

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

LAURA CORDEIRO PEREIRA

Arquitetura escolar para o ensino fundamental orientada por critérios de sustentabilidade

OURO PRETO
2019

LAURA CORDEIRO PEREIRA

Arquitetura escolar para o ensino fundamental orientada por critérios de sustentabilidade

Trabalho Final de Graduação II apresentado ao Curso de Arquitetura e Urbanismo em 2019 da Universidade Federal de Ouro Preto, orientado pelo Prof. Dr. Clécio Magalhães do Vale, como requisito final para obtenção de grau de Bacharel (a) em Arquitetura e Urbanismo.

OURO PRETO
2019

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P436a Pereira, Laura Cordeiro .
Arquitetura escolar para o ensino fundamental orientada por critérios de sustentabilidade . [manuscrito] / Laura Cordeiro Pereira. - 2020.
91 f.

Orientador: Prof. Dr. Clécio Magalhães Vale.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.

1. Arquitetura de habitação - Projetos e plantas . 2. Sustentabilidade. 4. Ensino fundamental. 5. Edifícios escolares. I. Vale, Clécio Magalhães. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 72:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB: 1716



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Em 11 de dezembro de 2019, reuniu-se a banca examinadora do trabalho apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso Arquitetura e Urbanismo da Escola de Minas da UFOP, intitulado: **ARQUITETURA ESCOLAR PARA O ENSINO FUNDAMENTAL ORIENTADA POR CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE**, do aluno(a) **LAURA CORDEIRO PEREIRA**.

Compuseram a banca os professores(as) **CLÉCIO MAGALHÃES DO VALE, MONIQUE SANCHES MARQUES, MAURÍCIO LAGE DE ARAUJO TEIXEIRA**. Após a exposição oral, o(a) candidato(a) foi argüido(a) pelos componentes da banca que reuniram-se reservadamente, e decidiram, APROVAR, com a nota 8,5.

Orientador(a)

Avaliador 1

Avaliador 2

Aos meus pais, namorado e amigos,
pelo apoio incondicional em todos
os momentos difíceis da minha
trajetória acadêmica.

RESUMO

PEREIRA, Laura Cordeiro. **Arquitetura escolar para o ensino fundamental orientada por critérios de sustentabilidade**. 2019. 91p. Trabalho Final de Graduação – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Versão original.

Com o aumento do consumo dos recursos não renováveis e a necessidade da racionalização do uso dos mesmos, a indústria da construção civil precisa encontrar estratégias mais sustentáveis para construir. O arquiteto, como um dos principais tomadores de decisões, gera soluções projetuais que impactam diretamente na concepção de uma edificação.

Partindo da análise dos aspectos da arquitetura sustentável, especificamente no caso de um edifício escolar, sua qualidade é um dos principais fatores que afetam e influenciam os índices de rendimento dos alunos.

Diante de tal contexto, este trabalho busca investigar parâmetros da sustentabilidade que podem servir como base para escolhas projetuais e aplicar tais recomendações na produção de um projeto arquitetônico de uma escola de ensino fundamental no município de Congonhas, Minas Gerais.

Palavras-chave: Projeto de arquitetura; Sustentabilidade; Edifício escolar; Ensino fundamental; Arquitetura escolar.

ABSTRACT

PEREIRA, Laura Cordeiro. **School architecture for an elementary school guided by sustainability criteria**. 2019. 91p. Term Paper – School of Mines, Federal University of Ouro Preto, Ouro Preto, 2019. Original Version.

With the rise in consumption of the non-renewable resources and the need of a more rational use of them, the construction industry needs to find more sustainable ways to build. The architect, as one of the main decision makers, generates projectual solutions that directly impact in a building's conception.

Beginning with an analysis of the aspects of sustainable architecture, specifically in a school building, its quality is one of the main factors that influence in the students ratings.

Through this context, this work seeks the sustainability parameters that may be used for projectual choices and apply such recommendations in the production of an architecture project of an elementary school in Congonhas city, Minas Gerais State.

Keywords: Architecture project; Sustainability, School building, Elementary school, School architecture

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais pontos para um bom projeto de arquitetura escolar	16
Figura 2: Alunos no telhado verde do Colégio Estadual Erich Walter Heine	20
Figura 3: Creche Hassis.....	21
Figura 4: Escola sustentável de Michael Reynolds, Uruguai.....	22
Figura 5: Green School	23
Figura 6: Escola primária em Gando.....	24
Figura 7: Análise do contexto urbano e do terreno.....	26
Figura 8: Zoneamento bioclimático brasileiro	28
Figura 9: Interface ZBBR.....	29
Figura 10: Carta bioclimática.....	29
Figura 11: Estratégias adequadas para cada zona	30
Figura 12: Orientação solar	32
Figura 13: Ventilação cruzada.....	33
Figura 14: Torre de vento	33
Figura 15: Uso de brises	34
Figura 16: Prateleira de luz	34
Figura 17: Inserção geográfica de Congonhas em Minas Gerais.....	37
Figura 18: Foto aérea da cidade de Congonhas, com destaque para o bairro Barro preto e o Centro da cidade	38
Figura 19: Foto aérea do bairro Barro Preto com destaque para o lote escolhido	39
Figura 20: Foto aérea do lote escolhido	40
Figura 21: Análise do entorno do lote escolhido.....	40
Figura 22: Terreno visto da rua José Siqueira, ponto mais baixo do lote.....	41
Figura 23: Terreno visto pela rua Professor Armin Marques da Rocha.....	41
Figura 24: Terreno visto pela rua Professor Moacir Barbosa, ponto mais alto do lote	42
Figura 25: Terreno visto pela rua Raimundo Mota	42
Figura 26: Legislação ZUR 1	43
Figura 27: Planta de situação.....	43
Figura 28: Programa de necessidades.....	44
Figura 29: Orientação solar e dos ventos.....	45
Figura 30: Análise climática de Congonhas pelo ZBBR	46
Figura 31: Estrutura pré-fabricada em concreto e bloco de concreto.....	47

Figura 32: Telha metálica sanduíche	47
Figura 33: Fechamento e estrutura do telhado.....	48
Figura 34: Piso grama	48
Figura 35: Cobogó.....	49
Figura 36: Brises	49
Figura 37: Planta de Implantação.....	51
Figura 38: Vista aérea da esquina da rua Professor Moacir Barbosa	52
Figura 39: Vista aérea da esquina da rua Raimundo Mota	52
Figura 40: Vista aérea da rua José Siqueira	53
Figura 41: Vista aérea da esquina da rua Professor Armin Marques Barbosa.....	53
Figura 42: Entrada da edificação.....	54
Figura 43: Hall de entrada	54
Figura 44: Hall de entrada com vista para o acesso	55
Figura 45: Hall de entrada com vista da biblioteca ao fundo	55
Figura 46: Área de circulação do primeiro pavimento com vista da biblioteca ao fundo	56
Figura 47: Vista interna da biblioteca	56
Figura 48: Vista interna da biblioteca	57
Figura 49: Área de circulação do segundo pavimento com acesso ao pátio externo	57
Figura 50: Pátio externo	58
Figura 51: Pátio externo	58
Figura 52: Pátio externo	59
Figura 53: Sala de aula	59
Figura 54: Sala de aula da fachada norte	60
Figura 55: Layout de sala de aula	60
Figura 56: Layout de sala de aula	61
Figura 57: Layout de sala de aula	61
Figura 58: Layout de sala de aula	62
Figura 59: Layout de sala de aula	62
Figura 60: Layout de sala de aula	63
Figura 61: Área de circulação do segundo pavimento com acesso ao terraço	63
Figura 62: Área de circulação do segundo pavimento com acesso ao terraço	64
Figura 63: Terraço do segundo pavimento.....	64
Figura 64: Terraço do segundo pavimento.....	65

Figura 65: Vista para o pátio do terraço do segundo pavimento	65
Figura 66: Área de circulação do terceiro pavimento	66
Figura 67: Vista do refeitório	66
Figura 68: Refeitório	67
Figura 69: Relação entre o refeitório e a área externa com vista da sala multiuso ...	67
Figura 70: Área externa.....	68
Figura 71: Área externa com vista da horta	68
Figura 72: Área externa.....	69
Figura 73: Quadra poliesportiva	69
Figura 74: Quadra poliesportiva com vestiário ao fundo	70
Figura 75: Portão de acesso à quadra esportiva direto pela rua	70
Figura 76: Vista aérea	71
Figura 77: Vista aérea	71
Figura 78: Vista lateral direita.....	72
Figura 79: Vista lateral esquerda.....	72
Figura 80: Vista lateral esquerda.....	73
Figura 81: Vista superior	73
Figura 82: Vista aérea	74
Figura 83: Vista aérea	74
Figura 84: Planta baixa primeiro pavimento	75
Figura 85: Ambientes do primeiro pavimento	76
Figura 86: Planta baixa do segundo pavimento	77
Figura 87: Ambientes do segundo pavimento	78
Figura 88: Planta baixa terceiro pavimento	79
Figura 89: Ambientes do terceiro pavimento	80
Figura 90: Planta baixa quadra	81
Figura 91: Ambientes da quadra	82
Figura 92: Corte AA.....	82
Figura 93: Corte BB.....	83
Figura 94: Vista das placas fotovoltaicas no telhado voltado para o norte.....	84
Figura 95: Cobertura	85
Figura 96: Reservatório e calha para o aproveitamento da água da chuva	86
Figura 97: Horta para compostagem	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros urbanísticos de Belo Horizonte.....	28
Tabela 2: Recomendações de projeto para cada zona bioclimática.....	32
Tabela 3: Planilha de diretrizes.....	37
Tabela 4: Recomendações de projeto para a zona bioclimática 3.....	46

