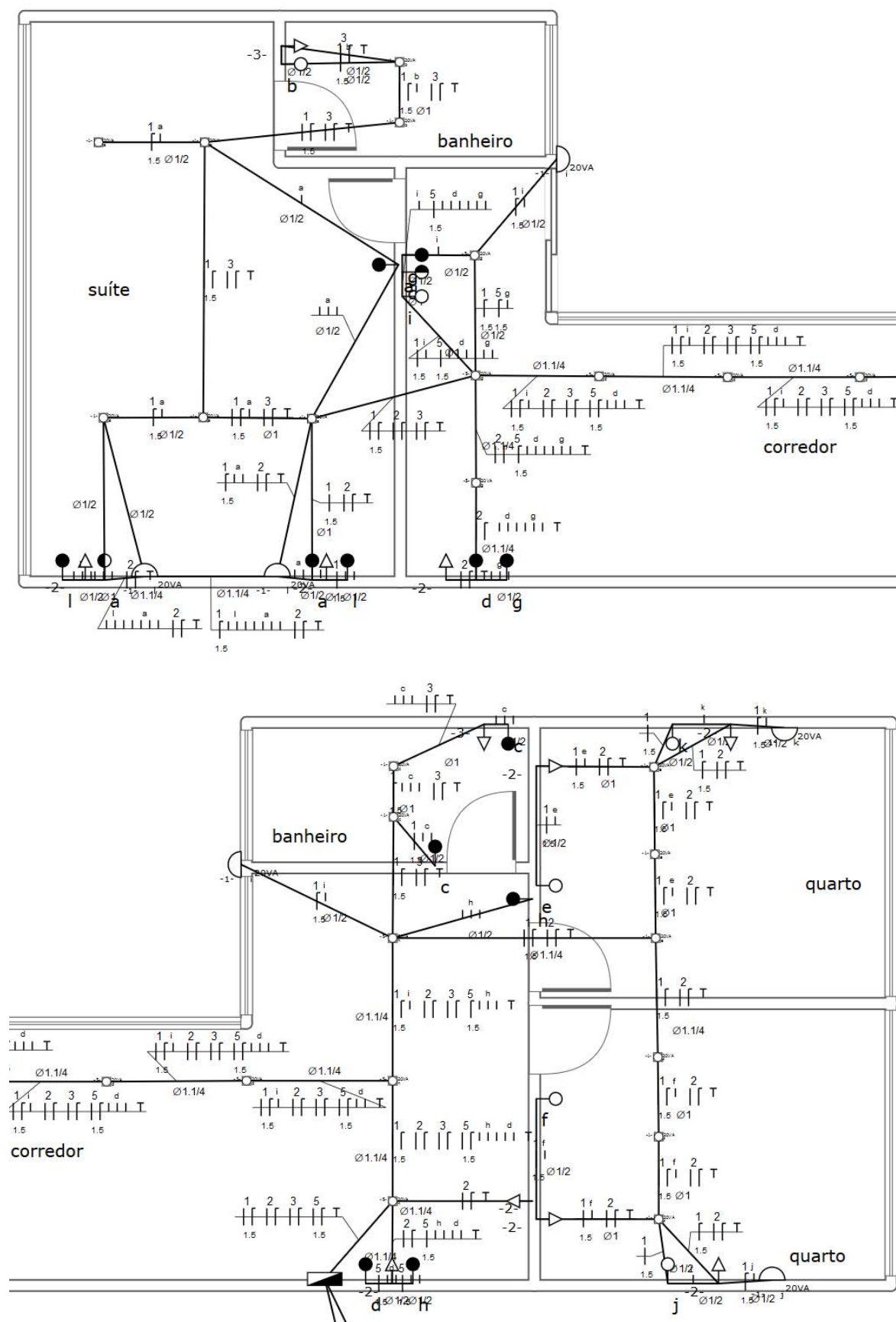


Figura 5.59 - Representação do sistema elétrico da residência, para o 1º Pavimento

Fonte: Autores (2019)

As seções dos condutores e os diâmetros dos eletrodutos foram dimensionados de forma automática pela plataforma Woca, de modo a atender as exigências da NBR 5.413 (ABNT, 2008). No caso, as seções dos condutores precisam respeitar a capacidade de condução de corrente, respeitando as exigências apresentadas na Tabela 5.32. Já os eletrodutos foram dimensionados, de forma a atender os diâmetros mínimos definidos pela Tabela 5.33.

Tabela 5.32 - Dimensionamento de condutores

Fonte: NBR 5.410 (2008)

Seções nominais mm²	– Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares — cobre e alumínio, isolamento de PVC – Temperatura de 70 °C no condutor – Temperaturas — 30 °C (ambiente); 20 °C (solo).											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	361	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336

Tabela 5.33 - Tabela de condutores por eletroduto

Fonte: NBR 5.410 (2008)

Tabela de condutores por eletroduto									
Seção do condutor (mm²)	Número de condutores no mesmo eletroduto								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Diâmetro mínimo do eletroduto em polegadas								
1,5 mm²	1/2	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	3/4	1	1
12,5 mm²	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1	1	1.1/4
4 mm²	1/2	3/4	3/4	3/4	1	1	1.1/4	1.1/4	1.1/4
6 mm²	1/2	3/4	1	1	1.1/4	1.1/4	1.1/4	1.1/4	1.1/2
10 mm²	1/2	1	1.1/4	1.1/4	1.1/2	1.1/2	2	2	2
16 mm²	3/4	1.1/4	1.1/4	1.1/2	2	2	2	2	2.1/2
25 mm²	3/4	1.1/4	1.1/4	1.1/2	2	2	2.1/2	2.1/2	2.1/2

Vale ressaltar, contudo, que não foram incluídos equipamentos elétricos como micro-ondas, chuveiros elétricos ou condicionadores de ar, que exigiriam circuitos específicos para cada um deles, por conta de segurança, levando em consideração as suas demandas energéticas. A Tabela 5.34 consiste na síntese desse dimensionamento.

Tabela 5.34 - Dimensionamento do sistema elétrico da residência**Fonte: Autores (2019)**

Circuito	Seção (mm²)	Disjuntor (Ip) (A)	Tensão (V)	Potência (VA)	Corrente (Ib)	FCA	Ib'	Descrição
1	1,5	10	127	1060	8,35	0,54	15,46	Iluminação
2	4	16	127	1600	12,6	0,54	23,33	Tomadas
3	2,5	10	127	200	1,57	0,54	2,92	Tomadas
5	1,5	10	127	200	1,57	0,54	2,92	Iluminação

5.13 Avaliação de desempenho: iluminação natural e térmica

Publicada apenas em 2013, a Norma de Desempenho (ABNT NBR 15.575/2013: Edificações Habitacionais) define uma série de requisitos a todo novo empreendimento para que se garantir um mínimo de qualidade ao projeto. Dessa forma, entende-se que o projeto de residência em estudo deve também atender aos critérios da norma de desempenho.

Entre os vários critérios apresentados na norma, destacam-se dois principais para essa etapa de atual de anteprojeto da residência: desempenho lumínico e térmico. Essas análises são importantes desde o início do projeto, pois são determinantes para a definição de sua geometria e de seus espaços internos. No caso de não atendimento à norma, por exemplo, deve-se realizar modificações, o que ainda é possível nessa etapa, sem muitos prejuízos.

A NBR 15.575 (ABNT, 2013) define parâmetros de análise que a construção deve atender, independente da solução construtiva adotada, enquadrando-a dentro de três níveis de desempenho: Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S). É obrigatório se alcançar pelo menos o nível Mínimo definido.

5.13.1 Avaliação de desempenho lumínico

Para o desempenho lumínico são especificados valores mínimos obrigatórios a serem atendidos durante o dia nos ambientes sala de estar, dormitório, copa/cozinha e área de serviço, sendo definido como critério de avaliação desse requisito a iluminância, em lux, no centro dos ambientes aplicáveis.

Para atendimento ao nível mínimo exigido pela norma, todos os ambientes avaliados devem possuir valor igual ou maior a 48 lux, para os ambientes localizados no pavimento térreo, e igual ou maior a 60 lux, para os ambientes dos outros pavimentos. Na Tabela 5.35 retirada da NBR 15.575 (ABNT, 2013) essas informações estão resumidas para melhor visualização.

Tabela 5.35 - Níveis de iluminação natural para os diferentes ambientes da habitação

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Dependência	Iluminância (lux) para os níveis de desempenho		
	M	I	S
Sala de estar; Dormitórios; Cozinha/copa; Área de serviço.	≥ 60	≥ 90	≥ 120
Sala de estar <u>no TÉRREO</u> ; Dormitórios <u>no TÉRREO</u> ; Cozinha/copa <u>no TÉRREO</u> ; Área de serviço <u>no TÉRREO</u> .	≥ 48	≥ 72	≥ 96
Banheiro Corredor ou escada interna à unidade Corredor de uso comum (prédios) Escadaria de uso comum (prédios) Garagens/estacionamentos (demais ambientes)	Não requerido	≥ 30	≥ 45

No caso deste projeto, deseja-se a obtenção do nível de qualidade superior para todos os ambientes, incluindo os ambientes de corredor e da escada.

Para efeito de avaliação da iluminância dos ambientes, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) recomenda a utilização de um método abordado na norma NBR 15.215 (ABNT, 2005), que consiste na realização de uma máscara para todos os ambientes. Contudo, entende-se que esse método não é muito preciso, pois não contempla adequadamente no cálculo as diferenças de radiações na abóbada celeste, o posicionamento do norte geográfico e a influência de obstáculos, por exemplo. Portanto, utiliza-se um método de simulação através do software *Radiance*, desenvolvido pelo *Building Technologies Progra*, dentro da *Environmental Energy Technologies Division* do *Lawrence Berkeley National Laboratory*. O algoritmo de simulação desenvolvido garante resultados mais precisos para a iluminação natural, através de um método determinístico do traçado da radiação solar, considerando uma geometria espacial 3D.

Para essa simulação, portanto, é importante atentar-se para as seguintes considerações de análise, que foram inseridas como *inputs* para o estudo lumínico realizado, descritas a seguir:

- Céu intermediário sem radiação solar direta, com nebulosidade média (índice de nuvens de 50%) e considerando a latitude e longitude do local do empreendimento;

- Simulações realizadas no plano horizontal, no centro de cada ambiente e com altura de 0,75 m acima do nível do piso (de acordo com a exigência da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013));
- Não foram consideradas contribuições da iluminação artificial e eventuais obstruções opacas móveis (cortinas e persianas, por exemplo), com exceção das portas, que foram mantidas fechadas;
- Também não foram consideradas eventuais árvores próximas ao empreendimento;
- Foram consideradas as obstruções e sombreamentos resultantes das edificações vizinhas, muros e escadas;
- Simulação da residência nos horários críticos estabelecidos pela norma NBR 15.575 (ABNT, 2013): **23 de abril às 9:30 e 23 de outubro às 15:30;**
- Utilização de revestimentos das superfícies com refletância conforme apresentados na Tabela 5.36. Além disso, todas as janelas e portas operáveis foram consideradas compostas de vidro incolor comum, com transmitância luminosa de 85%, e as superfícies das obstruções externas, com refletância de 50% (cor média).

Tabela 5.36 - Refletância dos revestimentos considerados para a simulação

Fonte: Autores (2019)

Sistema	Acabamento	Refletância
Piso Cozinha	Cerâmica Clara	0,7
Bancada Cozinha	Granito	0,5
Parede Hidráulica	Cerâmica Clara	0,7
Piso Sala e Dormitório	Lamparquet	0,5
Parede	Pintura Branca	0,8
Forro	Madeira CLT	0,6
Esquadrias	Madeira	0,5
Fachada	Madeira Clara	0,6

Utilização do software *Rhinoceros* para modelagem da residência, do *plugin Grasshopper* para definição e montagem dos critérios de simulação e dos softwares *Radiance* e *Daysim* para realização da simulação e interpretação dos resultados, respectivamente.

Ao final do processo de modelagem, obtém-se a representação volumétrica da residência ilustrada na Figura 5.60 e Figura 5.61.

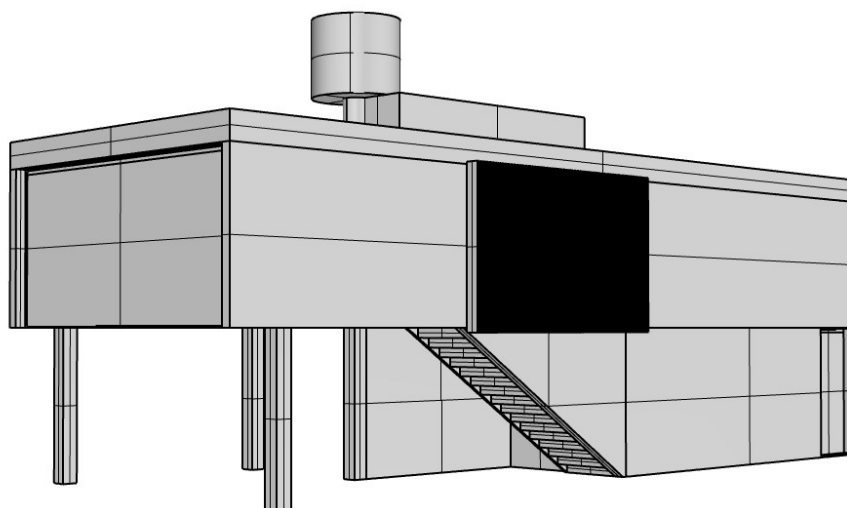


Figura 5.60 - Perspectiva 3D das fachadas sul e leste do projeto

Fonte: Autores (2019)

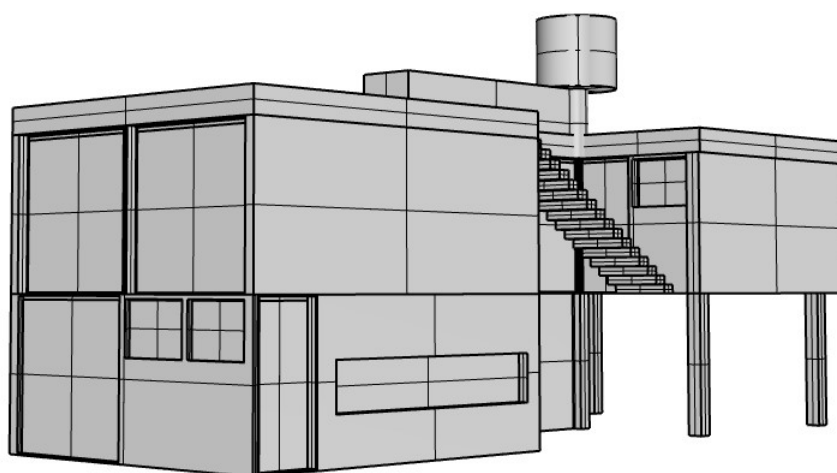


Figura 5.61 - Perspectiva 3D das fachadas norte e oeste do projeto

Fonte: Autores (2019)

O algoritmo desenvolvido para o Grasshopper, de modo a inserir todos as condições e critérios de simulação no software *Radiance*, é apresentado na Figura 5.62 e Figura 5.63, que contempla o ambiente de trabalho realizado (popularmente chamado de *canvas*).

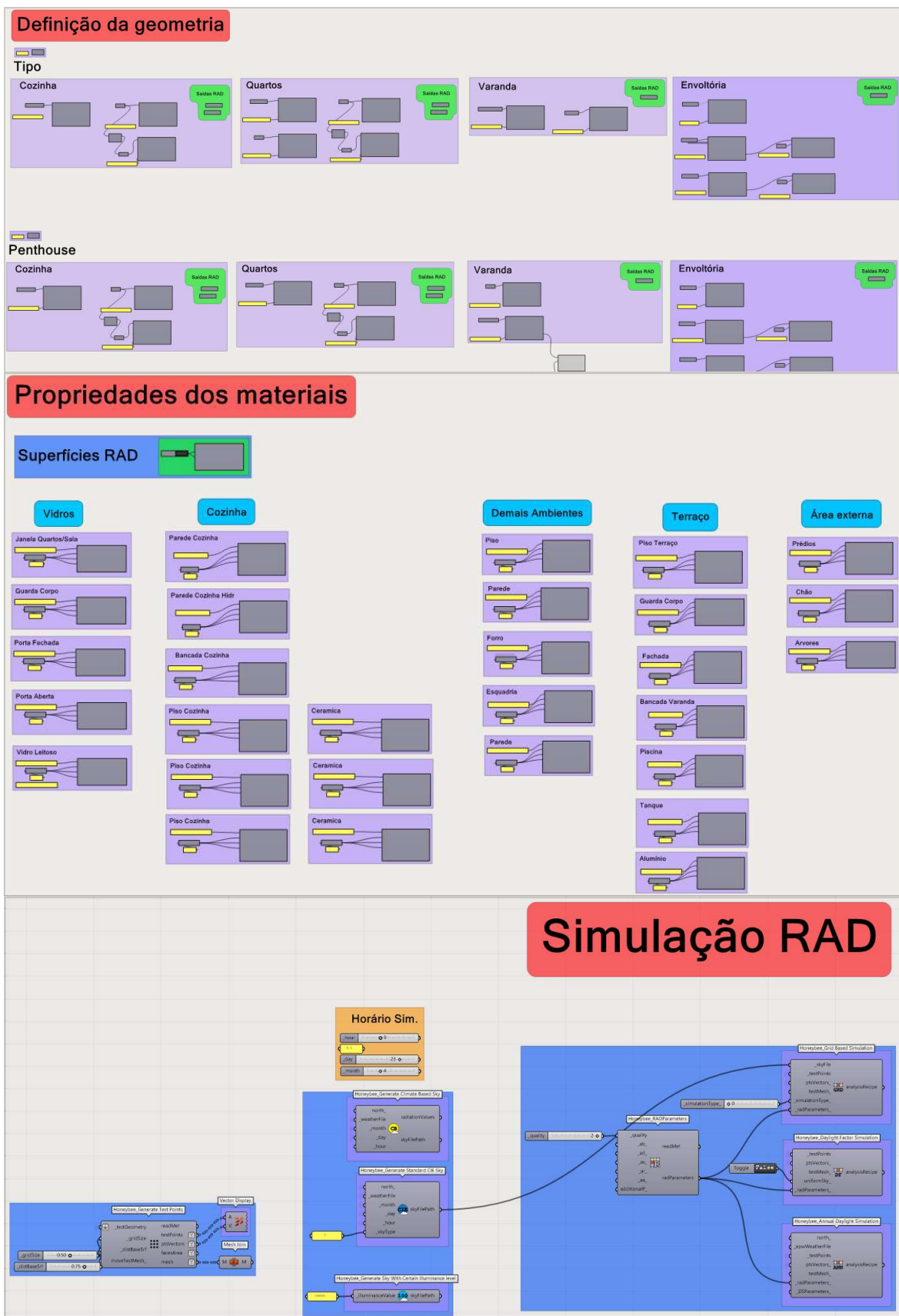


Figura 5.62 – Procedimentos do algoritmo de simulação

Fonte: Autores (2019)

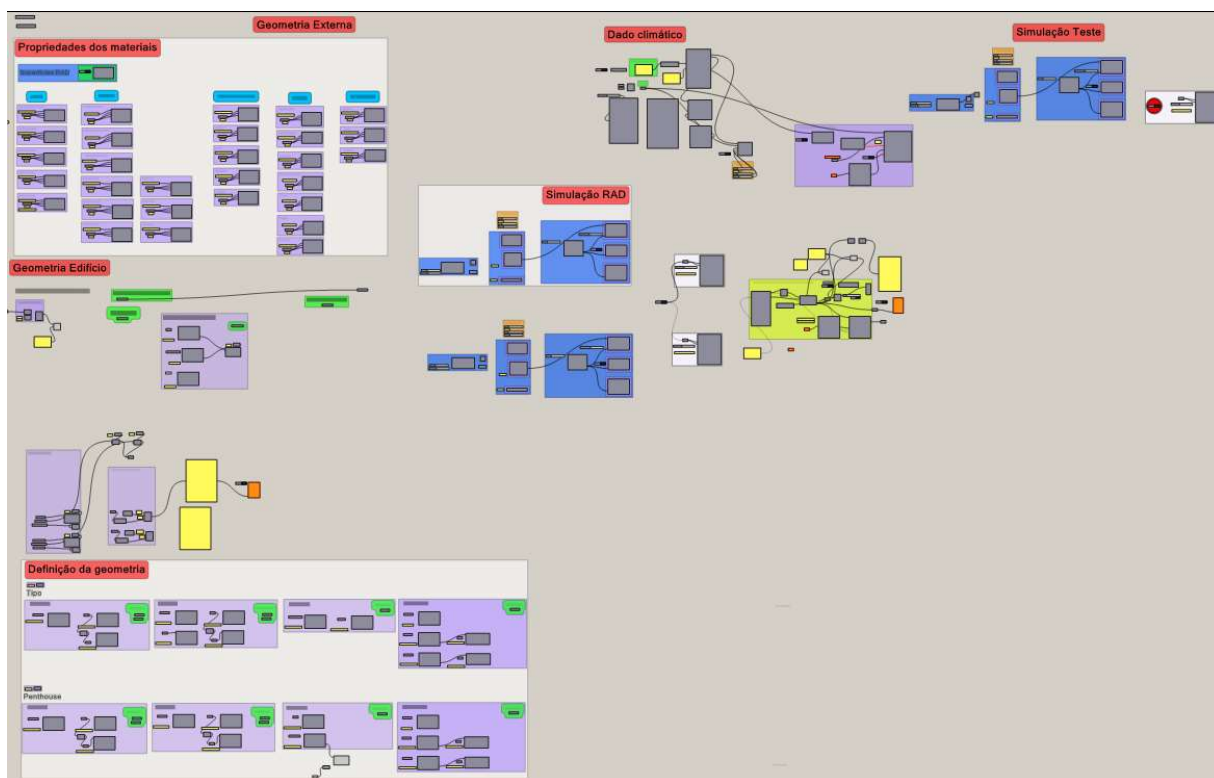


Figura 5.63 - Ambiente de trabalho (*canvas*) do modelo para simulação da iluminação natural

Fonte: Autores (2019)

Por fim, os resultados para cada um dos pavimentos estão sintetizados na Tabela 5.37, de acordo com o horário específico de simulação. A interpretação gráfica desses resultados, assim como a identificação dos pontos centrais utilizados na simulação, está apresentada na Figura 5.64 e na Figura 5.65.

Tabela 5.37 - Resultados da simulação para iluminação natural

Fonte: Autores (2019)

Ambiente	Pavimento	Iluminância (lux)	
		23/04 - 09:30	23/10 - 15:30
AS	Térreo	2849,31	3634,88
Lavabo	Térreo	2411,32	2027,91
Cozinha	Térreo	467,33	406,35
Sala	Térreo	637,35	480,33
Quarto 1	1o Pavimento	1861,12	1656,31
Quarto 2	1o Pavimento	1946,7	1701,12
Banheiros Quartos	1o Pavimento	137,77	144,66
Suíte	1o Pavimento	1681,63	1766,54
Banheiro Suíte	1o Pavimento	635,23	643,4
Corredor	1o Pavimento	1823,3	3408,79
Sala Íntima	1o Pavimento	359,82	533,51



Figura 5.64 - Resultados da iluminação natural em 23/04 às 9:30

Fonte: Autores (2019)



Figura 5.65 - Resultados da iluminação natural em 23/10 às 15:30

Fonte: Autores (2019)

Os resultados revelam que o átrio central da residência, com a utilização de esquadrias de vidro em todo o seu contorno, favorece positivamente nos níveis de iluminação natural dos ambientes internos. A norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) aponta que níveis superiores a

120 lux garante nível de desempenho Superior, o que indica uma boa qualidade de projeto. Portanto, conclui-se que a geometria projetada para a cada está em conformidade com as exigências mínimas da norma para desempenho lumínico.

5.13.2 Avaliação do desempenho térmico

Para a avaliação do desempenho térmico de um empreendimento, a norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) permite dois métodos de avaliação, apresentados a seguir.

- Análise dos valores mínimos e máximos de temperatura nos ambientes de permanência prolongada (sala de estar e dormitórios) para as condições de verão e inverno através de simulação computacional;
- Análise das propriedades de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) das fachadas e coberturas da residência, através de um cálculo prescritivo.

Assim como na análise de iluminação natural, também é adotado o método de simulação computacional. Nesse caso, o software de simulação utilizado é o *EnergyPlus*, desenvolvido pelo *Department of Energy's* (DOE) e pelo *Building Technologies Office* (BTO) dos Estados Unidos, hoje gerenciado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). O algoritmo de simulação desenvolvido pelo software utiliza informações climáticas mais recentes e contempla as trocas de calor e de renovação de ar entre diferentes zonas térmicas, o que garante resultados mais precisos e próximos à realidade.

Para a simulação de desempenho térmico na fase de projeto, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) define que devem ser analisados os dias típicos de projeto de verão e inverno. Esses dias típicos devem ser elaborados a partir dos dados bioclimáticos sobre algumas cidades brasileiras (capitais) disponíveis no Anexo A da norma ou dos dados climáticos disponibilizados por instituições reconhecidas. A cidade de Ribeirão Preto, no caso, não está inclusa nessa lista fornecida pela NBR 15.575 (ABNT, 2013). Por isso, utiliza-se as informações do próprio arquivo climático de Ribeirão Preto, pertencente à zona bioclimática 4, fornecido pela NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), para a realização do estudo de desempenho térmico.

Para atendimento do nível mínimo exigido pela norma, todos esses ambientes de permanência prolongada avaliados devem possuir, nas condições de verão, temperatura interna máxima

inferior à temperatura externa máxima, e, nas condições de inverno, temperatura mínima superior a 3° C da temperatura externa mínima. Na Tabela 5.38 e na Tabela 5.39, retiradas da NBR 15.575 (ABNT, 2013), estão sintetizadas essas informações para melhor visualização.

Tabela 5.38 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013)

NÍVEL DE DESEMPENHO	CRITÉRIO	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$	$T_{i,máx.} \leq T_{e,máx.}$
I	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2\text{ °C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 1\text{ °C})$
S	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 4\text{ °C})$	$T_{i,máx.} \leq (T_{e,máx.} - 2\text{ °C})$
<i>T_{i,máx.}</i> é o valor diário máximo da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. <i>T_{e,máx.}</i> é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15.220-3.		

Tabela 5.39 - Critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Fonte: NBR 15.575 (ABNT, 2013)

NÍVEL DE DESEMPENHO	CRITÉRIO	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,min.} \geq (T_{e,min.} + 3\text{ °C})$	Nestas zonas, este critério não precise ser verificado
I	$T_{i,min.} \geq (T_{e,min.} + 5\text{ °C})$	
S	$T_{i,min.} \geq (T_{e,min.} + 7\text{ °C})$	
Ti,min. é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus Celsius. Te,min. é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius. NOTA Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15.220-3.		

Além disso, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) permite variar os seguintes parâmetros para os ambientes que não atenderem aos requisitos de verão:

- Taxa de ventilação → Adoção inicial da taxa de ventilação do ambiente de 1 renovação/hora e de até 5 renovações/hora, em caso de não atendimento;
- Obstrução das janelas → Adoção inicial de 0% de obstrução nas janelas dos ambientes críticos e de, no mínimo, 50% de obstrução nas janelas, em caso de não atendimento.

Para essa simulação, é importante atentar-se para as seguintes considerações de análise, que foram inseridas como *inputs* para o estudo térmico realizado e apresentadas a seguir.

- Foram consideradas as trocas de calor entre ambientes adjacentes, mesmo que de diferentes pavimentos. Todos os ambientes analisados foram modelados como zonas térmicas separadas para realização da simulação.
- Foram avaliados todos os resultados dos espaços de permanência prolongada, não somente os exigidos pela norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013) - salas e dormitórios -, pois se busca um projeto com eficiência e conforto.
- Para essa simulação de verificação do desempenho térmico não foi considerada a presença de fontes internas de calor (ocupantes, condicionadores de ar, lâmpadas, entre outros equipamentos), como exige a norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013). Contudo, entende-se que isso é um fator importante na análise do conforto e será realizado com o avanço do projeto.
- Foi adotada uma taxa de renovação de ar de 1 ren/h e ausência de obstrução nas janelas.
- Conforme recomendado na NBR 15.575 (ABNT, 2013), as edificações do entorno não foram consideradas como obstruções.
- Foi utilizado um arquivo climático gerado pela ASHRAE, retirado do banco de dados TRYx (*Typical Meteorological Year*) da NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), correspondente ao Aeroporto de Leite Lopes de Ribeirão Preto.

Utilização do software *Rhinoceros* para modelagem da residência, com a utilização do *plugin Grasshopper* para a definição e montagem dos parâmetros e critérios de simulação e dos softwares *EnergyPlus* e *OpenStudio* para a realização da simulação e interpretação dos resultados, respectivamente.