ÍNDICE DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

FNDE Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

IDH Índice de Desenvolvimento Humano

RIBA *Royal Institute of British Architects*

UFSCar Universidade Federal de São Carlos

ZBBR Zoneamento Bioclimático do Brasil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	ARQUITETURA E O AMBIENTE ESCOLAR.....	15
2.1	CONFORTO ACÚSTICO.....	16
2.2	CONFORTO TÉRMICO.....	17
2.3	CONFORTO VISUAL.....	17
3	A SUSTENTABILIDADE NO EDIFÍCIO ESCOLAR.....	19
3.1	ESCOLAS SUSTENTÁVEIS.....	19
3.2	OBRAS ANÁLOGAS.....	20
3.2.1	Colégio Estadual Erich Walter Heine, Rio de Janeiro.....	20
3.2.2	Creche Hassis, Florianópolis.....	21
3.2.3	Escola sustentável de Michael Reynolds, Uruguai.....	21
3.2.4	Green School.....	22
3.2.5	Escola primária em Gando.....	23
4	RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS PARA UMA EDIFICAÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL.....	25
4.1	PROGRAMA DE NECESSIDADES.....	25
4.2	ANÁLISE DO TERRENO, ENTORNO E LEGISLAÇÃO.....	25
4.3	ANÁLISE CLIMÁTICA DO LOCAL.....	27
4.4	IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	31
4.5	MECANISMOS DE PROJETO.....	32
4.6	PLANILHA DE DIRETRIZES.....	35
5	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ARQUITETÔNICO.....	37
5.1	INSERÇÃO GEOGRÁFICA, ANÁLISE DO ENTORNO, TERRENO E LEGISLAÇÃO.....	37
5.2	PROGRAMA DE NECESSIDADES.....	44
5.3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	44

5.3.1	Estratégias de projeto.....	81
5.3.1.1	Energia fotovoltaica.....	83
5.3.1.2	Captação da água de chuva	85
5.3.1.3	Compostagem.....	86
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	88
	REFERÊNCIAS.....	89
	APÊNDICE I.....	92

1 INTRODUÇÃO

No Relatório Brundtland – “Our Common Future” (Nosso Futuro Comum) de 1987, o termo desenvolvimento sustentável foi definido pela primeira vez como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”. (BARBIERE, 1997)

Desde então diversas conferências ambientais foram realizadas a fim de discutir os impactos causados no meio ambiente pela ação humana. Algumas ocorreram no Brasil, como a ECO-92, em 1992 e a Rio +20, em 2012, ambas no Rio de Janeiro.

Como resultado desses encontros, foram firmados acordos visando a preservação do meio ambiente e diminuição da exploração de recursos não renováveis, porém com a divergência de interesses políticos e econômicos entre os países participantes, os resultados esperados não foram alcançados.

A indústria da construção civil causa um grande impacto sobre o meio ambiente devido a geração intensa de resíduos, poluição sonora, aumento do consumo de energia, entre outros. Segundo Gonçalves e Duarte (2006), a arquitetura pós Segunda Guerra Mundial se apoia na tecnologia dos sistemas prediais para um controle das condições ambientais dos edifícios, levando à repetição das caixas de vidros pelas grandes cidades e ao consumo acentuado de energia.

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, publicado pela ABRELPE, os municípios coletaram em torno de 45 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição em 2017. (ABRELPE, 2017)

“Estima-se que as cidades, com suas construções, atividades, serviços e transportes, utilizam mais de 50% das fontes mundiais de energia. E que o setor da indústria da construção civil é responsável pelo consumo de 40% dos recursos naturais, 40% da energia e 40% das emissões poluentes.” (MOTTA; AGUILAR, 2009)

Partindo, portanto, de uma análise da arquitetura sustentável, a Arquitetura Bioclimática se destaca, por ter como ponto inicial do projeto a construção utilizando estratégias passivas que se adequem ao contexto local. Tal arquitetura se destaca diante do contexto atual de degradação do meio ambiente, escassez de recursos e aumento da crise social.

“A Arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da Bioclimática, considerando também a integração do edifício à

totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as próximas gerações.” (CORBELLA; YANNAS, 2003)

A escola, como instrumento essencial na formação do cidadão, é capaz de informar e educar seus usuários a respeito dos processos de transformação e apropriação dos recursos naturais. Além disso, o próprio edifício pode ser utilizado como uma ferramenta pedagógica complementar de aprendizagem na sala de aula, contribuindo para a formação dos alunos.

Segundo o Ministério da Educação (2013), a sustentabilidade nas escolas é promovida pelo tripé: espaço físico, gestão e currículo. É necessário compreender que existem outros aspectos a serem considerados para que algo seja sustentável e que os profissionais da arquitetura não estão aptos a interferirem no gerenciamento assim como na grade curricular da escola, mas sim no seu espaço físico, buscando a eficiência da edificação, sem deixar de lado o caráter pedagógico.

O arquiteto como um dos principais tomadores de decisões, gera soluções projetuais que impactam diretamente na concepção de uma edificação. Do ponto de vista arquitetônico, para uma edificação ser sustentável, é preciso uma análise prévia do que é pertinente para a eficiência do edifício concomitantemente à configuração dos espaços e sua influência em uma instituição de ensino.

Este estudo tem por objetivo geral a investigação dos parâmetros da arquitetura sustentável, servindo como base para as escolhas projetuais. Por objetivos específicos tem-se: investigar a relação entre o ambiente construído e a qualidade de ensino, estudar aplicações da arquitetura sustentável em projetos escolares, identificar recomendações projetuais para uma construção ambientalmente eficiente, demonstrar de forma simples a aplicação da sustentabilidade em projetos e aplicar tais recomendações no desenvolvimento do exercício projetual de uma escola de ensino fundamental em Congonhas, Minas Gerais.

2 ARQUITETURA E O AMBIENTE ESCOLAR

Doris Kowaltowski, professora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, em seu livro “Arquitetura Escolar o Projeto do Ambiente de Ensino”, faz uma análise sobre as condições de conforto das escolas públicas da região de Campinas, SP, a partir de avaliações pós-ocupação (APOs).

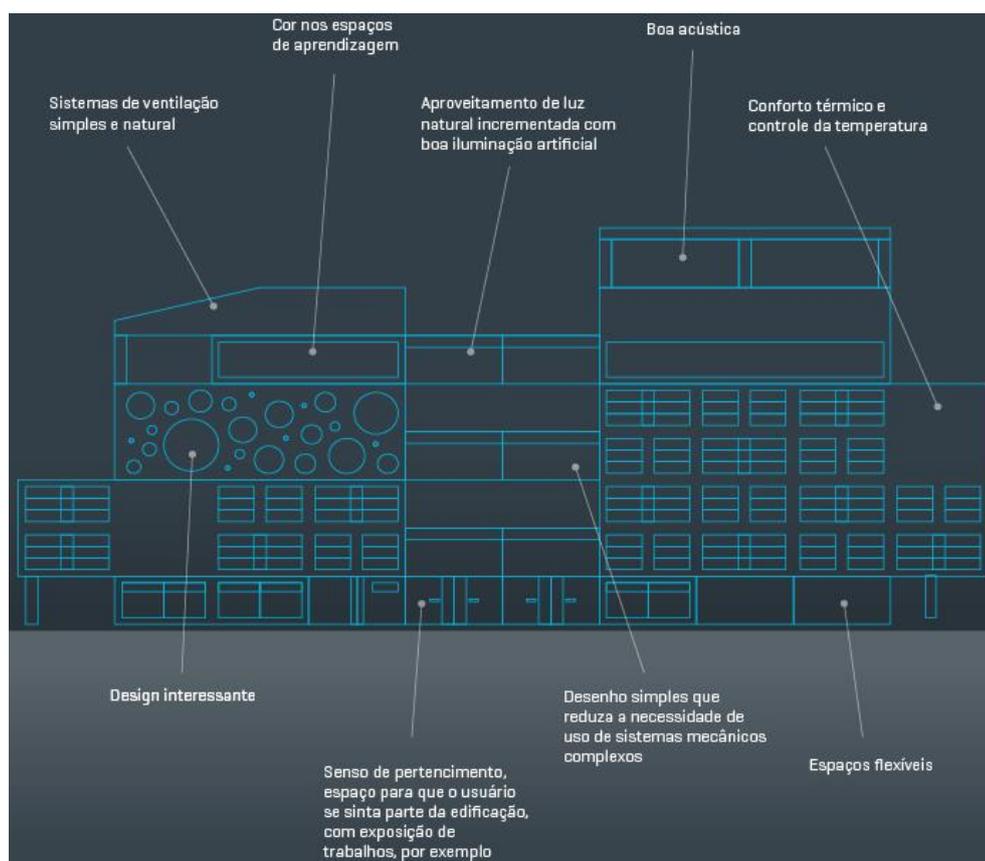
Segundo o livro, nos últimos cinquenta anos houve grande transformação nas atividades desenvolvidas no âmbito escolar assim como na relação entre alunos, professores e outros profissionais com o ambiente de ensino.

“A qualidade do ambiente escolar depende da qualidade de cada um de seus componentes. A qualidade das relações humanas desenvolvidas nesse ambiente é o fator que mais influencia a qualidade do ensino.” (KOWALTOWSKI, 2011)

Em 2017, após estudos e entrevistas em escolas do Reino Unido, o *Royal Institute of British Architects* (RIBA) desenvolveu um relatório chamado *Better Spaces for Learning* (Melhores espaços para aprender, tradução livre), no qual constatou que o aprendizado aumenta em até 15% quando os espaços são melhores projetados. (BLÜMEL, 2017)

No relatório, o RIBA apresenta os principais pontos para um bom projeto de arquitetura escolar (Figura 1), que serão abrangidos a seguir.

Figura 1: Principais pontos para um bom projeto de arquitetura escolar



Fonte: **Arquitetura escolar e sua influência na qualidade de ensino**. Disponível em: <https://habitusbrasil.com/arquitetura-escolar-qualidade-de-ensino/>. Acesso em: 17 jun. 2019.

De acordo com Kowaltowski (2006), um dos fatores dentro da arquitetura que mais intervêm na qualidade de vida do homem é o conforto ambiental, assim como suas concepções visuais, acústicas, térmicas e funcionais.

Avaliações pós-ocupação em todo Brasil mostram diversas patologias ligadas ao conforto visual, térmico e acústico devido ao fato da utilização de projetos padrões para as escolas, que não levam em consideração características específicas do local, acarretando assim em ambientes escolares com baixa qualidade (FUNARI e KOWALTOWSKI, 2005).

2.1 CONFORTO ACÚSTICO

Em uma sala de aula, o conforto acústico interfere diretamente no processo ensino-aprendizagem. A comunicação entre o professor e o aluno precisa ser clara, sem níveis elevados de ruído. Um ambiente ruidoso gera perda de concentração, baixa produtividade, ansiedade, irritação e outros transtornos (TORO, 2005).

A NBR 10152 (ABNT, 1987b) estabelece valores entre 40 a 50 decibéis (dB) como nível de conforto para uma sala de aula, sendo 40dB mais confortável e 50dB aceitável. Um tratamento acústico eficiente consiste em um bom isolamento e absorção sonora.

O isolamento tem o papel de barrar a entrada e saída de ruídos do ambiente. Para isso, são utilizados materiais pesados, que barram a energia sonora, como paredes de concreto, alvenaria, aço, entre outros. Já a absorção sonora, reduz o tempo de reverberação e o eco. Os materiais utilizados são os leves e porosos, como lã de vidro e lã de rocha.

Algumas das recomendações que Kowaltowski (2011) traz em seu livro podem auxiliar no desempenho desses materiais. Entre outros, é sugerido a separação entre as áreas recreativas das áreas didáticas, devido a interferência de ruídos externos bem como a transferência da absorção do forro para as paredes, além de manter a região central do teto sem revestimento, para melhorar a acústica, pois favorece a reflexão da voz do professor na direção do fundo da sala.

2.2 CONFORTO TÉRMICO

O desconforto térmico pode afetar a saúde e a disposição para exercer as atividades, o que é prejudicial para o ambiente e desempenho escolar.

Em ambientes de trabalho e estudo recomendam-se uma boa ventilação cruzada na altura das pessoas sentadas, proteção solar adequada nas fachadas voltadas para leste/oeste e também um bom projeto paisagístico, que podem amenizar as condições térmicas no calor. Em regiões mais frias, é preciso se ater para que durante o inverno as soluções não prejudiquem o aquecimento das salas de aula.

Além do conforto térmico, a utilização adequada de tais artifícios, reduzem o uso de equipamentos mecânicos de condicionamento térmico.

2.3 CONFORTO VISUAL

O conforto visual está ligado diretamente ao nível de iluminação do ambiente, quer seja natural ou artificial. Em edificações escolares, o conforto lumínico deve ser o suficiente para o desenvolvimento das atividades didáticas.

A iluminação natural é a mais indicada como a principal fonte para a iluminação do ambiente. Em um estudo científico desenvolvido pelo Heschong Mahone Group, concluiu-se que os alunos eram 20% mais eficientes nos testes de matemática e 26% nos testes de leitura em ambientes com a iluminação natural adequadamente filtrada (KOWALTOWSKI, 2011).

Considerando a inevitável utilização da iluminação artificial como suplementação, as duas devem ser empregadas de modo combinado. É preciso evitar fenômenos como ofuscamento e excesso de insolação e claridade.

A relação entre área de esquadrias e área de piso do ambiente e dos níveis de iluminamento mínimo para iluminação artificial variam de acordo com a finalidade de cada ambiente.

3 A SUSTENTABILIDADE NO EDIFÍCIO ESCOLAR

Estando a arquitetura atrelada à educação, a aplicação de práticas sustentáveis a um edifício escolar atende a necessidade de um menor consumo de recursos naturais ao mesmo tempo em que oferece uma melhor estrutura para os ocupantes, projetando um edifício com eficiência ambiental e funcionalidade.

“Um edifício educacional é um multiplicador do conhecimento. Tornar esse espaço mais consciente é fundamental para disseminar a preservação dos recursos naturais” (EDUCAÇÃO, 2014).

O trabalho com conceitos básicos da sustentabilidade pode ser incorporado desde a educação infantil, através de atividades que relacionem a natureza com os sentidos, escrita, lógica. Uma outra forma de fazer com que os projetos ambientais sejam aplicados de forma recorrente ao longo do ano letivo, é incorporando os mesmos ao Plano Político Pedagógico da escola. (ANDRADE; LIMA, 2017)

A escola, ao adotar práticas sustentáveis, procura a reflexão das crianças e jovens em suas ações no espaço que vivem, com o objetivo de ensiná-los a viverem neste ambiente, diminuindo o desperdício dos recursos naturais e criando valores que os acompanharão ao longo da vida. É preciso destacar também a importância do envolvimento da comunidade local com as atividades escolares que são desenvolvidas, que provocam mudanças significativas em seus hábitos.

3.1 ESCOLAS SUSTENTÁVEIS

Uma escola sustentável cumpre seu papel social de educar, incorporando ações voltadas à preservação dos recursos naturais ao mesmo tempo em que seu funcionamento não compromete o meio ambiente.

A sustentabilidade deve estar presente em todas as esferas da instituição seguindo a definição de desenvolvimento sustentável dita anteriormente, ou seja, utilizando os recursos naturais necessários atendendo às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades. A seguir, serão apresentadas algumas obras análogas que possuem o viés da sustentabilidade em sua concepção.

3.2 OBRAS ANÁLOGAS

3.2.1 Colégio Estadual Erich Walter Heine, Rio de Janeiro

Inaugurada em 2011, a escola recebeu a certificação LEED e se tornou a primeira instituição de ensino totalmente sustentável da América Latina. Foi construída em uma parceria público-privada em um dos bairros com pior IDH do Rio de Janeiro, o Santa Cruz.

Construída com o objetivo de reduzir em até 40% o consumo de energia, inspeções comprovaram sua eficácia em mais de 50 medidas. O reaproveitamento de água de chuva economiza em até 50% o uso da água potável. Além de energia solar, a utilização de lâmpadas de LED reduz em até 80% o consumo de energia.

Algumas outras medidas presentes na escola são a acessibilidade, pavimento permeável e o telhado que, além de diminuir a absorção de calor, serve como espaço de aprendizagem.

Figura 2: Alunos no telhado verde do Colégio Estadual Erich Walter Heine



Fonte: Colégio público do Rio de Janeiro é a primeira escola sustentável certificada da América Latina. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-164540/colégio-publico-do-rio-de-janeiro-e-a-primeira-escola-sustentavel-certificada-da-america-latina>. Acesso em: 13 mai. 2019.

3.2.2 Creche Hassis, Florianópolis

A creche pública municipal, inaugurada em 2011, é a primeira do mundo com o Leed Platinum, que é o máximo da arquitetura sustentável. Seu programa pedagógico é guiado por questões ambientais e de sustentabilidade.

A edificação foi totalmente construída com materiais recicláveis, entre outros aspectos, possui aquecimento solar, utilização de madeira certificada e sistema de geração de energia fotovoltaica.

Figura 3: Creche Hassis



Fonte: Creche em Florianópolis é a primeira do mundo com selo máximo de arquitetura sustentável. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/927009/creche-em-florianopolis-e-a-primeira-do-mundo-com-selo-maximo-de-arquitetura-sustentavel>. Acesso em: 13 mai. 2019.

3.2.3 Escola sustentável de Michael Reynolds, Uruguai

A escola foi construída em aproximadamente dois meses e foi feita com 60% de materiais recicláveis, como garrafas de plástico e vidro, latas e papelão.

A implantação da edificação foi pensada seguindo a rosa dos ventos, de forma que houvesse máximo aproveitamento do vento e da luz solar, que é utilizada na produção de energia através de painéis fotovoltaicos.

Há ainda reaproveitamento de água de chuva, tratamento de águas negras e uma horta interior, que aproveita a incidência de luz do norte.

Figura 4: Escola sustentável de Michael Reynolds, Uruguai



Fonte: Conheça a escola sustentável de Michael Reynolds em Jaureguiberry, Uruguai. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/791524/conheca-a-escola-sustentavel-de-michael-reynolds-em-jaureguiberry-uruguai>. Acesso em: 13 mai. 2019

3.2.4 Green School

Considerada a escola mais verde do mundo, é localizada em Bali, Indonésia. O principal material utilizado na sua construção, assim como nos mobiliários, foi o bambu, por ser um material abundante na região.

Possui ainda fontes de energia renovável, utilização de sacos de lixo em tecidos, plantações nas quais as crianças têm aulas, entre outros. Ecologia e sustentabilidade fazem parte da metodologia de ensino.

Figura 5: Green School



Fonte: Green School, escola construída com bambu em Bali. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/green-school-escola-construida-em-bambu-em-bali/>. Acesso em: 13 mai. 2019

3.2.5 Escola primária em Gando

Projetada sob uma lista de restrições como o clima e a escassez de recursos, a escola foi construída utilizando os materiais disponíveis no local. É uma construção híbrida de argila e lama, que são abundantes na região, além de serem bons isolantes térmicos.

O telhado de zinco suspenso ajuda na circulação do ar, e a utilização de blocos de argila perfurados permitem com que o ar quente saia, evitando o uso de ventilação mecânica. A comunidade teve grande envolvimento na construção da escola, momento em que técnicas sustentáveis de construção foram ensinadas aos moradores locais para que pudessem ajudar na obra, reafirmando o viés social.