É importante ressaltar que a composição das superfícies de vedação e estruturais são determinantes para a caracterização da transmitância térmica de cada elemento, o que é fundamental para a análise do desempenho térmico. Por isso, alguns materiais foram definidos para a análise térmica do projeto, quais sejam:

- Parede interna de wood frame de 13,9 cm, composta por duas camadas de gesso de 1 cm, duas camadas de OSB de 1,5 cm cada, estrutura interna de madeira e lã de vidro, como isolante térmico, de 8,9 cm - $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Parede interna, nas áreas molhadas, de wood frame de 13,9 cm, composta por uma camada de gesso de 1 cm e uma camada de cerâmica de 1 cm, duas camadas de OSB de 1,5 cm,

estrutura interna de madeira e lã de vidro, como isolante térmico, de 8,9 cm - $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Parede interna, nas áreas molhadas, de wood frame de 13,9 cm, composta por duas camadas de cerâmica de 1 cm, duas camadas de OSB de 1,5 cm cada, estrutura interna de madeira e lã de vidro, como isolante térmico, de 8,9 cm - $U = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Parede externa de wood frame, composta por camada de gesso de 1 cm, duas camadas de OSB de 1,5 cm cada, com estrutura interna de madeira e lã de vidro, como isolante térmico, de 12,7 cm, além de revestimento em madeira de 1,5 cm de espessura - $U = 1,86 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Parede externa de wood frame, composta por camada de cerâmica de 1 cm, duas camadas de OSB de 1,5 cm cada, com estrutura interna de madeira e lã de vidro, como isolante térmico, de 12,7 cm, além de revestimento em madeira de 1,5 cm de espessura - $U = 1,86 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Entrepiso com uma camada de laje em CLT de 10 cm, camada de lã de vidro, para isolamento acústico, de 2 cm, contrapiso de 2 cm e revestimento em taco de madeira de 1,5 cm - $U = 0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Entrepiso com uma camada de laje em CLT de 10 cm, camada de lã de vidro, para isolamento acústico, de 2 cm, contrapiso de 1,5 cm e revestimento cerâmica de 1 cm - $U = 0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Cobertura composta por laje em CLT de 10 cm, camada de regularização de 10 cm, impermeabilizante de 1 cm, camada de poliestireno de 2 cm e proteção mecânica de 2 cm - $U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Vidro insulado de cor incolor (de 4 mm a 8 mm) - $U = 5,8 \text{ W/m}^2$ e $FS = 0,85$.
- Vidro insulado de cor leitosa (de 4 mm a 8 mm) - $U = 5,8 \text{ W/m}^2$ e $FS = 0,70$.

Ao final do processo de modelagem, obtém-se as representações volumétricas ilustradas na Figura 5.66 e na Figura 5.67.

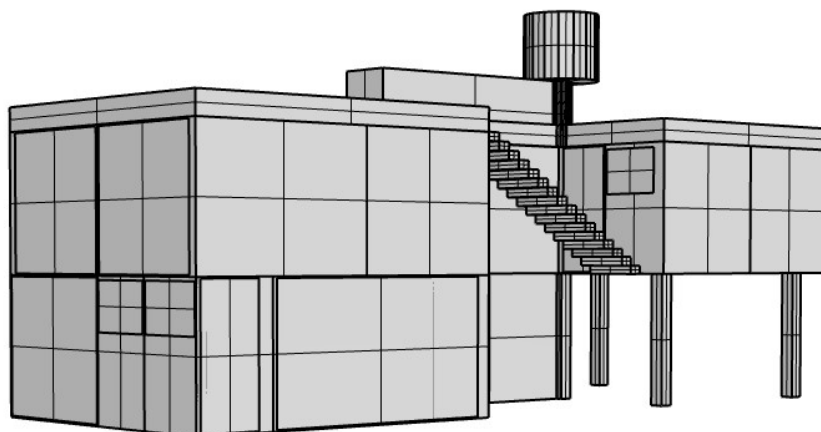


Figura 5.66 - Perspectiva 3D das fachadas sul e leste do projeto

Fonte: Autores (2019)

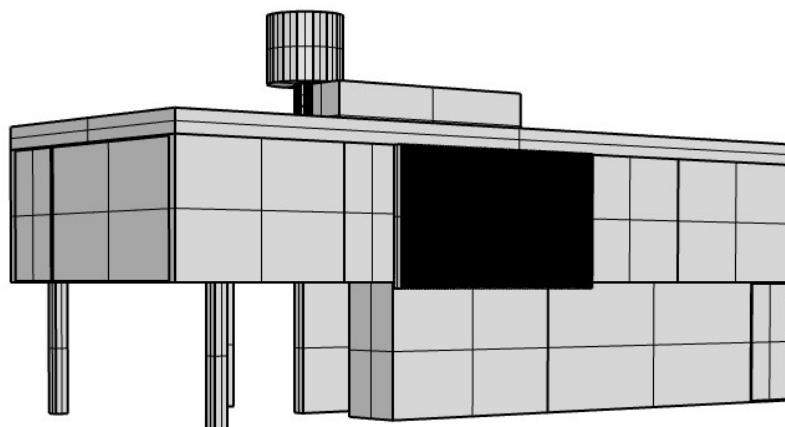


Figura 5.67 - Perspectiva 3D das fachadas norte e oeste do projeto

Fonte: Autores (2019)

O algoritmo desenvolvido para o Grasshopper, de modo a inserir todos as condições e critérios de simulação no software *EnergyPlus*, é apresentado na Figura 5.69, Figura 5.70 e Figura 5.71, que contempla o ambiente de trabalho realizado (popularmente chamado de *canvas*). Vale ressaltar que, para a delimitação adequada da geometria da residência, é necessário a caracterização de todos os ambientes separadamente, que são nomeados como zonas térmicas. A Figura 5.68 apresenta o algoritmo utilizado para a criação dessas zonas térmicas.

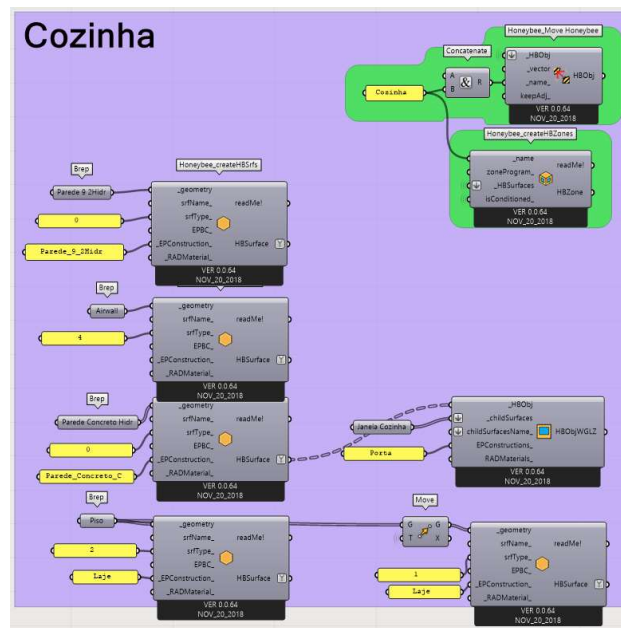


Figura 5.68 - Algoritmo de criação da zona térmica

Fonte: Autores (2019)

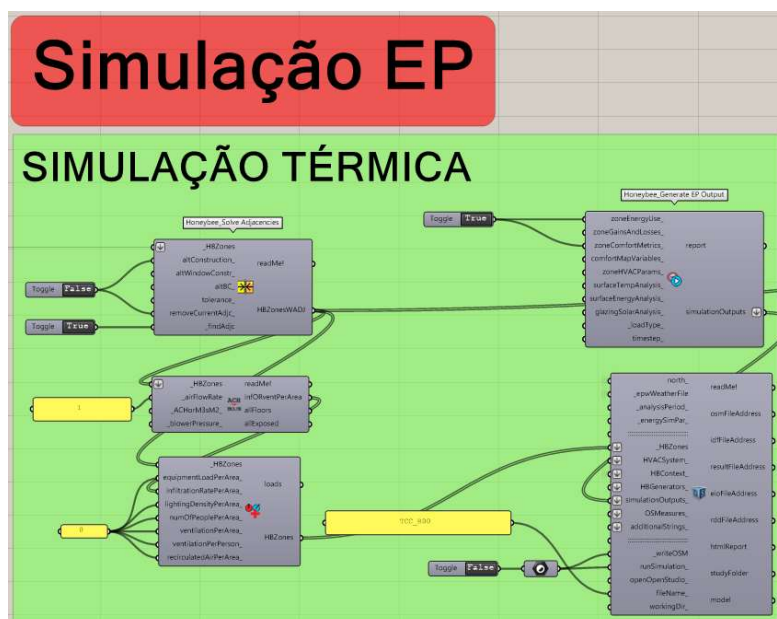


Figura 5.69 – Procedimento para realização da simulação térmica

Fonte: Autores (2019)

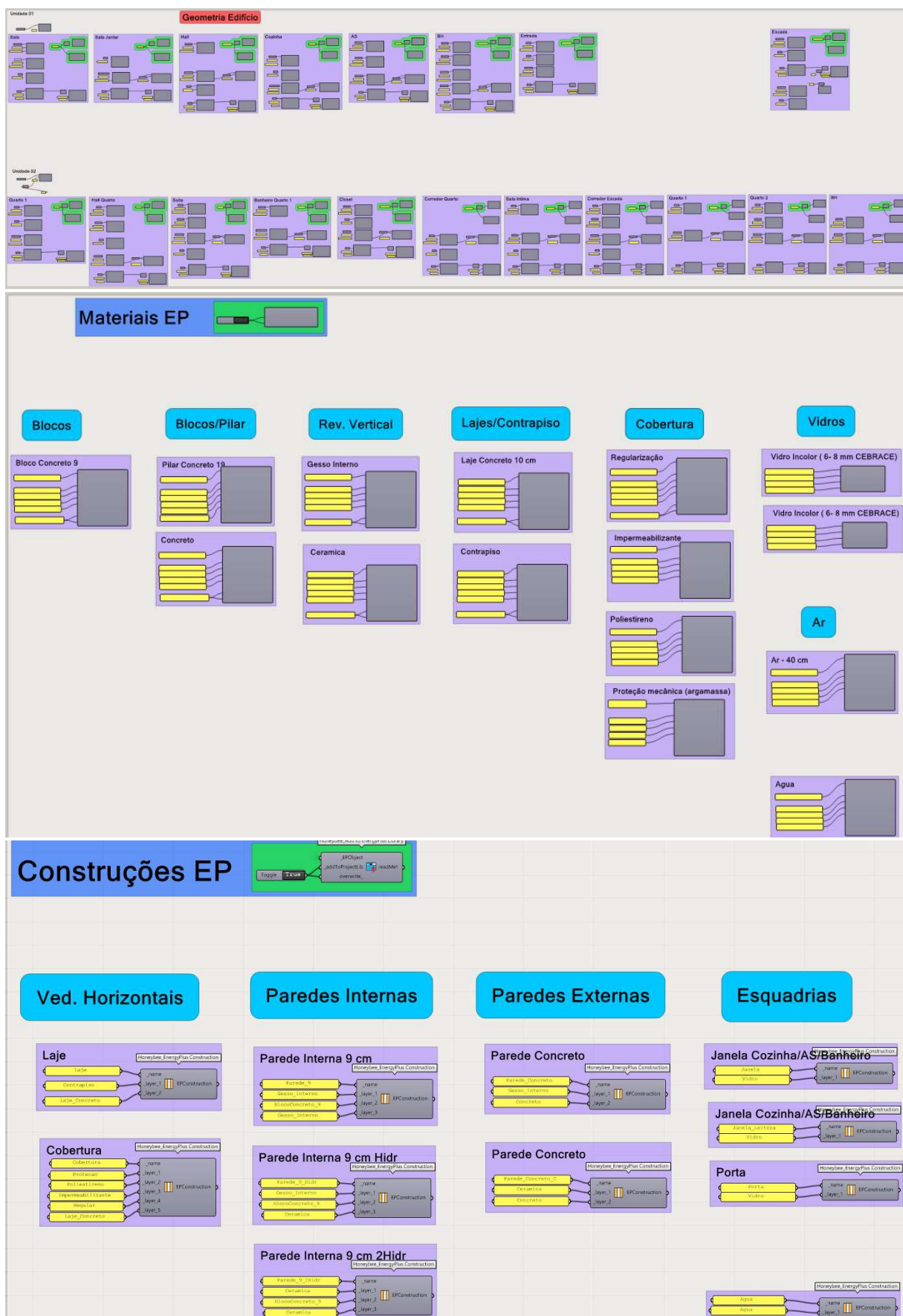


Figura 5.70 - Algoritmo para definição da geometria e dos materiais da residência

Fonte: Autores (2019)

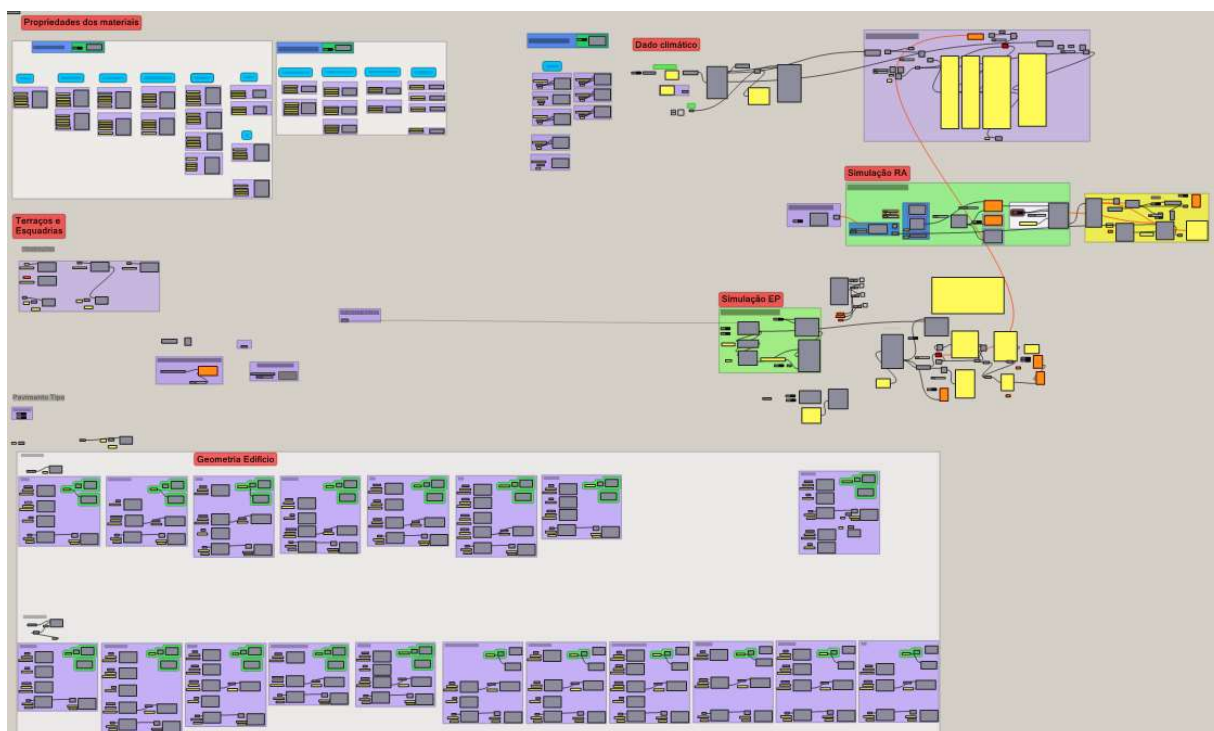


Figura 5.71 - Ambiente de trabalho (*canvas*) do modelo para simulação térmica

Fonte: Autores (2019)

Por fim, os resultados obtidos para o desempenho térmico na condição de verão e na condição de inverno da residência estão sintetizados na Tabela 5.40. A interpretação gráfica desses resultados, para as temperaturas médias, está apresentada na Figura 5.72. Com essa interpretação gráfica, entende-se o comportamento das cargas térmicas que são distribuídas no interior da casa projetada e possibilita a verificação dos ambientes mais críticos.