Figura 6: Escola primária em Gando



Fonte: Escola Primária em Gando / Kéré Architecture. Disponível em:
<https://www.archdaily.com.br/br/786882/escola-primaria-em-gando-kere-architecture>. Acesso em: 22
jun. 2019.

4 RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS PARA UMA EDIFICAÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL

É preciso levar em consideração que uma edificação nunca será inteiramente sustentável pelo fato de seu ciclo de vida ser baseado no consumo de recursos, porém, os impactos das construções sobre o meio ambiente podem ser minimizados.

Com base nos estudos de MAIA (2015) e de GARCIA et al. (2018), este subitem irá abordar algumas recomendações de projeto que podem ser seguidas no processo projetual. A utilização de tais estratégias impacta diretamente no edifício e as adaptações necessárias serão determinadas pelo ambiente em que está inserido. As seguintes recomendações podem ser replicadas, porém, entende-se que é necessária uma abordagem individualizada para cada projeto.

4.1 PROGRAMA DE NECESSIDADES

O programa de necessidades é uma das informações mais importantes que norteiam um projeto na fase inicial e consiste nas demandas do cliente que orientam o arquiteto a predefinir os dimensionamentos, qualidade desejada, recursos e prazos do empreendimento. O projeto deve considerar a acessibilidade universal, e deve ser econômico e flexível para atender as necessidades dos usuários a médio e longo prazo.

Em uma escola, por exemplo, o programa de necessidades inclui salas de aulas, sala de professores, biblioteca, quadra poliesportiva, entre outros.

Obras análogas, questionários, livros e normas sobre o tema do projeto podem servir como material de consulta.

4.2 ANÁLISE DO TERRENO, ENTORNO E LEGISLAÇÃO

O local onde a edificação está inserida é determinante para o projeto, assim como o programa de necessidades. É preciso observar alguns pontos como forma do terreno, topografia, posição geográfica, vegetação existente.

O estudo dos acessos, vias próximas, existência de serviços e equipamentos públicos no local são importantes para a concepção do edifício, pois definem a localização das entradas, janelas, relação com o entorno, etc.

Na figura 6, tem-se o exemplo da análise de um terreno em São Paulo, próximo à estação Vila Madalena. A diferenciação dos lotes de acordo com suas características auxilia na análise para a definição de um programa arquitetônico que atenda às necessidades locais.

Figura 7: Análise do contexto urbano e do terreno



Fonte: Projeto arquitetônico. Disponível em: <http://projetoarquitetonico-e.blogspot.com>. Acesso em: 13 jun. 2019.

Em relação à legislação local, é necessário um estudo dos parâmetros urbanísticos a serem seguidos, tal como zona de adensamento, afastamentos e taxas de permeabilidade e ocupação.

A tabela 1, mostra os parâmetros urbanísticos da zona de adensamento preferencial (ZAP) e da zona hipercentral (ZHIP) da cidade de Belo Horizonte, MG. Essas zonas são diferenciadas segundo os potenciais de adensamento e as demandas de preservação e proteção ambiental, histórica, cultural, arqueológica ou paisagística (BELO HORIZONTE, 1996).

Tabela 1: Parâmetros urbanísticos de Belo Horizonte

PARÂMETROS URBANÍSTICOS	ZAP		ZHIP	
	1,5 (Cab)	2 (Cam)	2,7 (Cab)	3,4 (Cam)
Coefficiente de Aproveitamento	1,5 (Cab)	2 (Cam)	2,7 (Cab)	3,4 (Cam)
Quota de Terreno por Unidade Habitacional (m ² /un)	40		08	
Taxa de Ocupação	-		-	
Taxa de Permeabilidade	10% - área menor ou igual a 360m ² 20% - área superior a 360m ²		10% - área menor ou igual a 360m ² 20% - área superior a 360m ²	
Afastamento Frontal	4,00 – Vias Regionais e Arteriais 3,00 – Vias Locais		4,00 – Vias Regionais e Arteriais 3,00 – Vias Locais	
Afastamentos Laterais e de Fundo	Maior do que 12,00m $A=2,30+(H-12,00)+b$		Afastamentos Facultativos Caso existam aberturas: Afastamento Lateral Mínimo: 1,50m Afastamento da Divisa de Fundo: 5,00m	
Altura Máxima na Divisa	5,00m		10,80m (Aplicável à divisa de fundo)	
Saliências	25cm		25cm	
Áreas de Estacionamento	Anexo		Anexo	

*A = Afastamentos Laterais e de Fundos mínimos, em metros, quanto aos pavimentos obrigatoriamente recuados

2,30 = Afastamento Mínimo, em metros, para pavimentos obrigatoriamente recuados cujo H esteja situado entre 6,00m e 12,00m

H = Diferença de Cota, em metros, entre a laje de cobertura do pavimento ou do topo da edificação e o piso do primeiro pavimento acima da cota altimétrica média do alinhamento

12,00m – Limite superior, em metros, das diferenças de cotas sujeitas a afastamento mínimo

b = ZAP=4

Fonte: **Lei nº 7166, de 27 de agosto de 1996**. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo-belo-horizonte-mg>. Acesso em: 6 abr. 2018.

4.3 ANÁLISE CLIMÁTICA DO LOCAL

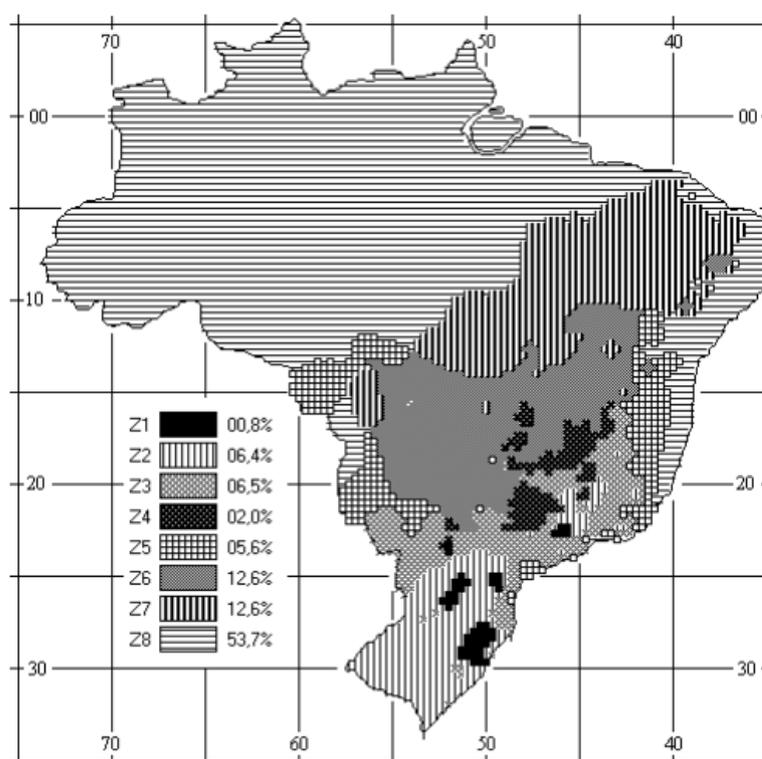
A análise climática é importante para que o edifício se adeque ao local em que está inserido, a fim de utilizar uma menor quantidade de recursos e contribuir para o conforto do usuário.

A NBR 15220, “Desempenho térmico de edificações”, discorre sobre o comportamento térmico mínimo esperado nas edificações e/ou seus componentes (janelas, coberturas, paredes), visando melhores condições de conforto térmico interior e menor uso de equipamentos de climatização artificial (ABNT, 2003).

Na mesma norma, a parte 3, “Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social”, estabelece recomendações e diretrizes construtivas a serem aplicadas na fase de projeto.

O zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 8) — a partir da análise das temperaturas e umidades médias mensais de 330 cidades — foi dividido em “oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima e, para cada uma destas zonas, formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática” (ABNT, 2003).

Figura 8: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_SET2004.pdf.

Acesso em: 14 de junho 2019.

O ZBBR, um programa desenvolvido pela UFSCar em 2004, conforme a ABNT 15220-3, possibilita a consulta, de forma simplificada, da classificação bioclimática dos municípios brasileiros e suas diretrizes construtivas (Figura 9).

Figura 11: Estratégias adequadas para cada zona

A – Zona de aquecimento artificial (calefação)	G + H – Zona de resfriamento evaporativo
B – Zona de aquecimento solar da edificação	H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
C – Zona de massa térmica para aquecimento	I + J – Zona de ventilação
D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)	K – Zona de refrigeração artificial
E – Zona de Conforto Térmico	L – Zona de umidificação do ar
F – Zona de desumidificação (renovação do ar)	

Fonte: **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_SET2004.pdf.

Acesso em: 14 de junho 2019.

Depois da identificação da zona no qual o projeto está sendo feito, deve-se procurar seguir as recomendações de projeto descritas abaixo (Tabela 2).

Tabela 2: Recomendações de projeto para cada zona bioclimática

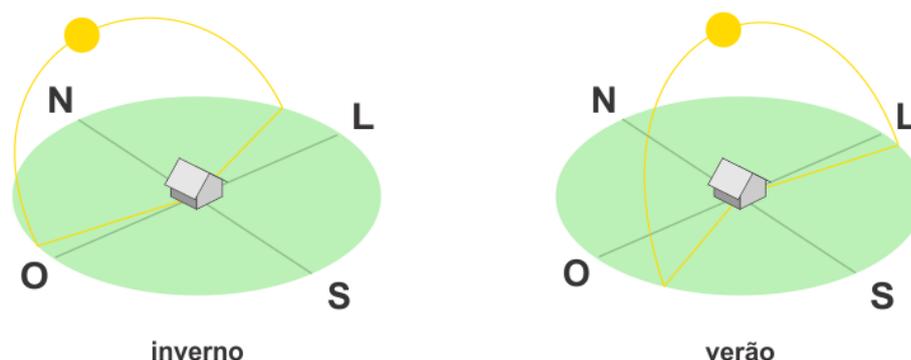
Zonas	Tamanho das aberturas para ventilação	Proteção/ Sombreamento das aberturas	Vedações externas - Paredes	Vedações externas - Cobertura	Estratégias de condicionamento térmico	
					Verão	Inverno
ZB1	Médias: 15% < A < 25% da área do piso	Permitir sol durante o período frio	Leve: $U^1 \leq 3,0$; $\$^2 \leq 4,3$; $FSO^3 \leq 5,0$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FSO \leq 6,5$		B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
ZB2	Médias: 15% < A < 25%	Permitir sol durante o inverno	Leve: $U \leq 3,0$; $\$ \leq 4,3$; $FSO \leq 5,0$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FSO \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
ZB3	Médias: 15% < A < 25%	Permitir sol durante o inverno	Leve refletora: $U \leq 3,6$; $\$ \leq 4,3$; $FSO \leq 4,0$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FSO \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
ZB4	Médias: 15% < A < 25%	Sombrear aberturas	Pesada: $U \leq 2,2$; $\$ \geq 6,5$; $FSO \leq 3,5$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FSO \leq 6,5$	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
ZB5	Médias: 15% < A < 25%	Sombrear aberturas	Leve refletora: $U \leq 3,6$; $\$ \leq 4,3$; $FSO \leq 4,0$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FSO \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
ZB6	Médias: 15% < A < 25%	Sombrear aberturas	Pesada: $U \leq 2,2$; $\$ \geq 6,5$; $FSO \leq 3,5$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FSO \leq 6,5$	H) Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)	C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
ZB7	Pequenas: 10% < A < 15%	Sombrear aberturas	Pesada: $U \leq 2,2$; $\$ \geq 6,5$; $FSO \leq 3,5$	Pesada $U \leq 2,0$; $\$ \geq 6,5$; $FSO \leq 6,5$	H) Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento J) Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa)	
ZB8	Grandes: A > 40%	Sombrear aberturas	Leve refletora: $U \leq 3,6$; $\$ \leq 4,3$; $FSO \leq 4,0$	Leve refletora: $U^1 \leq 2,3$; $\$^2 \leq 3,3$; $FSO^3 \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	
¹ Transmissância térmica						
² Atrazo térmico						
³ Fator solar						

Fonte: Produzido pela autora, com base em dados fornecidos por MAIA, 2015; ABNT, 2003

4.4 IMPLANTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A trajetória solar (Figura 12) irá influenciar na orientação, aberturas e forma da edificação. Em resumo, a face norte recebe insolação durante a maior parte do dia, a sul recebe menos sol, a Leste recebe o sol da manhã e a Oeste/Norte o sol mais forte ao entardecer.

Figura 12: Orientação solar



Fonte: Veja como a orientação solar pode transformar o seu projeto. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/orientacao-solar-arquitetura/>. Acesso em: 13 jun. 2019.

Esses aspectos deverão ser analisados de acordo com as características locais, por exemplo, em um local quente e seco a implantação da edificação no eixo Leste-Oeste minimiza a exposição ao sol ou o uso de brises para evitar incidência solar direta.

4.5 MECANISMOS DE PROJETO

A partir da análise bioclimática, os materiais escolhidos para a envoltória da edificação deverão seguir as diretrizes que foram definidas para cada zona.

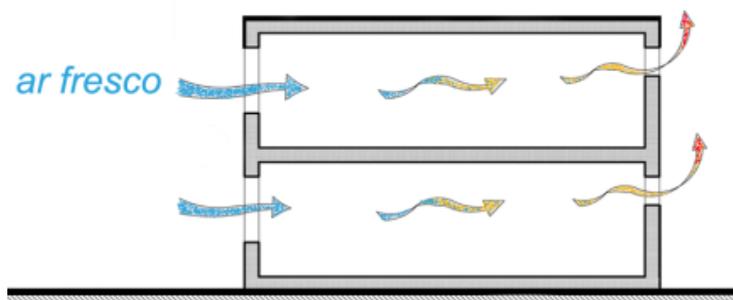
a) Ventilação natural

A ventilação natural tem a função de promover uma melhor qualidade do ar devido à renovação, economizar de energia pela redução no uso de ar condicionado, aumentar a salubridade.

A NBR 15220 especifica as dimensões de aberturas para ventilação (Tabela 2). Os dois tipos principais de ventilação passiva são a ventilação cruzada e a torre de vento.

Na ventilação cruzada (Figura 13), a troca de vento acontece através de aberturas em vãos opostos ou adjacentes.

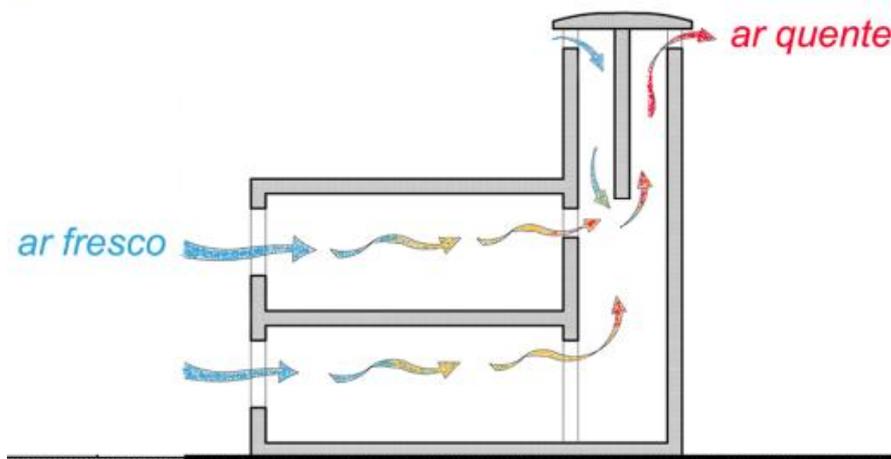
Figura 13: Ventilação cruzada



Fonte: A importância da ventilação natural para arquitetura bioclimática. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/importancia-da-ventilacao-natural-para-arquitetura-sustentavel/>. Acesso em: 16 jun. 2019.

Na torre de vento (Figura 14) o ar entra por um lado da torre e sai pelo outro, retirando o ar quente do interior, de forma que o ar fresco entre pelas aberturas da parte inferior. Ocorre pela diferença de temperatura.

Figura 14: Torre de vento



Fonte: A importância da ventilação natural para arquitetura bioclimática. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/importancia-da-ventilacao-natural-para-arquitetura-sustentavel/>. Acesso em: 16 jun. 2019.

b) **Sombreamento das aberturas e iluminação natural**

O sombreamento é um fator importante para a proteção da incidência solar direta. Deve ser pensado de forma que não atrapalhe a iluminação natural e que durante o inverno não impeça o aquecimento passivo. Algumas formas de sombreamento são os brises (Figura 15), cobogós, utilização de vegetação, etc.

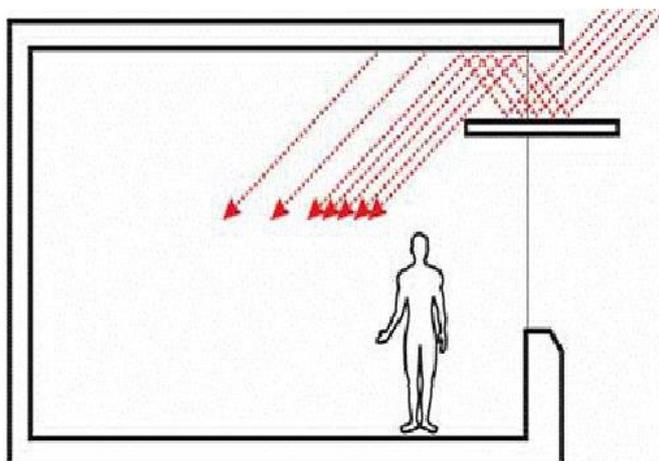
Figura 15: Uso de brises



Fonte: Luz e sombra na arquitetura!. Disponível em: <https://fattoarquitetura.wordpress.com/2015/10/23/luz-e-sombra-na-arquitetura/>. Acesso em: 16 jun. 2019.

A iluminação natural é importante para a redução do consumo de energia. Algumas das formas de ser alcançada é através de claraboia, prateleiras de luz, telhado com shed (Figura 16) e pátios internos.

Figura 16: Prateleira de luz



Fontes: **Iluminação natural**. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/iluminacao-natural/>. Acesso em: 16 jun. 2019.

c) **Envoltórias**

Na escolha das envoltórias é necessário observar características como (ABNT, 2003):

- Transmitância térmica (U): fluxo de calor que atravessa o componente.
- Atraso térmico (Δ): tempo transcorrido entre uma variação térmica em

um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.

- Fator de calor solar (FS_o): quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo.

Esses elementos vão influenciar diretamente na capacidade térmica das edificações. De acordo com a Figura 11, é possível observar qual tipo de envoltória é necessária em cada zona. Por exemplo, na ZB3 é necessário resfriamento e ventilação, assim se recomenda a utilização de paredes leves refletoras, com maior transmitância térmica.

4.6 PLANILHA DE DIRETRIZES

Abaixo (Tabela 3) tem-se uma planilha com as diretrizes básicas a serem seguidas no projeto.