Tabela 5.40 - Resultados de avaliação de desempenho térmico para todos os ambientes da residência

Fonte: Autores (2019)

Ambiente	Pavimento	Temperatura (oC)	
		Máxima	Mínima
AS	Térreo	58,41	18,79
Lavabo	Térreo	46,23	21,95
Cozinha	Térreo	46,23	19,75
Sala	Térreo	44,84	19,81
Quarto 1	1o Pavimento	58,06	20,83
Quarto 2	1o Pavimento	55,25	21,98
Banheiros Quartos	1o Pavimento	36,10	20,21
Suíte	1o Pavimento	40,91	17,19
Banheiro Suíte	1o Pavimento	37,10	18,01
Corredor	1o Pavimento	41,90	19,74
Sala Íntima	1o Pavimento	41,67	19,88

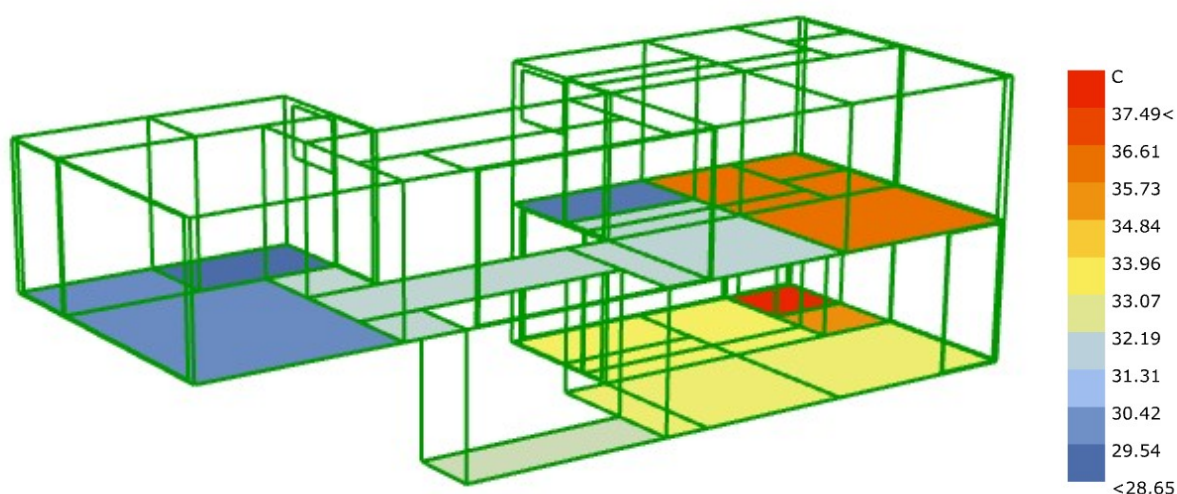


Figura 5.72 - Representação gráfica dos resultados de simulação térmica

Fonte: Autores (2019)

Os resultados revelam que os ambientes mais críticos da residência são os quartos do 2º Pavimento, a área de serviço e o lavabo. Entende-se que isso é resultado das grandes aberturas e janelas utilizadas nesses ambientes, além do seu posicionamento na fachada norte e oeste.

Considerando que as temperaturas externas máxima e mínima de Ribeirão Preto são, respectivamente, 38° C e 4° C, conclui-se que os ambientes não estão em conformidade com os requisitos mínimos da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), para os dias de verão. Observa-se que nos horários de maior radiação durante o dia, entre 10h e 15h, eleva-se em muito a carga térmica no interior da residência, o implica em obtenção de temperaturas do ar internas muito altas. Afinal, a média de temperatura anual corresponde a uma temperatura 5 °C inferior à temperatura máxima.

Portanto, realiza-se o segundo procedimento recomendado pela norma, aplicando uma taxa de renovação de ar de 5 ren/h e obstrução de 100%, que representa a proteção dos ambientes com algum elemento, tal como uma cortina ou brises, como já considerado para as janelas dos quartos e suíte, por exemplo. Ao fim, obtém-se os resultados apresentados na Tabela 5.41.

Tabela 5.41 - - Resultados de avaliação de desempenho térmico para todos os ambientes da residência para a condição de 5 ren/h e 100% das janelas e aberturas obstruídas

Fonte: Autores (2019)

Ambiente	Pavimento	Temperatura (oC)	
		Máxima	Mínima
AS	Térreo	36,29	11,79
Lavabo	Térreo	36,81	14,04
Cozinha	Térreo	31,42	10,86
Sala	Térreo	31,46	10,88
Quarto 1	1o Pavimento	32,30	9,87
Quarto 2	1o Pavimento	32,20	10,52
Banheiros Quartos	1o Pavimento	31,21	11,89
Suíte	1o Pavimento	37,08	10,79
Banheiro Suíte	1o Pavimento	35,03	12,64
Corredor	1o Pavimento	32,44	11,03
Sala Íntima	1o Pavimento	32,07	11,05

Nesse caso, portanto, verificou-se que todos os ambientes da residência estão em conformidade com a norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013). Contudo, entende-se que isso não significa qualidade e conforto à residência, pois as temperaturas máximas permitidas são superiores às temperaturas consideradas confortáveis pelos humanos. A ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) é uma associação Americana que busca aprimorar o projeto e a construção de sistemas de condicionamento de ar. Em seu principal documento, ASHRAE Handbook (ASHRAE, 2017), definem como temperatura ideal para garantir conforto a 95% por usuários de 26,7 °C. Temperatura muito inferior aos 38 °C exigidos pela norma para a cidade de Ribeirão Preto.

Em geral, os resultados do desempenho térmico revelam que mesmo com um bom desempenho térmico de seus elementos estruturais e de vedação, nos períodos de maior radiação solar. Por isso, considera-se, no projeto, a utilização de um sistema de ar condicionado para atender as necessidades de conforto dos usuários dessa casa, nos ambientes de ocupação prolongada, como quartos, salas e cozinha, além da recomendação de utilização de elementos de proteção solar, como os brises e cortinas, durante os períodos de maior radiação solar do dia.

6 ENERGIA ZERO E BALANÇO ENERGÉTICO

Conforme já apresentado anteriormente, o objetivo principal deste trabalho é projetar uma casa tese, que possua a característica de energia zero. Para esse caso, será considerado na análise os impactos ambientais provocados por todo o processo que envolve a fabricação e utilização dos materiais da construção da residência, assim como os impactos provocados em sua utilização, através do consumo de energia elétrica.

Busca-se, então, que, para uma Vida Útil da residência estimada em 50 anos, ela consiga compensar a emissão de gases estufas durante a construção e a operação, representado pelo Potencial de Aquecimento Global (PAG), com a geração de energia e de aquecimento de água na conversão da energia solar.

Como primeira etapa de verificação dessa capacidade da residência, deve-se realizar uma Avaliação de Ciclo de Vida contemplando todos os materiais envolvidos no projeto desta casa. Em seguida, dimensiona-se seu consumo energético e seu potencial de geração de energia por placas fotovoltaicas. Ao final, deve-se obter um balanceamento energético positivo.

6.1 Avaliação do Ciclo de Vida

Após a realização de todos os projetos anteriormente apresentados, pode-se realizar uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), contemplando todos os materiais envolvidos, conforme especificados em projeto. Os procedimentos de realização da ACV são os mesmos utilizados na primeira análise preliminar, para definição das diretrizes do projeto estrutural.

Para esta etapa, contudo, serão analisados os seguintes elementos da construção: estrutura, vedação, esquadrias. É evidente que há outros elementos presentes na residência, como os condutores elétricos e as tubulações hidráulicas, mas representam apenas uma pequena parcela, volumetricamente, quando comparado com os demais. Por isso, não serão considerados na avaliação.

6.1.1 Configuração dos elementos considerados

As configurações dos elementos que constituem essa residência e que serão considerados no estudo são os mesmos elementos definidos anteriormente em 5.11, conforme descrição abaixo:

1. Wood Frame (fachada):
 - Placa de compensado de madeira (*Plywood*), com a devida proteção à umidade, em caso de ambientes molhados como banheiros e cozinha;
 - Placa de OSB, para controle de umidade e ar;
 - Fibra de vidro, para isolamento térmico;
 - Fibra de madeira;
 - Cavidade de ar, para ventilação e drenagem de água;
 - Placas de madeira pinus, com revestimento e proteção à umidade.

2. Wood Frame (divisórias internas): utilização de uma configuração semelhante à apresentada anteriormente, com a utilização dos seguintes materiais:
 - Placa de compensado de madeira (*Plywood*); com a devida proteção à umidade, em caso de ambientes molhados como banheiros e cozinha;
 - Placa de OSB, para controle de umidade e ar;
 - Fibra de vidro, para isolamento térmico;
 - Placa OSB;
 - Placa de compensado de madeira (*Plywood*).

3. Caixilhos de vidro insulado.

4. Piso entre térreo e primeiro pavimento:
 - Revestimento em taco Lamparquet (ou de cerâmica, em área molhadas);
 - Contrapiso, para regularização;
 - Lã de vidro, para absorção sonora (conforto acústico);
 - Membrana permeável, para permeabilidade de ar;
 - CLT.

5. Piso Cobertura:
 - Contrapiso, para regularização;
 - Lã de vidro, para absorção sonora (conforto acústico);
 - Impermeabilização;
 - Membrana permeável, para permeabilidade de ar;
 - CLT.

- Lajes e pilares de MLC.

6.1.2 Determinação do Potencial de Aquecimento Global (GPA) da residência

A realização da Avaliação do Ciclo de Vida para todos os elementos anteriormente apresentados, resultou na quantificação de impactos ambientais conforme Figura 6.1.

Figura 6.1 - Quadro síntese de resultados da Avaliação de Ciclo de Vida

Fonte: Autores (2019)

	Setor	Potencial de Aquecimento Global (kg CO ₂ eq)	Acidificação Terrestre (kg SO ₂ eq)	Eutrofização (kg PO ₄ eq)	Depleção de Ozônio Estratosférico (kg CFC11eq)	Energia Primária (MJ)
A1-A3	Materiais de Construção	1,55E+04	6,82E+01	2,32E+01	1,96E-03	3,29E+05
A4	Transporte					
A5	Processo de Construção/Instalação					
B1-B5	Manutenção e Reposição de Materiais	2,30E+03	1,98E+01	1,41E+00	2,04E-04	3,17E+04
B6	Energia Utilizada					
B7	Água Utilizada					
C1-C4	Desconstrução	2,27E+03	4,85E+00	2,55E+00	3,53E-05	1,15E+04
D	Impactos Externos (não incluído no total)	-1,49E+04	-1,59E+01	-2,54E+00	-2,60E-08	-2,63E+05
	TOTAL	2,01E+04	9,29E+01	2,72E+01	2,20E-03	3,72E+05

A partir da análise da Figura 6.1, conclui-se que os materiais envolvidos na construção dessa casa tese produzem um Potencial de Aquecimento Global referente a uma emissão equivalente de 20.000 kg CO₂, para uma análise de Berço ao Túmulo. Desconsidera-se, assim como anteriormente, o valor correspondente à etapa D (desconstrução), uma vez que se busca quantificar os impactos ambientais provocados ao longo do ciclo de vida da residência em si, e não uma análise holística de toda a cadeia de produção.

6.2 Dimensionamento do consumo energético

Para o dimensionamento das placas fotovoltaicas necessárias para a equalização da energia gerada em compensação com a energia necessária para operação da residência, é necessário realizar o levantamento de todo o consumo energético em sua ocupação.

De modo a definir valores mais precisos, foi realizado um estudo paramétrico, através da utilização do software *Rhinoceros*, junto ao plugin *Grasshopper*, que consiste no mapeamento de todos os elementos que consolidam esse consumo energético. Assim, pode-se obter também o levantamento da carga térmica interna à residência, que é informação importante para o estudo

do conforto térmico interno da residência. Por fim, vale também ressaltar que esse mapeamento importante para o futuro estudo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), pois auxilia no correto balanceamento das emissões de poluentes na ocupação e operação da residência projetada.

Nesse modelo paramétrico, define-se duas principais categorias de análise de consumo energético:

- Consumo de iluminação artificial;
- Carga de equipamentos;
- Consumo de energia por ar condicionado.

6.2.1 Consumo de iluminação artificial

O modelo de consumo de iluminação artificial é realizado considerando a porcentagem de utilização de determinado ambiente da residência em períodos do dia em que se é necessário a iluminação artificial. Um exemplo do modelo está apresentado na Figura 6.2.

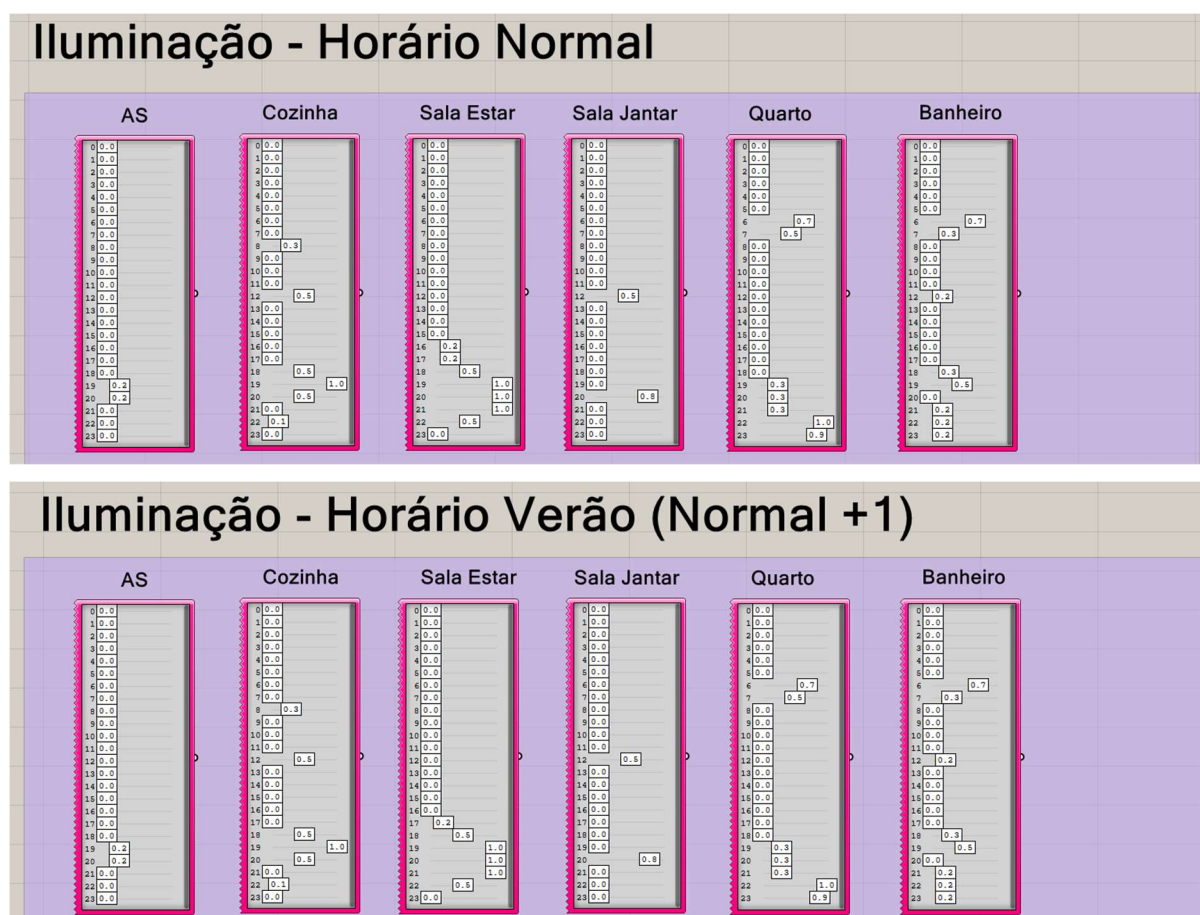


Figura 6.2 - Modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de iluminação artificial.