Tabela 3: Planilha de diretrizes

ETAPA	O QUE FAZER	COMO
Programa de necessidades	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda do cliente • Prazos • Pré-dimensionamento 	Consulta de normas técnicas; estudo de obras análogas; livros.
Análise do terreno, entorno e legislação	<ul style="list-style-type: none"> • Forma do terreno • Topografia • Vegetação existente • Acessos • Equipamentos públicos existentes • Legislação local 	Reconhecimento da área através de mapas; visita ao local; pesquisa sobre legislação vigente.
Análise climática do local	<ul style="list-style-type: none"> • Classificação da zona climática e estratégias de projeto segundo a NBR15220 	Utilização do programa ZBBR - Classificação bioclimática dos municípios brasileiros http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbr
Implantação da edificação	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo da orientação solar 	Simulação no programa SketchUP www.sketchup.com
Mecanismos de projeto	<ul style="list-style-type: none"> a) Ventilação natural b) Sombreamento das aberturas e iluminação natural c) Envoltórias 	<p>Ventilação cruzada; Torre de vento.</p> <p>Sombreamento: brises; cobogós; vegetação.</p> <p>Iluminação natural: clarabóia; prateleiras de luz; telhado com sheds; pátio interno.</p> <p>Observar na escolha dos materiais a transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar de acordo com cada zona bioclimática.</p>

Fonte: Produzido pela autora, com base em dados fornecidos por MAIA, 2015; ABNT, 2003

5 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ARQUITETÔNICO

5.1 INSERÇÃO GEOGRÁFICA, ANÁLISE DO ENTORNO, TERRENO E LEGISLAÇÃO

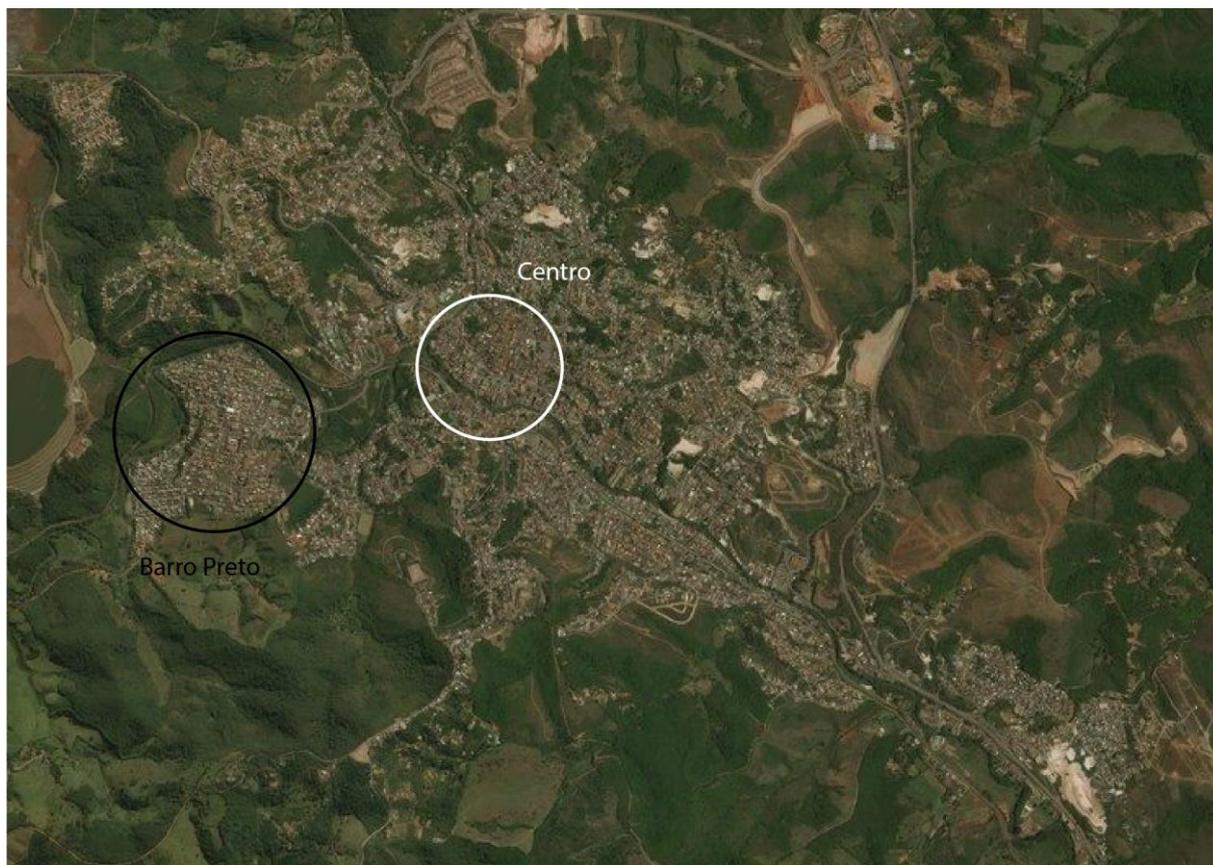
O exercício projetual foi desenvolvido para a cidade de Congonhas, Minas Gerais. Em uma consulta ao poder público municipal, acerca da demanda por escolas e possíveis terrenos disponíveis para a construção da mesma, foram disponibilizados dois terrenos pertencentes à cidade, dos quais um possuía uma área incompatível com as necessidades do projeto, por ser de pequenas dimensões, o que levou à escolha do lote utilizado, no bairro Barro Preto. Acrescenta-se que, de acordo com o diretor da Secretaria de Gestão Urbana, há no município a intenção de se construir uma escola no mesmo local.

Figura 17: Inserção geográfica de Congonhas em Minas Gerais



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 18: Foto aérea da cidade de Congonhas, com destaque para o bairro Barro preto e o Centro da cidade

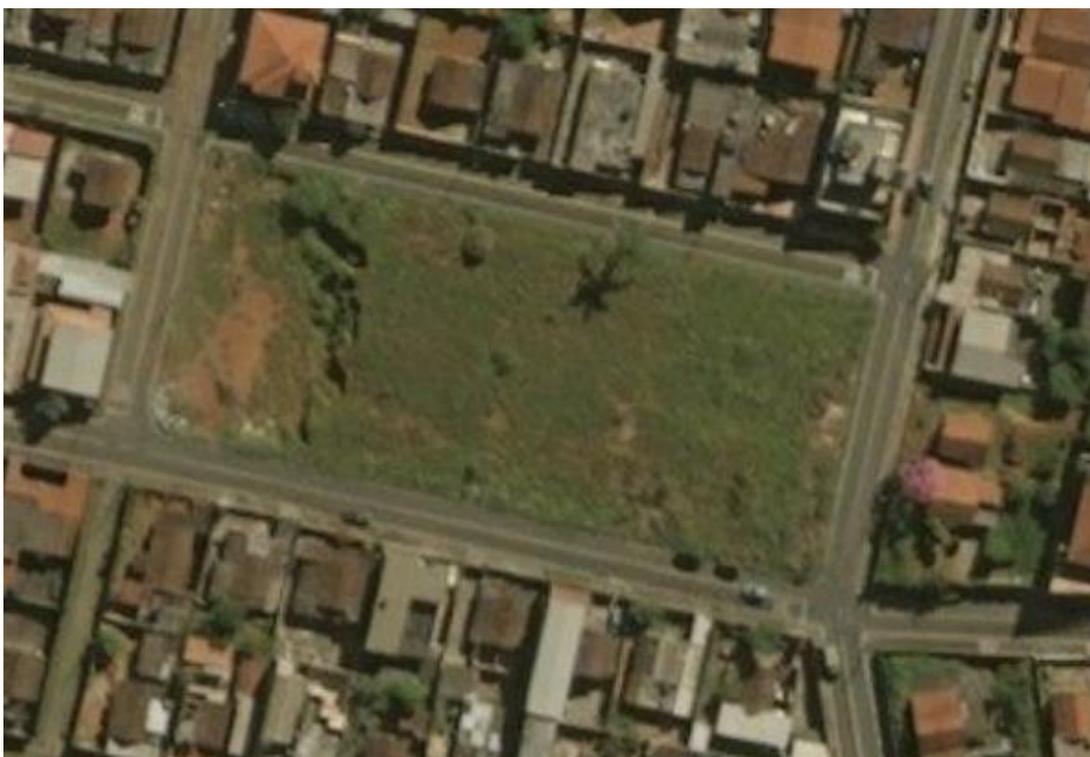


Fonte: Bing Maps. Disponível em: <https://binged.it/34KfPRt>. Acesso em: 15 out 2019.

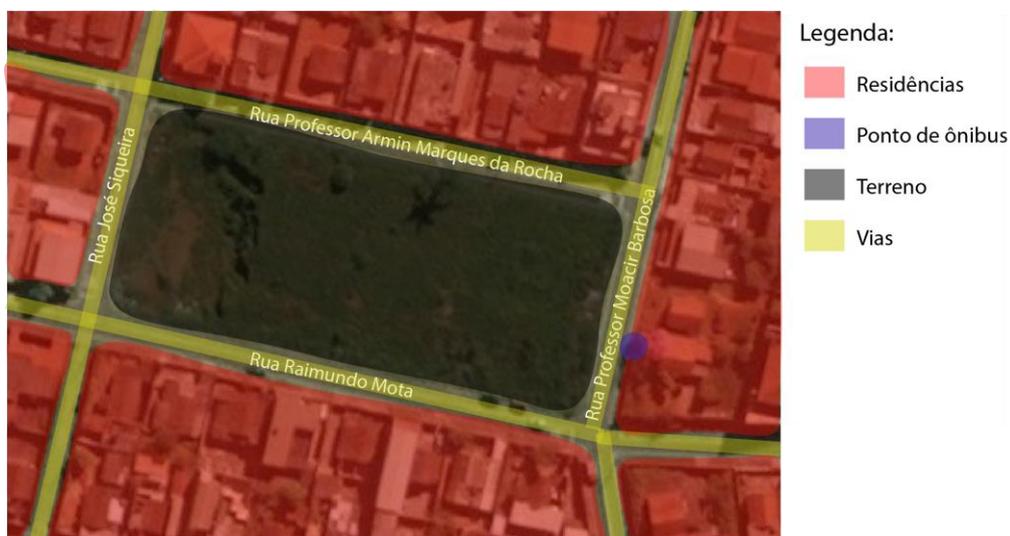
Figura 19: Foto aérea do bairro Barro Preto com destaque para o lote escolhido



Fonte: Bing Maps. Disponível em: <https://binged.it/34KfPRt>. Acesso em: 15 out 2019.