Fonte: Autores (2019)

Essa análise é realizada tanto considerando os dias com horário normal, como também os dias de horário de verão, que no geral, o consumo energético é diminuído. Também, é definido um cronograma de utilização da iluminação artificial separadamente para os dias da semana, o sábado e o domingo, pois as rotinas nesses dias são diferentes. Dessa forma, pode-se determinar um calendário de utilização de iluminação artificial ao longo do ano, o que possibilita estabelecer uma média anual de consumo energético nesse uso. O ambiente de trabalho (*canvas*) o modelo final de iluminação artificial, para determinação dos consumos anuais, está apresentado na Figura 6.3.

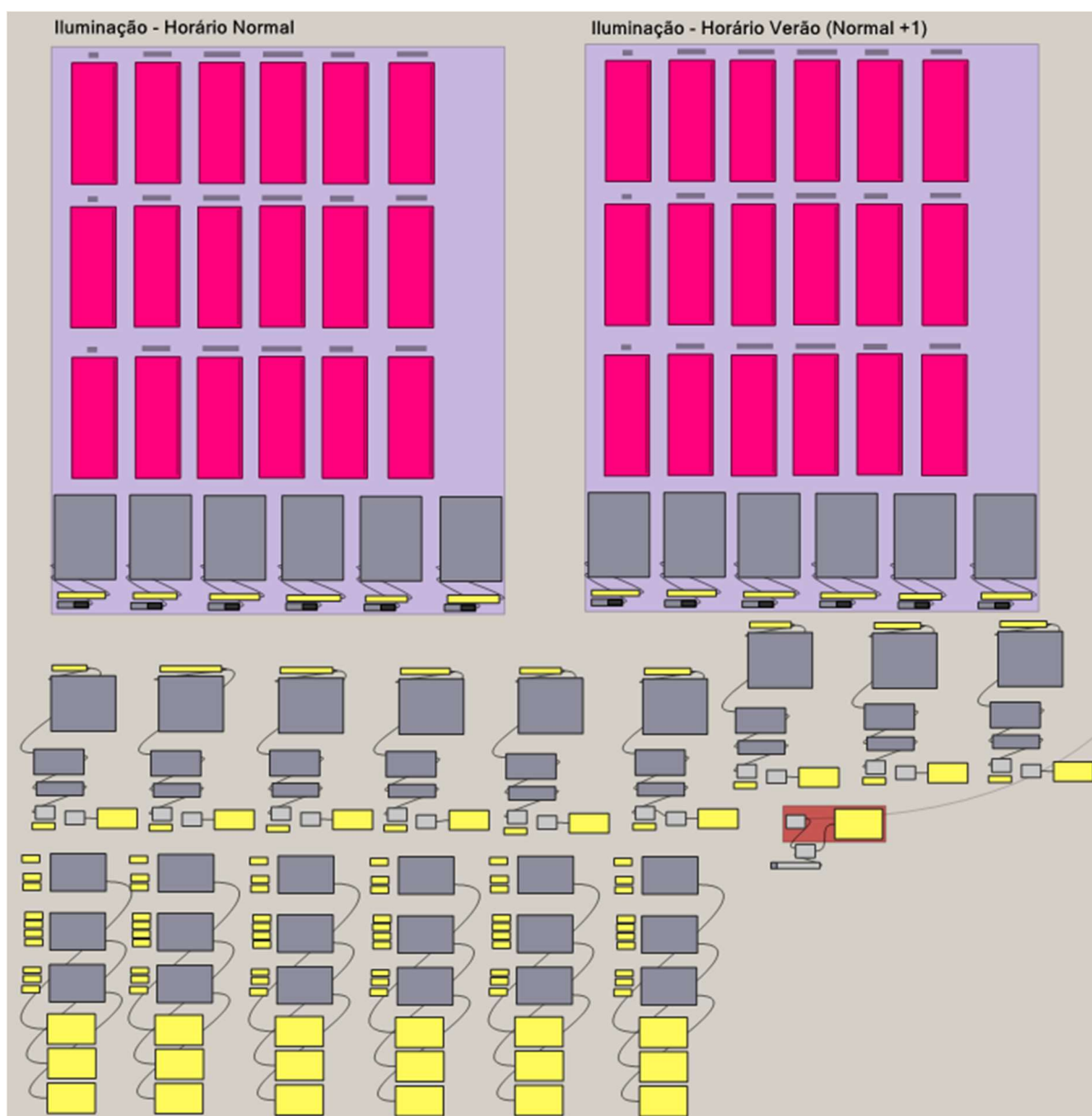
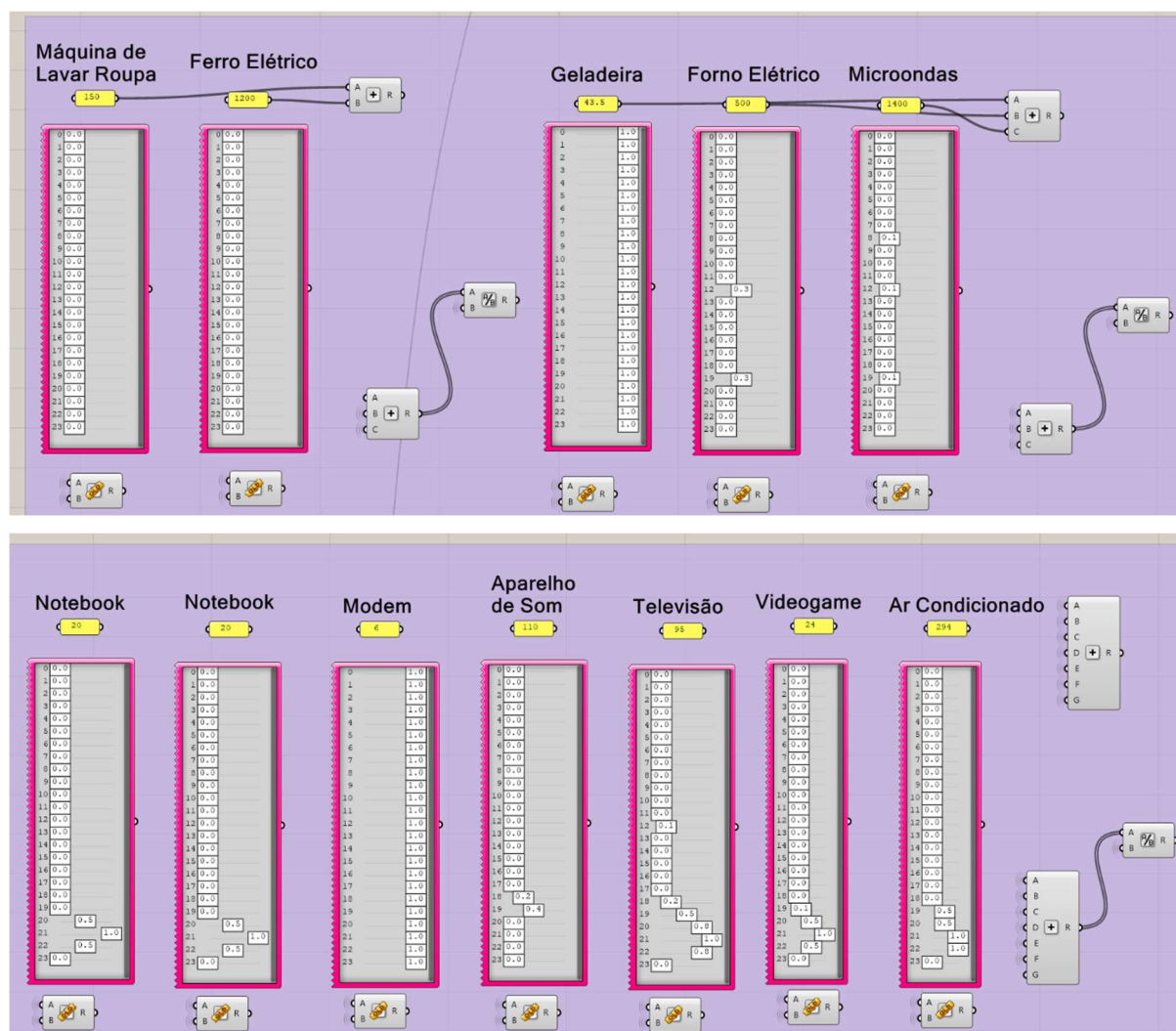


Figura 6.3 – Ambiente de trabalho final do modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de iluminação artificial, que inclui a definição das rotinas de dias de semana, de sábado e de domingo

Fonte: Autores (2019)

6.2.2 Carga de equipamentos

No modelo de cargas de equipamentos, define-se um princípio semelhante: mapeamento da porcentagem de utilização de cada equipamento no período de um dia, considerando uma utilização média aproximada para uma família de 4 a 5 pessoas. Para cada equipamento, atribui-se um valor de potência específico, de acordo com informações do Procel (2016). A síntese dos equipamentos considerados na análise e do modelo elaborado estão apresentados na Figura 6.4 e Figura 6.5.



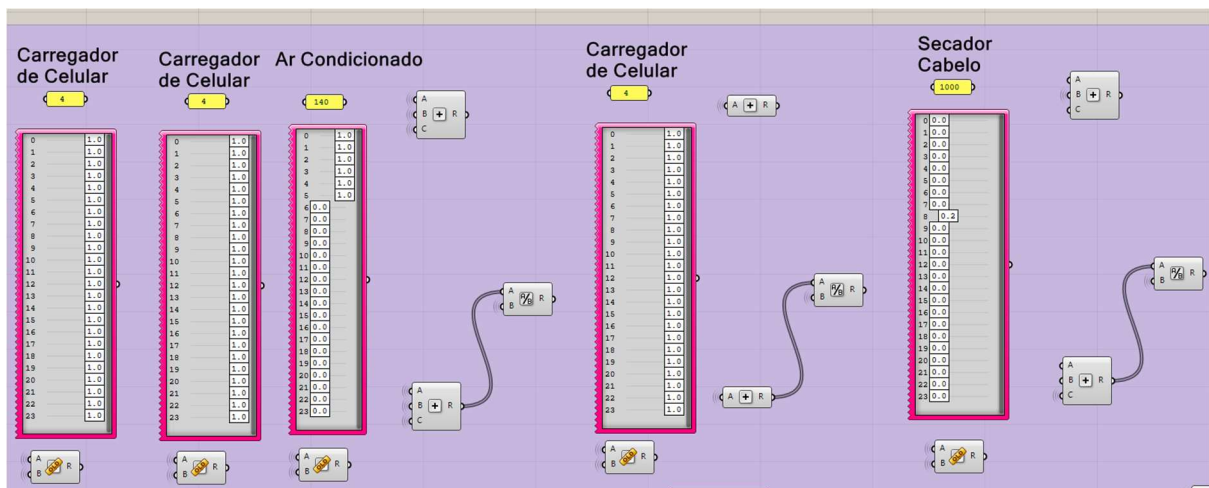


Figura 6.4 - Modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de equipamentos durante a ocupação, com indicação da potência nominal de cada um

Fonte: Autores (2019)

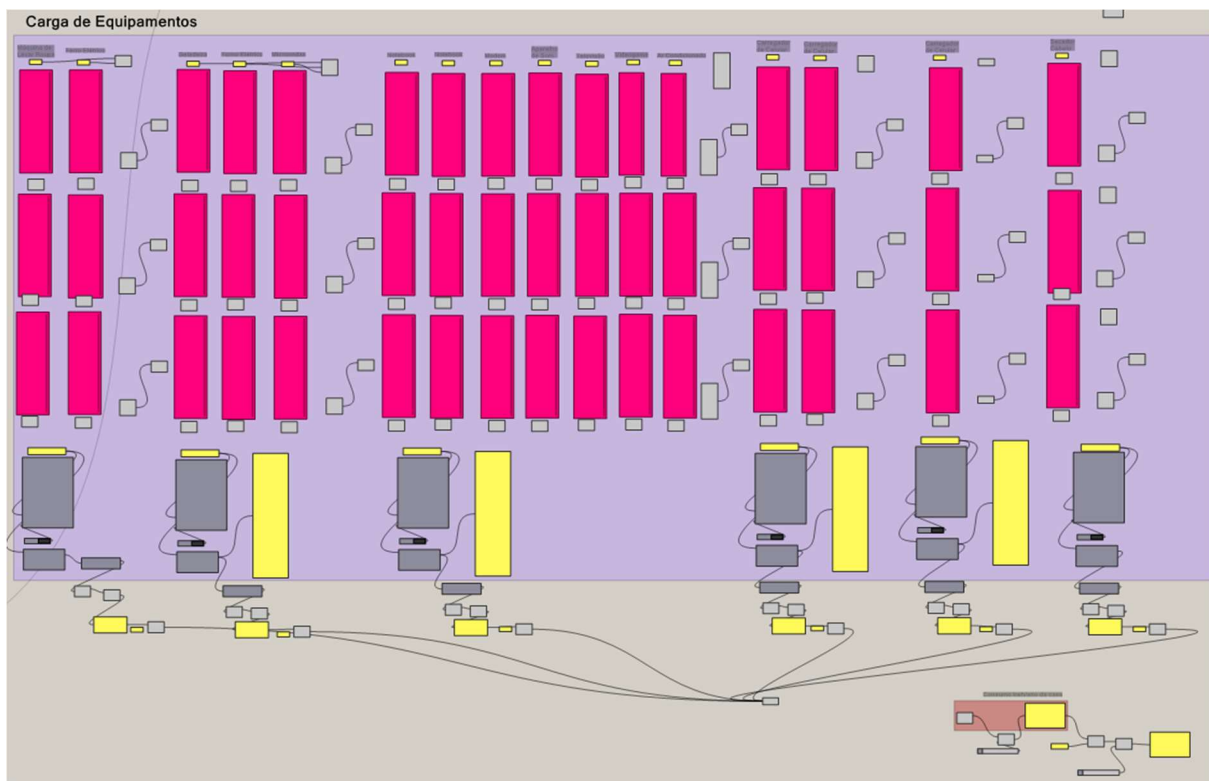


Figura 6.5 – Ambiente de trabalho final do modelo de parametrização adotado para dimensionamento da utilização de equipamentos durante a ocupação.

Fonte: Autores (2019)

6.2.3 Consumo de energia por ar condicionado

Como apresentado anteriormente, ainda que a residência atenda aos critérios de desempenho térmico estabelecidos pela norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), ela não possui

características térmicas que garantam o conforto térmico de seus usuários, para todos os períodos do ano. A maior temperatura média anual dos quartos da fachada norte é correspondente a 37 °C, valor superior aos 26,7 °C apresentados pela ASHRAE (2017).

Por isso, realiza-se novamente a simulação de desempenho térmico, considerando, portanto, a temperatura máxima de 26,7 °C (ASHRAE, 2017) e as cargas térmicas relacionadas aos equipamentos, iluminação, ventilação e número de pessoas de cada ambiente. Busca, verificar a potência necessária para obtenção dessa condição de conforto, considerando a geometria, a localização da residência e os períodos de ocupação, parametrizado como nas análises anteriores de iluminação artificial e de equipamentos.

Obtém-se, ao final, a necessidade de um total, aproximado, de 565 kWh por ano (ou 47 kWh/mês), apenas na utilização de ar condicionado, para suprir o calor térmico dos ambientes e garantir conforto aos usuários.

6.2.4 Resultados

Ao final desse estudo, portanto, determina-se que o consumo médio mensal dessa residência, para uma família de 4 a 5 pessoas, é da ordem de 290 kWh/mês, considerando os três cenários de utilização de energia apresentados anteriormente: iluminação artificial, equipamentos eletrônicos e eletrodomésticos e ar condicionado. Vale ressaltar que, como benefício da parametrização, esse valor é possível de ser rapidamente calibrado e modificado, de acordo com as necessidades do usuário.

6.3 Energia Zero

Para obtenção da característica de Energia Zero, deve-se, portanto, equilibrar os impactos ambientais provocados pelos materiais (obtidos através da Avaliação de Ciclo de Vida) e pela utilização de energia na residência, com o impacto ambiental evitado através da utilização de energia solar.

Para isso, realiza-se o dimensionamento de placas fotovoltaicas, para a obtenção desse balanceamento desejado, para uma Vida Útil de 50 anos para a residência.

6.3.1 Dimensionamento das placas fotovoltaicas

A partir dos resultados anteriores, pode-se elaborar um método de cálculo para determinação do número de placas fotovoltaicas necessárias para compensar:

- Consumo energético mensal de 290 kWh/mês;
- Emissão de 20.000 kg CO₂/eq.

6.3.1.1 Equivalência entre impacto ambiental e energia elétrica

Para transformar ambos os dados para um mesmo indicador, considera-se a seguinte conversão, estabelecida pelo Programa Brasileiro GHG Protocol, iniciativa da FGV, pelo grupo GVCES:

$$0,23 \text{ kg CO}_2/\text{eq} = 1 \text{ kWh}$$

Desse modo, os 20.000 kg de CO₂/eq resultantes da Avaliação de Ciclo de Vida dos materiais da construção correspondem a aproximadamente a uma produção de energia elétrica correspondente a 86.956,52 kWh. Considerando que essa energia deve ser produzida ao longo de 50 anos, referente à vida útil da residência, estima-se a necessidade de uma produção média de 4,77 kWh/dia, ou 142,95 kWh/mês.

Desse modo, estima-se ser necessário um consumo energético mensal de 432,95 kWh/mês, para que se obtenha uma casa energia zero.

6.3.1.2 Cálculo de placas fotovoltaicas

Para a realização do dimensionamento das placas fotovoltaicas necessárias, deve-se analisar como é potencial energético da cidade de Ribeirão Preto, através da avaliação de seu coeficiente Hora Sol Pico (HSP). Ele caracteriza os valores de irradiação solar, que é necessário para a determinação da potência necessária para a compensação do consumo energético. Os valores específicos de Ribeirão Preto estão apresentados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Valores de irradiação solar para a cidade de Ribeirão Preto

Fonte: RETScreen (2018)

Mês	Hora Sol Pico (HSP)
Janeiro	5,60
Fevereiro	5,57
Março	5,29
Abril	5,04
Maio	4,26
Junho	4,16
Julho	4,40
Agosto	5,02
Setembro	5,26
Outubro	5,78
Novembro	6,00
Dezembro	5,72
Anual	5,18

Vale ressaltar que se utiliza um coeficiente de majoração de 1,25, de acordo com Pinho (2018), para o fator HSP.

Desse modo, realiza-se o seguinte memorial de cálculo:

- a) Determinação do coeficiente de HSP (Hora de Sol a Pino) para a cidade de Ribeirão Preto, que é definida pelos valores de irradiação solar. No caso, para a instalação das placas fotovoltaicas a uma inclinação otimizada de aproximadamente 21º (angulação igual à latitude da cidade em que está localizada), obtém-se um HSP = 5 h/dia.
- b) Determinação do consumo energético diário: $E = 432,95 \text{ kWh/mês} / 30 \text{ dias} = 14,43 \text{ kWh/dia}$.
- c) Determinação da potência necessária gerada: $P = 1,25 \times 10000 \text{ Wh/dia} / 5 \text{ h/dia} = 3482,55 \text{ Wp}$.
- d) Determinação no número de placas fotovoltaicas mínimas. Para isso, utiliza-se como referência a placa solar da Canadian Solar de 60 células, com potência nominal de 350 Wp.

Assim, obtém-se um número de placas fotovoltaicas, do modelo CanadianSolar, apresentado na Figura 6.6, através do cálculo:

$$N_{\text{placas}} = 3482,55 \text{ Wp} / 350 \text{ Wp} = 9,95 \text{ placas} = 10 \text{ placas fotovoltaicas}$$

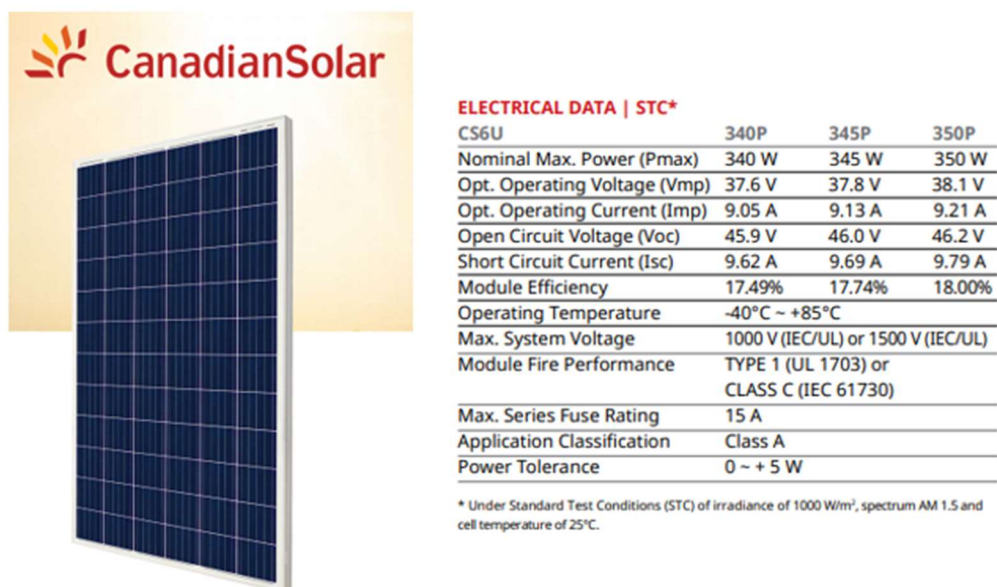


Figura 6.6 - Modelo de placa fotovoltaica utilizada como referência para cálculo

Fonte: CanadianSolar (2018)

A Tabela 6.2 contempla, portanto, o resumo de cálculo utilizado.

Tabela 6.2 - Resumo de cálculo para determinação do número de placas fotovoltaicas necessárias para o projeto Energia Zero

Fonte: Autores (2019)

Horas de Sol Pleno	HSP	5	h/dia
Consumo diário de energia	Ed	14,31	kWh/dia
	Ed	14314,74	Wh/dia
Potência	Pot	3454,33	Wp
Quantidade de placas fotovoltaicas (350Wp)	Mt	9,87	
Placas em série	Ms	5	
Placas em paralelo	Mp	2	

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho aborda, sob diferentes aspectos, o potencial da construção civil em se desenvolver a partir de preceitos sustentáveis, como o caso da energia zero. Em um cotidiano marcado por mudanças climáticas e esgotamento de recursos, em função do constante desenvolvimento da indústria e crescimento da população mundial, torna-se pertinente a abordagem de utilização de métodos alternativos para a resolução de problemas.

Entretanto, isso não significa ser um processo simples. Pelo contrário, os profissionais dos diferentes segmentos de projetos devem cada vez mais se integrar, com pensamentos alinhados, visando um objetivo em comum. Afinal, revela-se, na realização do projeto desta residência, que os projetos são intrinsicamente complementares e dependentes entre si.

O trabalho, desta maneira, buscou contemplar todos os complexos estudos necessários para sua execução: verificar de forma integral a viabilidade física e técnica na elaboração de projetos com menores pegadas ambientais. No caso, decisões que contribuam para um ambiente mais perene e sustentável, utilizando materiais de construção alternativos e fontes energéticas renováveis ainda pouco aproveitadas, no Brasil e no mundo.

A Avaliação de Ciclo de Vida mostrou-se viável como fonte de mensuração do impacto causado pelos materiais de construção. Assim norteando diretrizes projetuais e tomadas de decisões, vistas principalmente no projeto estrutural. Todavia, a representatividade, quantidade e qualidade dos bancos de dados brasileiros também revelaram-se insuficientes para realização de aferições adequadas quanto às pegadas ambientais.

Além dos materiais, a mensuração da pegada ambiental da energia elétrica brasileira também apresenta problemas distintos dos solos estrangeiros. Uma vez que sua matriz energética sustenta-se em hidrelétricas, a contabilização do impacto ambiental e produção de gás de efeito-estufa é diferente de matrizes baseadas na combustão. A equivalência em si entre produção de energia e geração de gases mostraram-se como outro ponto de discussão para um balanço ambiental adequado.

Assim, mesmo que com uma geometria simples e racional, observa-se um grande potencial de transformação na utilização de elementos estruturais de madeira, frente aos de concreto, por

exemplo, culturalmente bastante utilizados no Brasil, em que se verifica um Potencial de Aquecimento Global muito inferior. Ou então, no aproveitamento da energia solar, tanto para aquecimento de água, quanto para a geração de energia fotovoltaica, que pode ser tanto aproveitada para os consumos energéticos cotidianos, como para fornecimento à malha energética brasileira, ainda muito dependente de suas hidrelétricas.

A obtenção da energia zero de um projeto deve ser, portanto, apenas uma consequência de objetivos e diretrizes que anseiem por transformações na sociedade. Conclui-se que não é difícil atingi-la, mas sim sustentá-la, em escopos técnicos e socioeconômicos. Assim, projetos semelhantes apresentam dificuldade técnica e investimento inicial elevados, que tornam a proposta pouco receptível no cenário brasileiro atual.

Em suma, conclui-se que a casa foi projetada considerando um terreno em Ribeirão Preto, mas representa a tese de que poderia estar em qualquer outro lugar do país, desempenhando funções semelhantes. Necessita de acesso à informação, motivação e incentivos. No entanto, sua concepção é viável. É, portanto, nesse seu potencial de transformação que devemos nos basear para desenvolver a maneira como a engenharia e a arquitetura é exercida na sociedade.

8 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7198**: Instalações prediais de água quente. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8995**: Iluminação em ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.215**: iluminação natural. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.569**: sistema de aquecimento solar de água em circuito direto – projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575-1**: edificações habitacionais - Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 1404: gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.

AMERICAN WOOD CONCIL (AWC). **National Design Specification (NDS) for Wood Construction 2018 Edition**. Leesburg, 2018.

BUILDINGS PERFORMANCE INSTITUTE EUROPE (BPIE). **Boosting the NZEB market transition: Recommendations derives from national expertise and survey-based research**. Viena, 2016.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (CPFL). **Norma técnica: instalação de padrão de entrada (versão simplificada)**. Campinas. Disponível em: <<https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/produtos-e-servicos/Documents/padrao-de-entrada-versao-simplificada.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro, 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no brasil - Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro, 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Nacional de Energia - PNE 2050**. Rio de Janeiro, 2013.

ENGEL, Heino. **Sistemas de estruturas**: 2. ed. São Paulo: Editorial Gustavo Gili, 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge University Press. 2011.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Efficiency 2018: Analysis and outlooks to 2040**. França, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Offshore Energy Outlook**. 2018

WASSOUF, M. **Da casa passiva à norma Passivhaus: A Arquitetura passiva em climas quentes**. Editora Gustavo Gili. Barcelona, 2014.

MARSH, Ken; GALLANT, Lin. **Into the Woods: Robot Structural Analysis for Wood Design Per NDS2012**. Massachusetts, 2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energias no mundo: matrizes energética, matrizes elétricas e indicadores (2015 - 2016)**. Brasília, 2017.

NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING STRATEGY 2020 (ZEBRA 2020). **Strategies for a nearly Zero-Energy Building market transition in the European Union**. Viena, 2016.

PACHECO, M., LAMBERTS, R. Assessment of technical and economical viability for large-scale conversion of single family residential buildings into zero energy buildings in Brazil: Climatic and cultural considerations. **Energy Policy**, v. 63, p. 716-725, 2013.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). **Dicas de economia de energia**. 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D#>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

PILLAI, U. Drivers of cost reduction in solar photovoltaics. **Energy Economics**, v. 50, p. 286–293, jul. 2015.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Grupo de Trabalho de Energia Solar GTES (CEPEL - DTE - CRESESB). Rio de Janeiro, 2018.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY (REN21). **Renewables 2017 - Global Status Report**. 2017.

RIBEIRÃO PRETO. DECRETO Nº 2866, DE 03 DE MAIO DE 2019. **Plano Diretor**. Ribeirão Preto (SP), maio 2018. Disponível em:

<<https://www.ribeiraopreto.sp.gov.br/J321/pesquisa.xhtml?lei=38403>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

ROCHA, Paulo Mendes da *et al.* **Casa butantã**: Paulo Mendes da Rocha. 1. ed. São Paulo: Ubu Editora, 2016. 112 p. ISBN 978-85-92886-13-4.

SANTOS, I. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura**. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

THE INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Energy Statistics 2018**. Abu Dhabi, 2018.

THE INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Solar simulators: Application to developing cities**. Abu Dhabi, 2019.