Figura 20: Foto aérea do lote escolhido

Fonte: Bing Maps. Disponível em: <https://binged.it/34KfPRt>. Acesso em: 15 out 2019.

Figura 21: Análise do entorno do lote escolhido

Fonte: Produzido pela autora

O lote escolhido para o desenvolvimento do exercício projetual se localiza em um bairro majoritariamente residencial, sem a presença de estabelecimentos comerciais nas ruas do entorno, como mostram as fotos abaixo. Há a presença de um ponto de ônibus em frente ao lote, na rua Professor Moacir Barbosa.

Figura 22: Terreno visto da rua José Siqueira, ponto mais baixo do lote



Fonte: Acervo pessoal

Figura 23: Terreno visto pela rua Professor Armin Marques da Rocha



Fonte: Acervo pessoal

Figura 24: Terreno visto pela rua Professor Moacir Barbosa, ponto mais alto do lote



Fonte: Acervo pessoal

Figura 25: Terreno visto pela rua Raimundo Mota



Fonte: Acervo pessoal

Segundo os parâmetros urbanísticos da Lei de Uso e Ocupação do Solo de Congonhas, a zona onde o lote está inserido é a de Uso Preferencialmente Residencial – ZUR 1 (Figura 25). Em terrenos com mais de 400m², será permitida a construção de até seis pavimentos.

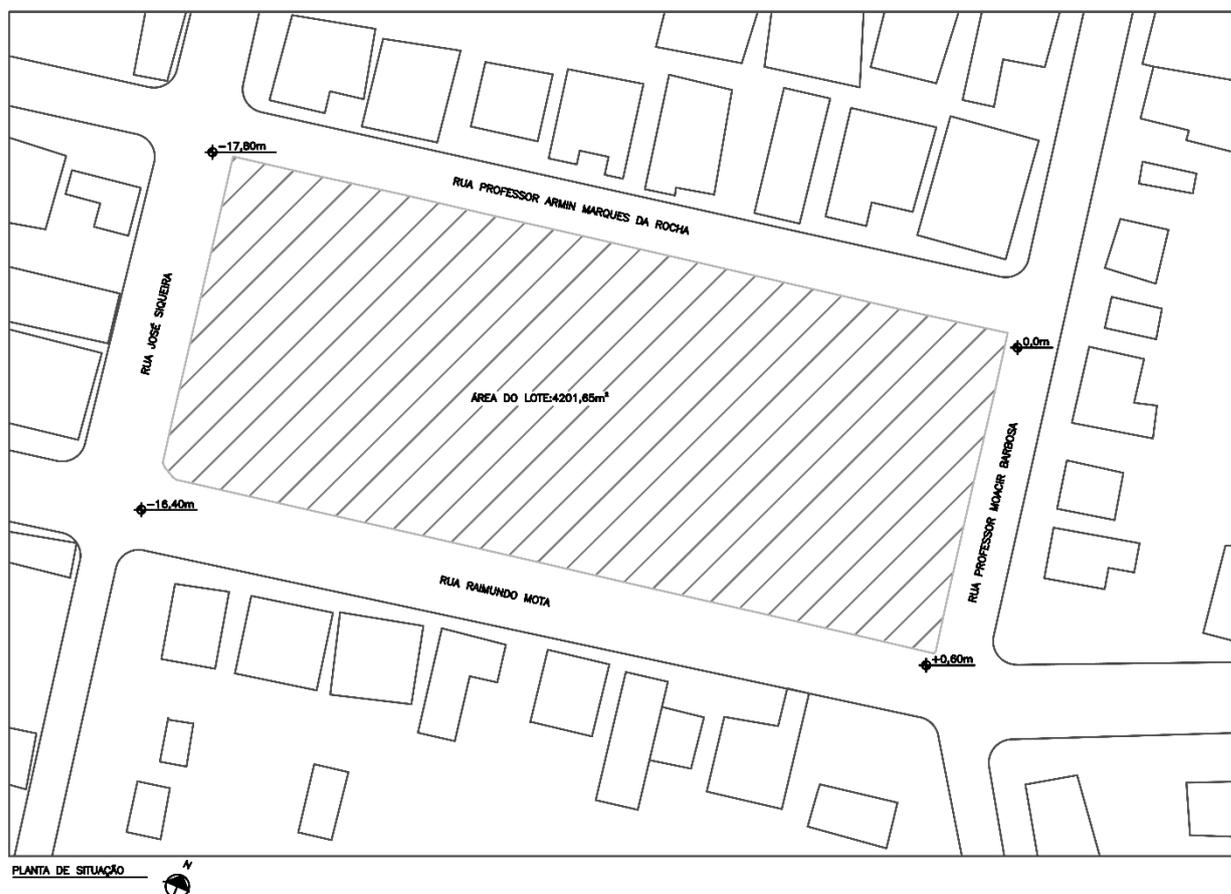
Figura 26: Legislação ZUR 1

QUADRO I – ZUR1
Taxa de ocupação máxima - 75%
Coefficiente de aproveitamento máximo – 3,0
Afastamento lateral mínimo - 1,50m ou na divisa com altura máxima de 7,0m
Afastamento frontal mínimo – 1,50m ou 3,00m, conforme o bairro
Afastamento de fundo mínimo -1,50m
Taxa de permeabilidade mínima – 15%

Fonte: Lei Nº 2624, de 2006. Congonhas. Acesso em: 02 out. 2019

O lote possui área igual a 4201,65m² com dimensões aproximadas de 40m (largura) x100m (profundidade).

Figura 27: Planta de situação



Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Aplicando os parâmetros ao lote, tem-se:

Taxa de ocupação máxima: 3151,2m²

Coeficiente de aproveitamento máximo: 12604,95m²

Taxa de permeabilidade mínima: 630,24m²

5.2 PROGRAMA DE NECESSIDADES

O programa de necessidades da escola foi definido com base nos dados do FNDE. Na figura 27, tem-se o programa que foi desenvolvido.

Figura 28: Programa de necessidades



Fonte: Produzido pela autora, com base em dados fornecidos pelo FNDE.

5.3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O exercício projetual da escola foi desenvolvido para abrigar o ensino fundamental completo, que engloba o I e II, (de 1º ao 9º ano), porém sua estrutura suporta outras configurações de uso, podendo funcionar para outros anos de ensino ou em diferentes turnos.

Antes do desenvolvimento do projeto é importante verificar as características do local onde o terreno está inserido, para uma melhor definição de volumetria e materiais utilizados.

Pela figura 28, é possível perceber que o terreno é orientado sentido Leste-Oeste, com predomínio do vento no Nordeste o ano todo. Em relação à intensa exposição solar da fachada Norte, foram utilizados brises horizontais nas janelas das salas de aula como forma de amenizar o calor intenso nos dias mais quentes.

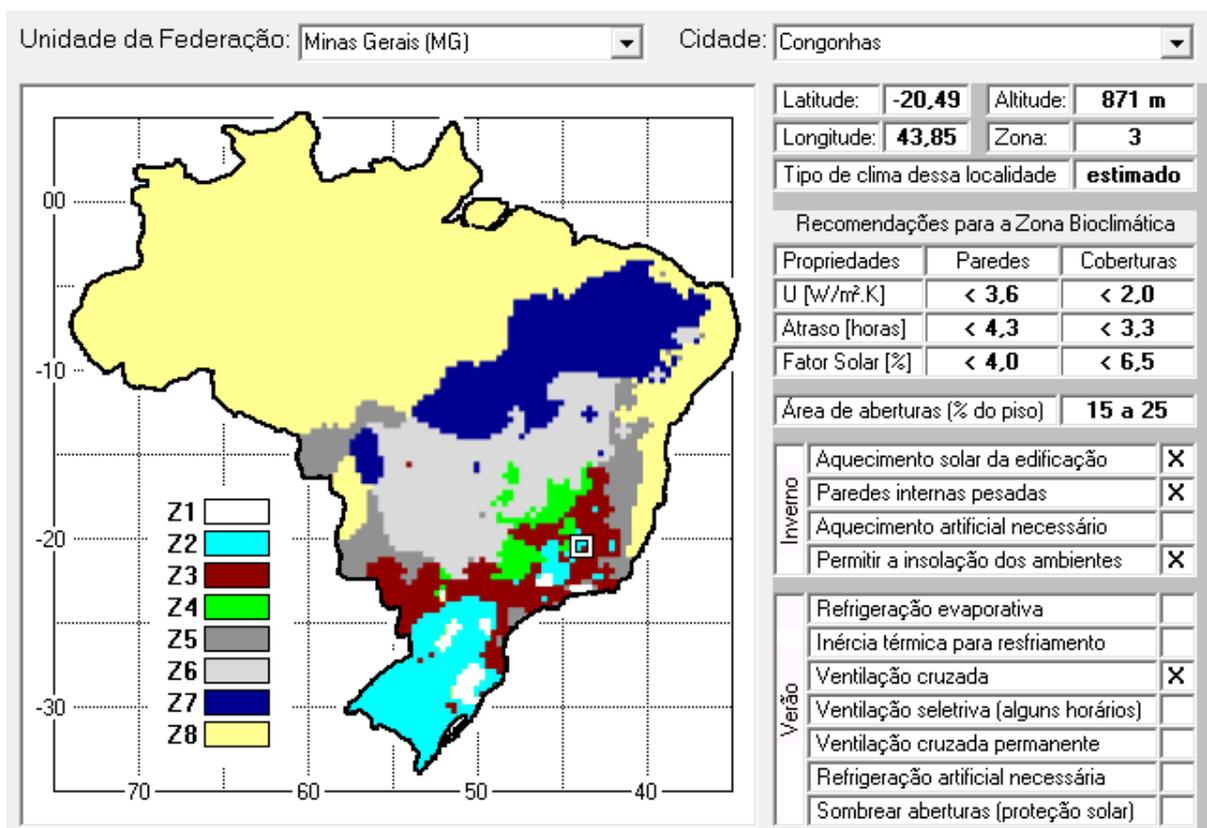
Figura 29: Orientação solar e dos ventos



Fonte: Produzido pela autora

Em relação à análise climática, ao utilizar o programa ZBBR (Figura 29) é possível identificar em qual zona Congonhas se encontra e algumas diretrizes construtivas que devem ser seguidas para o melhor conforto da edificação.