VIANA, T. S. **Avaliação da irradiação solar direta e do potencial da geração solar fotovoltaica com sistemas com concentração no Brasil**. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

RENDERS





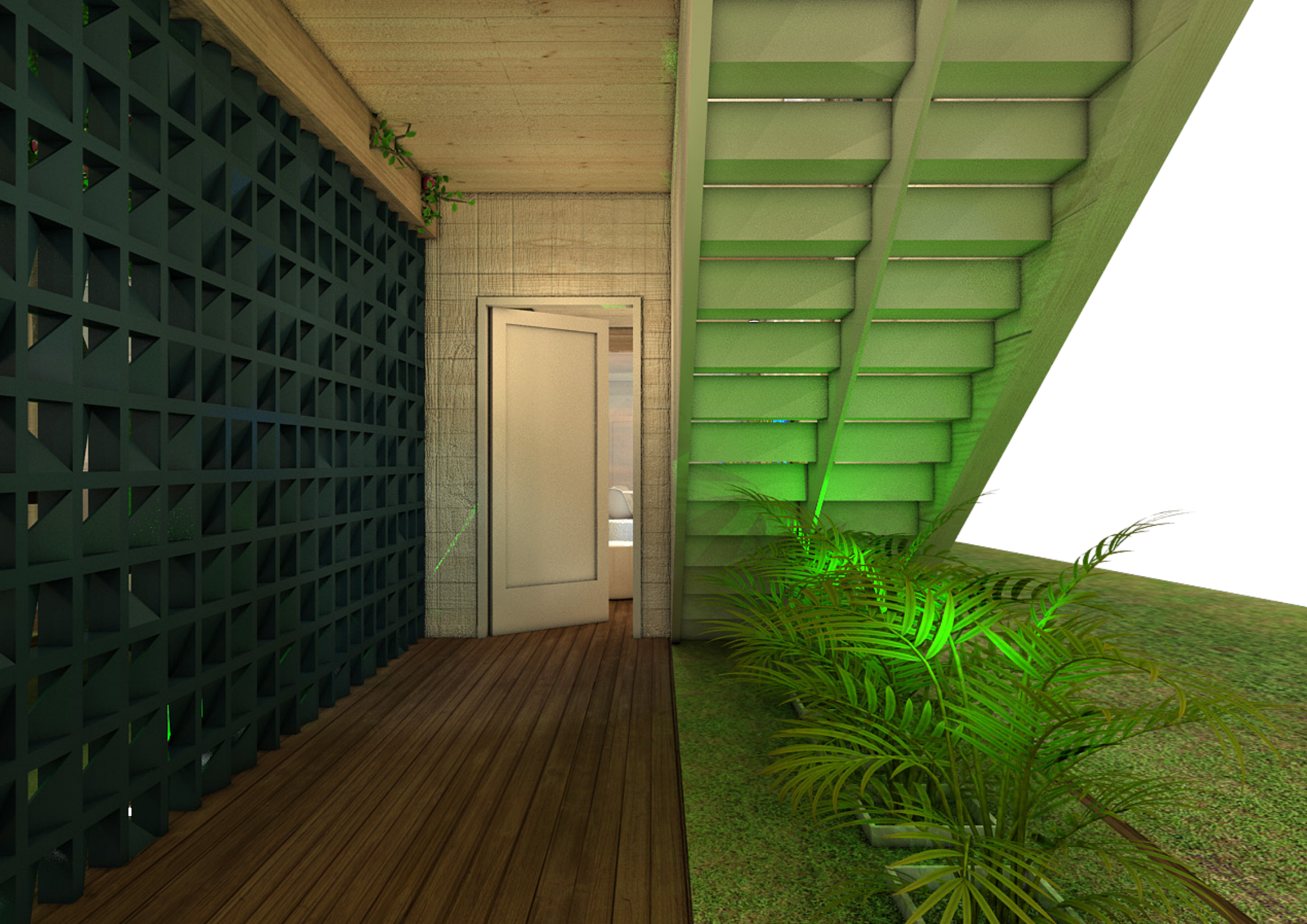






























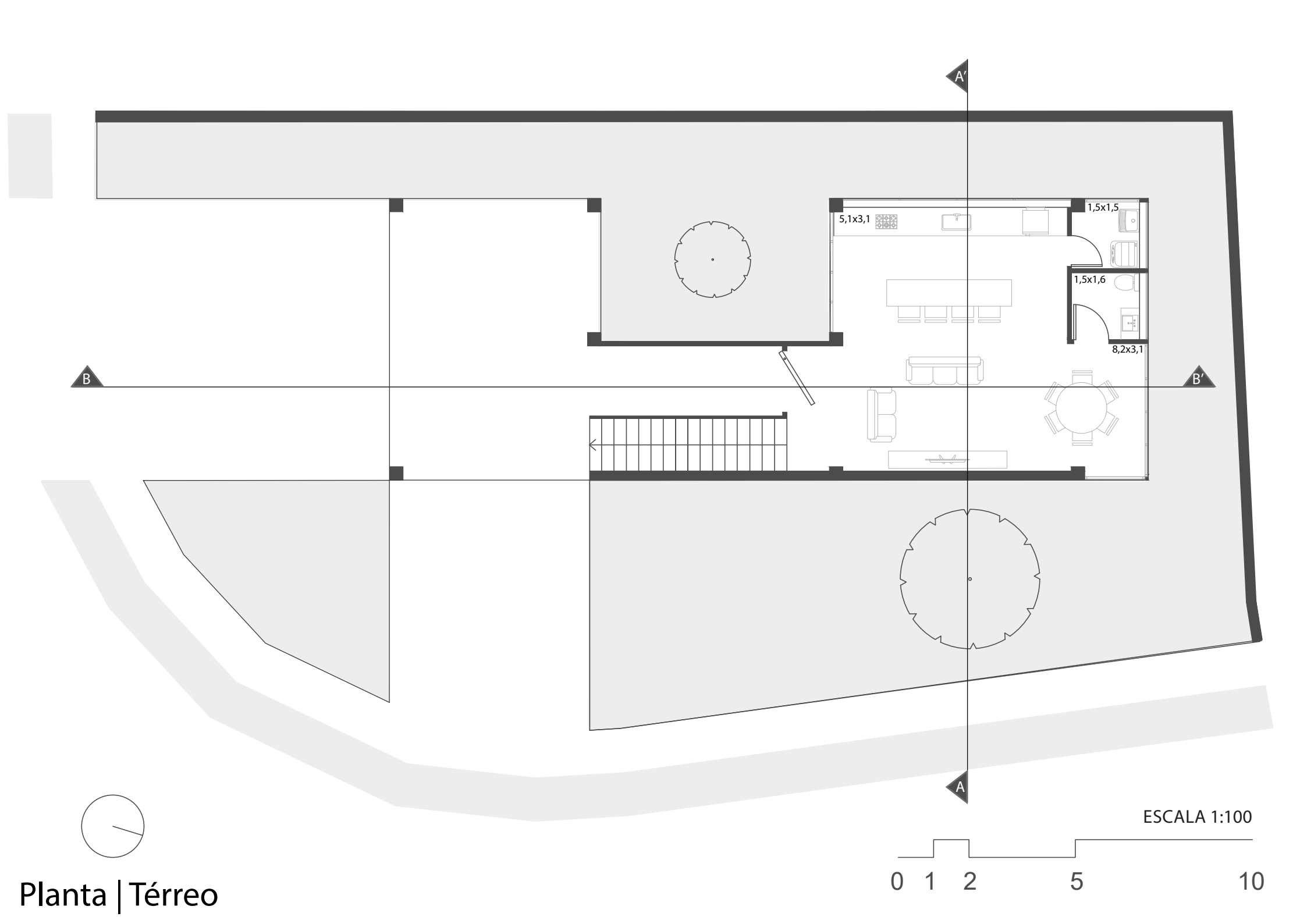




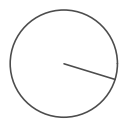
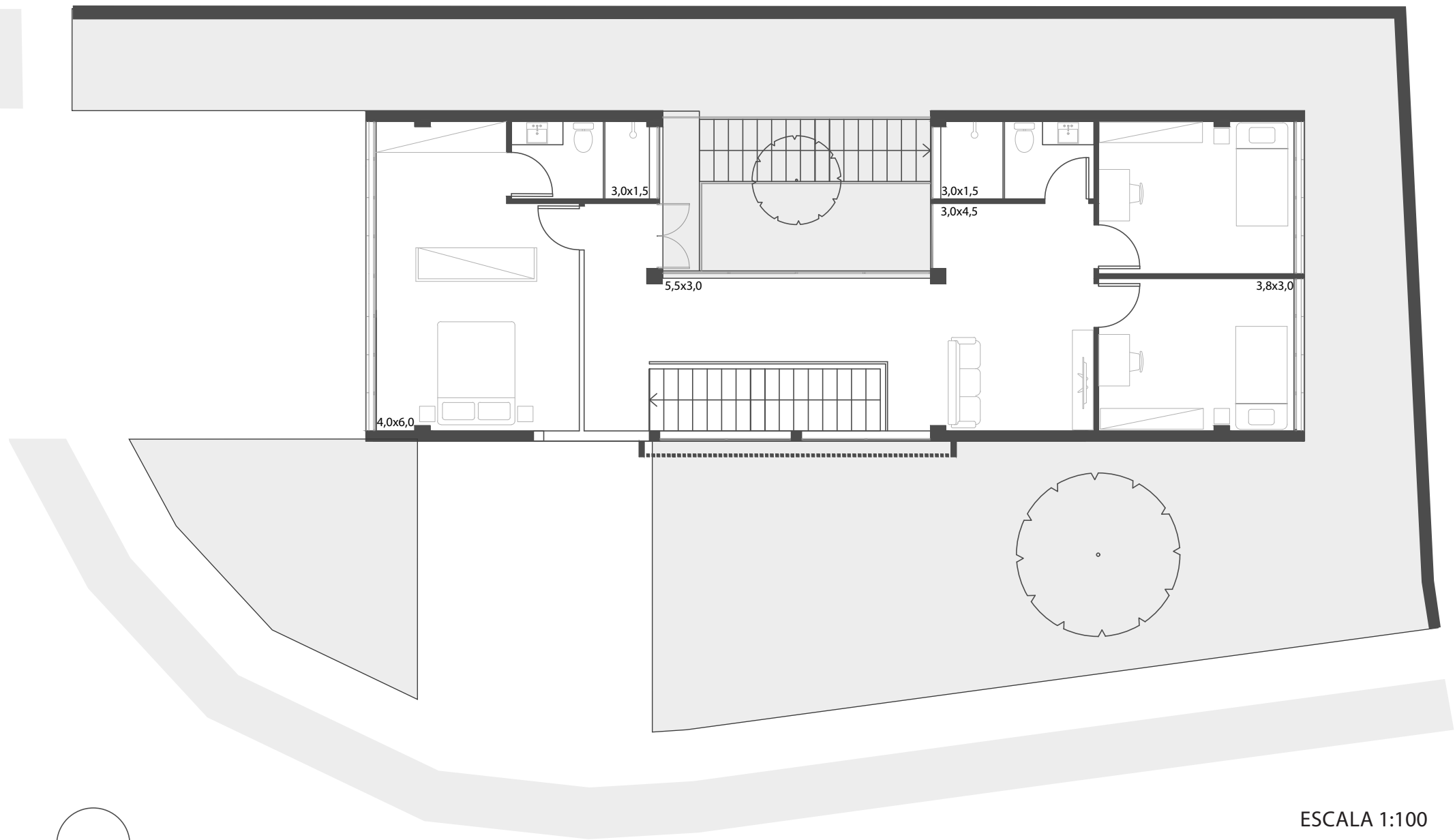




PLANTAS



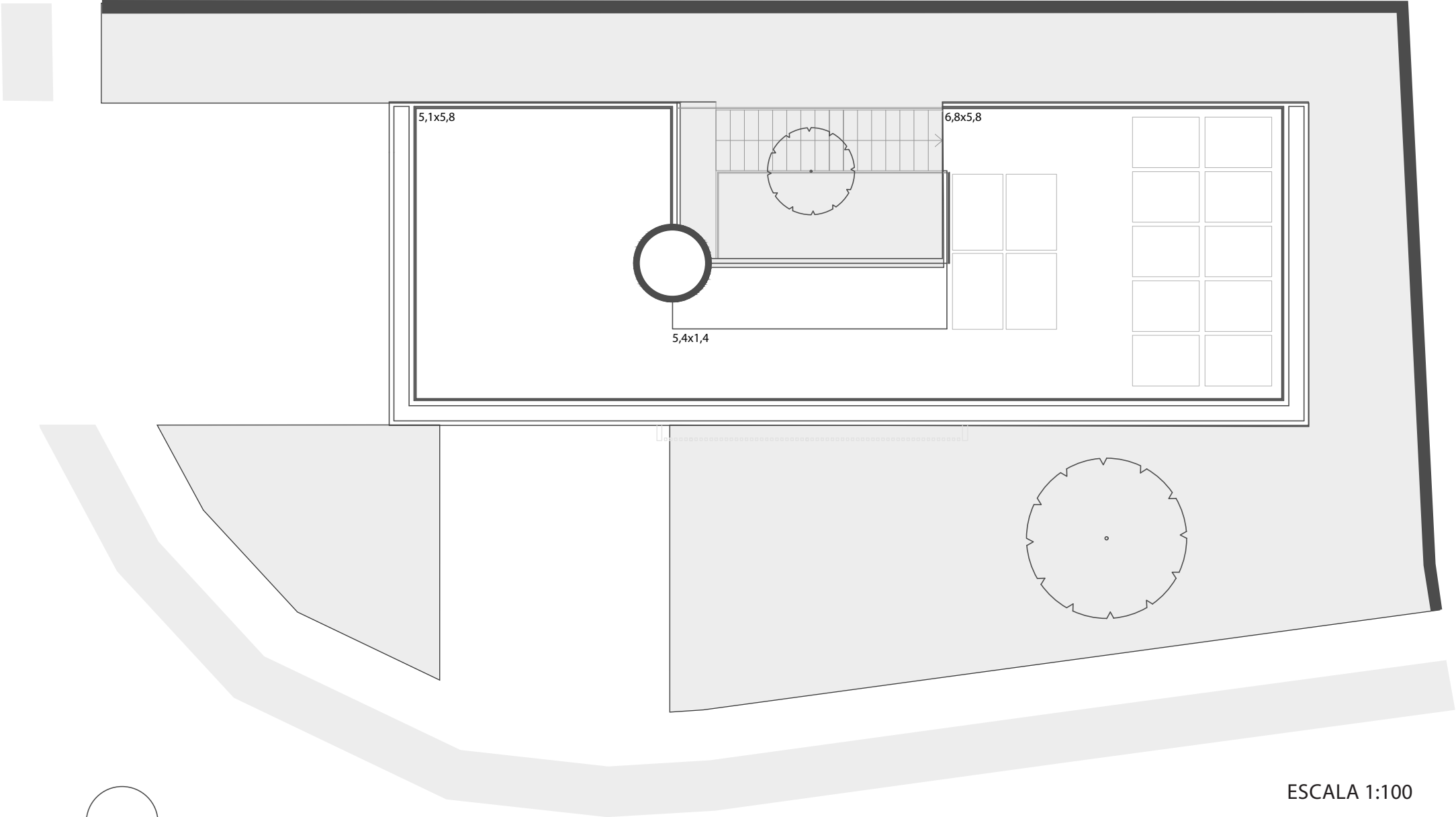
Planta | Térreo



ESCALA 1:100

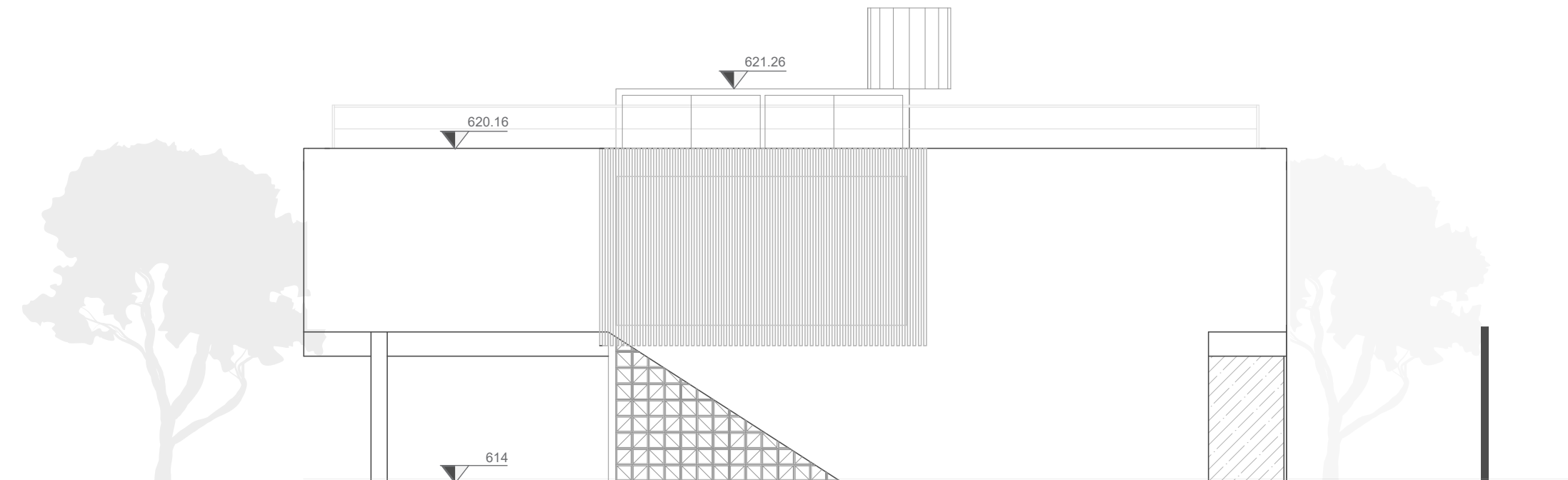


Planta | 1º pavimento

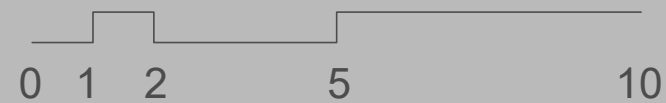


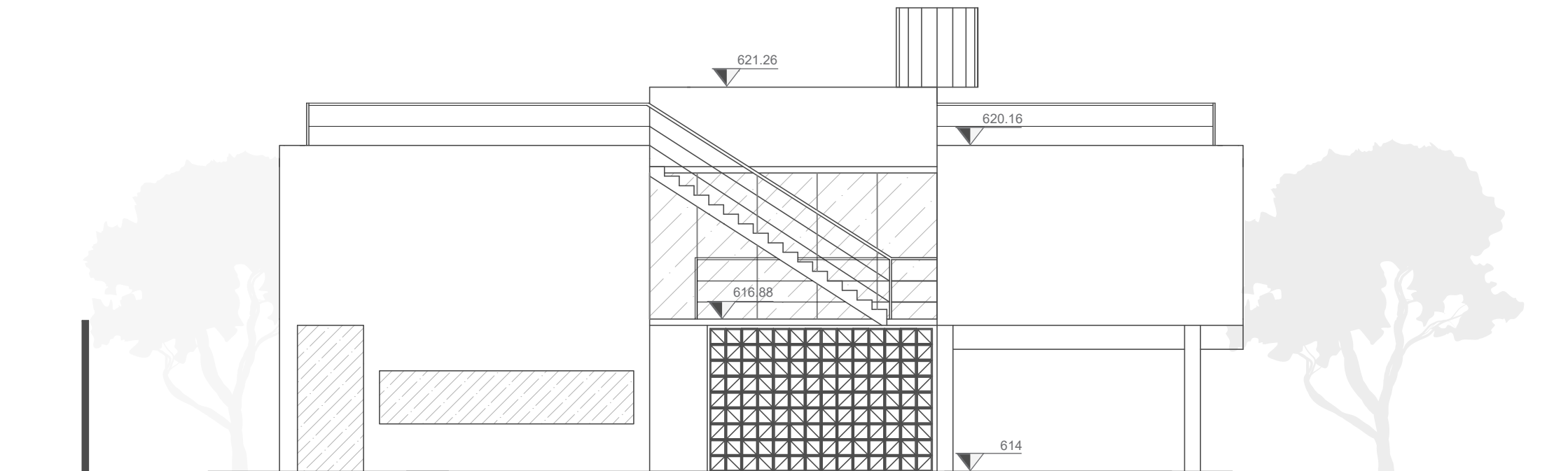
Planta | Cobertura



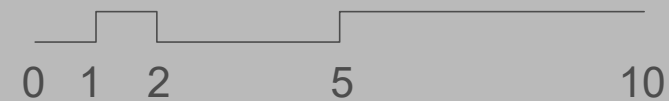


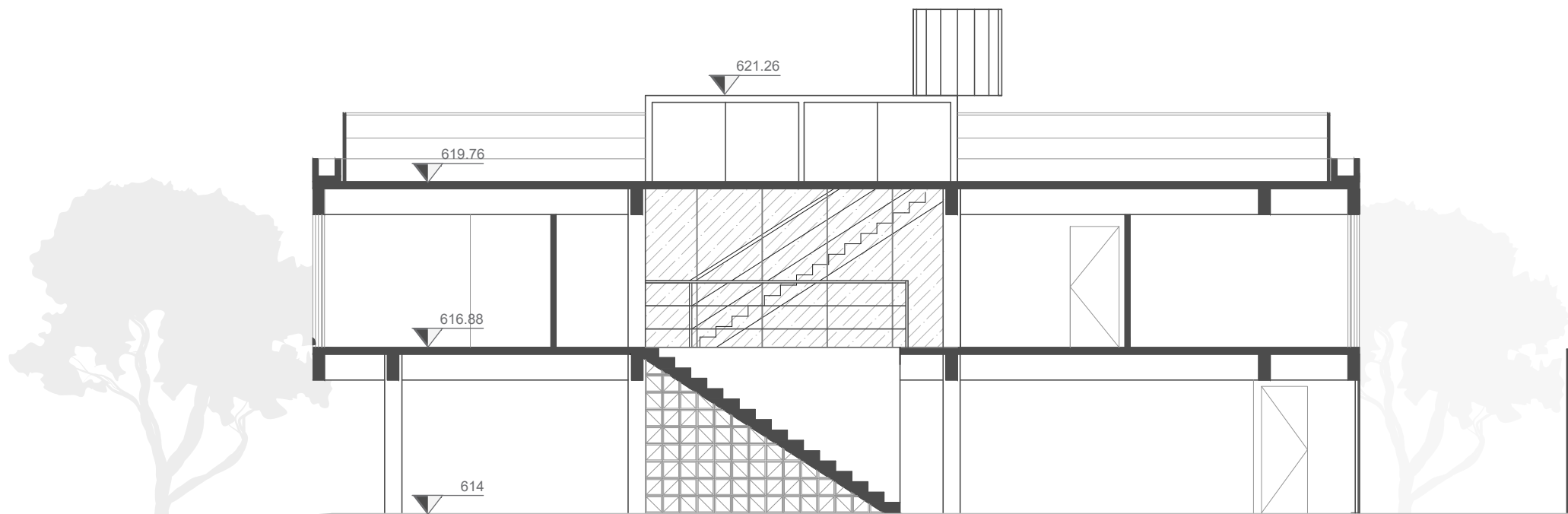
ESCALA 1:100



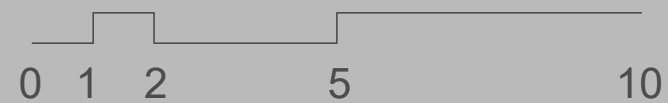


ESCALA 1:100

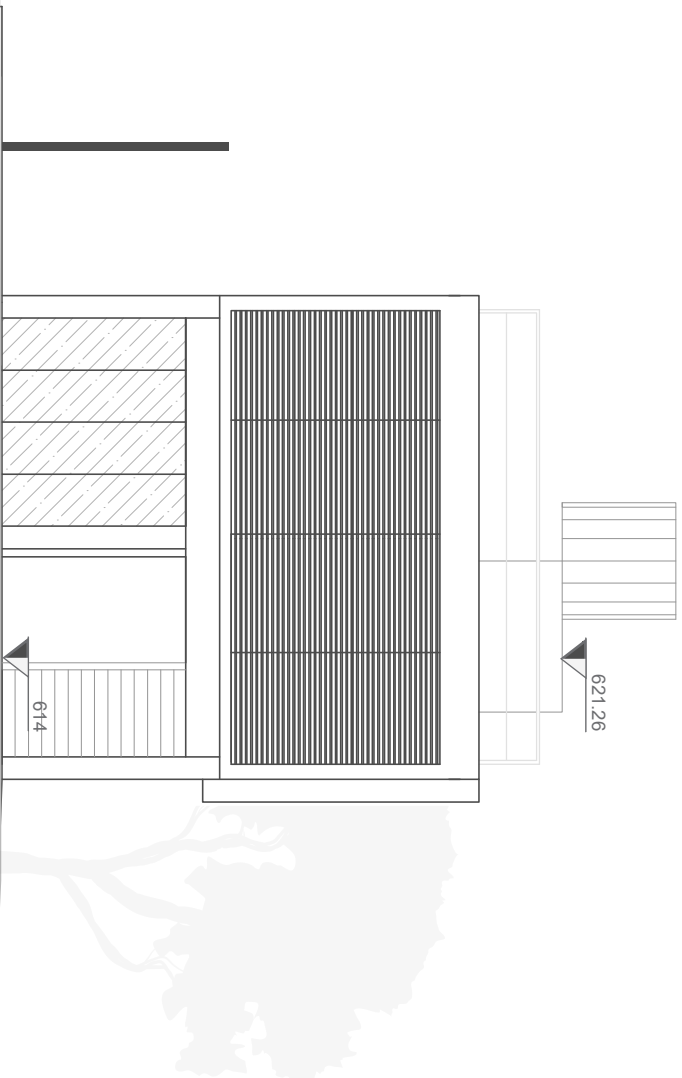




ESCALA 1:100



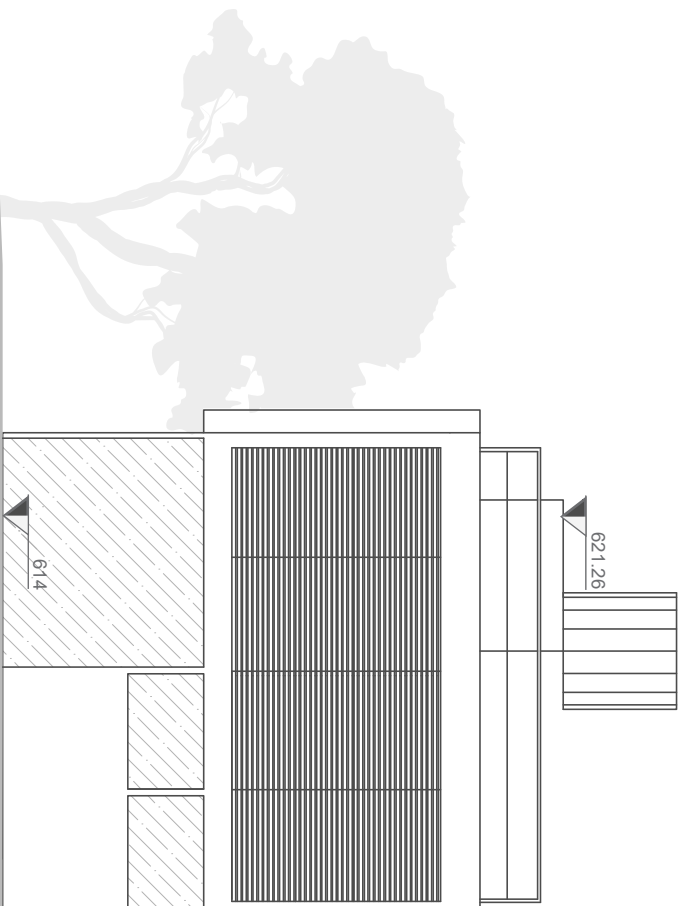
Corte | BB'



0 1 2 5 10

Planta| Fachada Sul

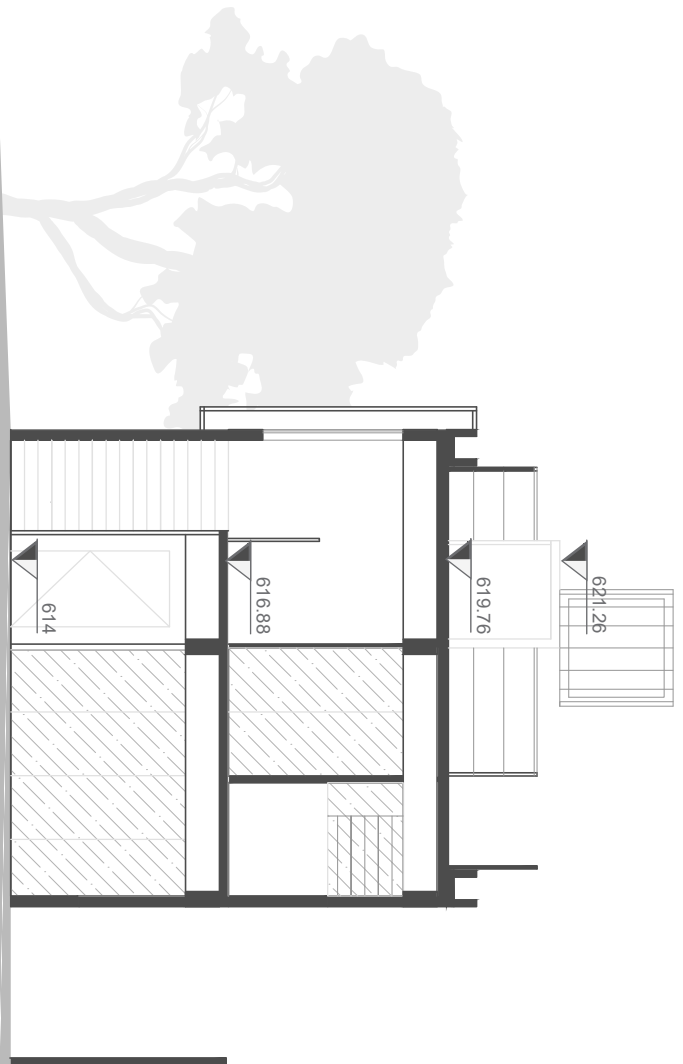
ESCALA 1:100



0 1 2 5 10

Planta| Fachada Norte

ESCALA 1:100



Corte| AA'

0 1 2 5 10

ESCALA 1:100