Figura 30: Análise climática de Congonhas pelo ZBBR



Fonte: Zoneamento Bioclimático do Brasil - UFSCar. Disponível em:
<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zbbbr>. Acesso em: 30 set. 2019.

Como Congonhas está na zona climática 3, algumas das estratégias de condicionamento térmico são a ventilação cruzada, aquecimento solar da edificação e vedações internas pesadas (Figura 30).

Tabela 4: Recomendações de projeto para a zona bioclimática 3

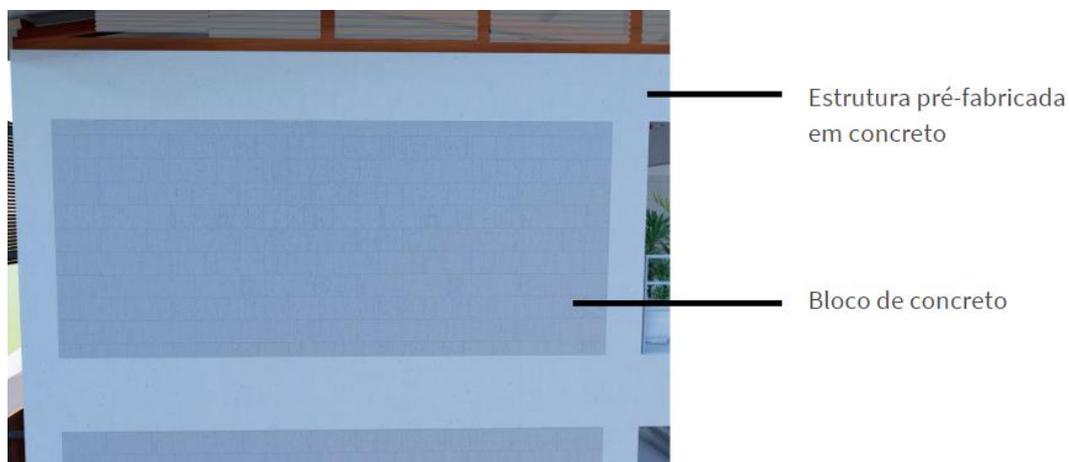
Zonas	Tamanho das aberturas para ventilação	Proteção/Sombreamento das aberturas	Vedações externas - Paredes	Vedações externas - Cobertura	Estratégias de condicionamento térmico	
					Verão	Inverno
ZB3	Médias: $15\% < A < 25\%$	Permitir sol durante o inverno	Leve refletora: $U \leq 3,6$; $\$ \leq 4,3$; $FS_o \leq 4,0$	Leve isolada: $U \leq 2,0$; $\$ \leq 3,3$; $FS_o \leq 6,5$	J) Ventilação cruzada	B) Aquecimento solar da edificação C) Vedações internas pesadas (inércia térmica)
* Transmissância térmica						
² Atraso térmico						
³ Fator solar						

Fonte: Produzido pela autora, com base em dados fornecidos por MAIA, 2015; ABNT, 2003

Devido a tais recomendações, o material escolhido para vedação foi o bloco de concreto, pois possui transmitância térmica igual a 2,88; atraso térmico igual a 4,16; e fator solar igual a 2,88 (SANTOS et al., 2015), sendo um bom isolante térmico e acústico. Além de tais características, permite uma maior flexibilidade do espaço,

considerando que está atuando apenas como fechamento porque os pilares e vigas são uma estrutura independente de pré-fabrica de concreto.

Figura 31: Estrutura pré-fabricada em concreto e bloco de concreto



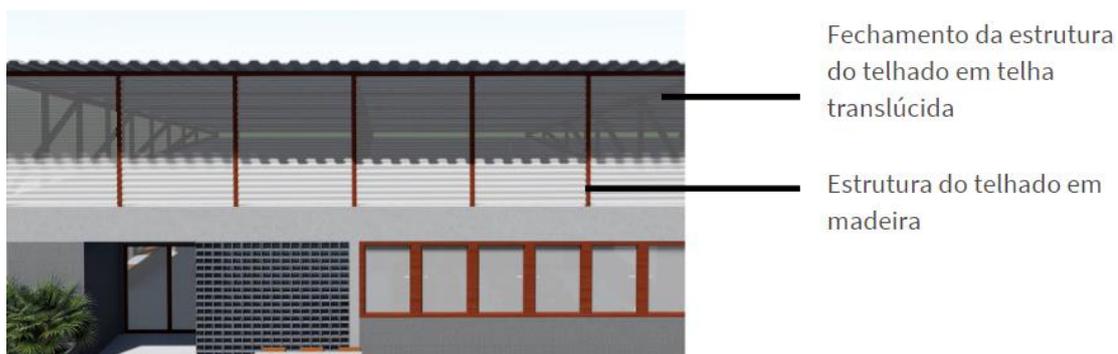
Fonte: Produzido pela autora

Para a cobertura, foi feita uma estrutura de madeira e utilizado telha sanduiche, com transmitância térmica igual a 0,68; atraso térmico igual a 0,87; e fator solar igual a 1,1 (VIEIRA et al., 2019) com inclinação de 15%, sendo eficiente para isolamento térmico e acústico. Para o fechamento dos shads foram utilizadas telhas translúcidas.

Figura 32: Telha metálica sanduíche



Fonte: Produzido pela autora

Figura 33: Fechamento e estrutura do telhado

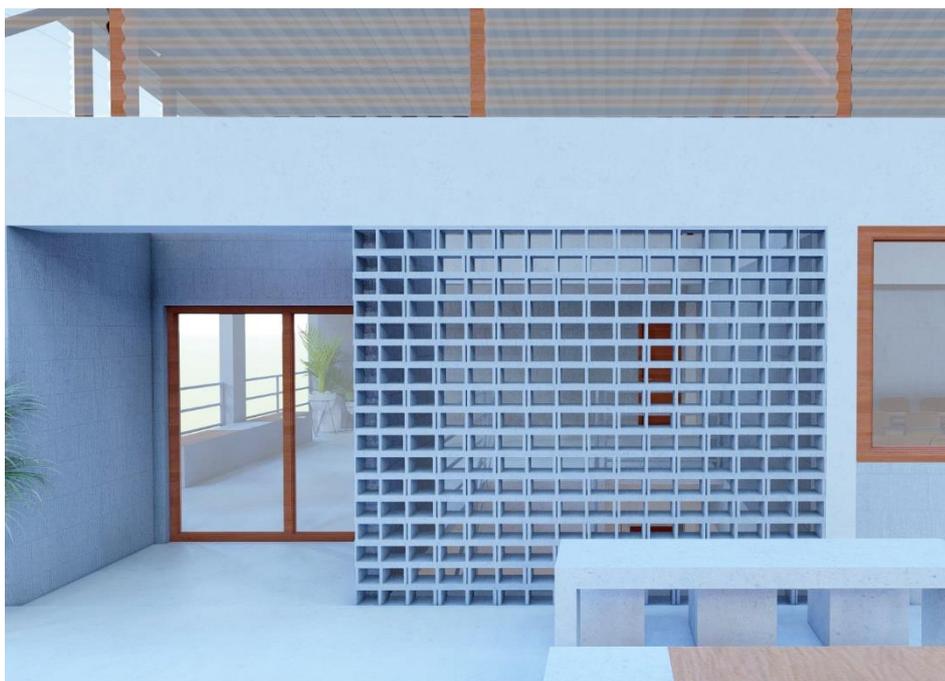
Fonte: Produzido pela autora

O piso grama foi utilizado no estacionamento para aumentar a área semipermeável do terreno.

Figura 34: Piso grama

Fonte: Produzido pela autora

Como estratégias de ventilação cruzada, em alguns fechamentos os blocos de concreto foram utilizados como cobogós.

Figura 35: Cobogó

Fonte: Produzido pela autora

Na fachada norte foram utilizados brises horizontais de madeira para diminuir a incidência direta de luz solar.

Figura 36: Brises

Fonte: Produzido pela autora

A volumetria foi pensada de forma que se utilizasse todo o lote com interferência mínima no terreno. Para os dimensionamentos foram considerados 30

alunos por sala, e uma média de 80 funcionários, não necessariamente todos presentes no local ao mesmo tempo. A entrada ficou localizada na rua Professor Moacir Barbosa, considerando o ponto de ônibus existente.

Os parâmetros atingidos foram:

Área construída: 4208,37m²

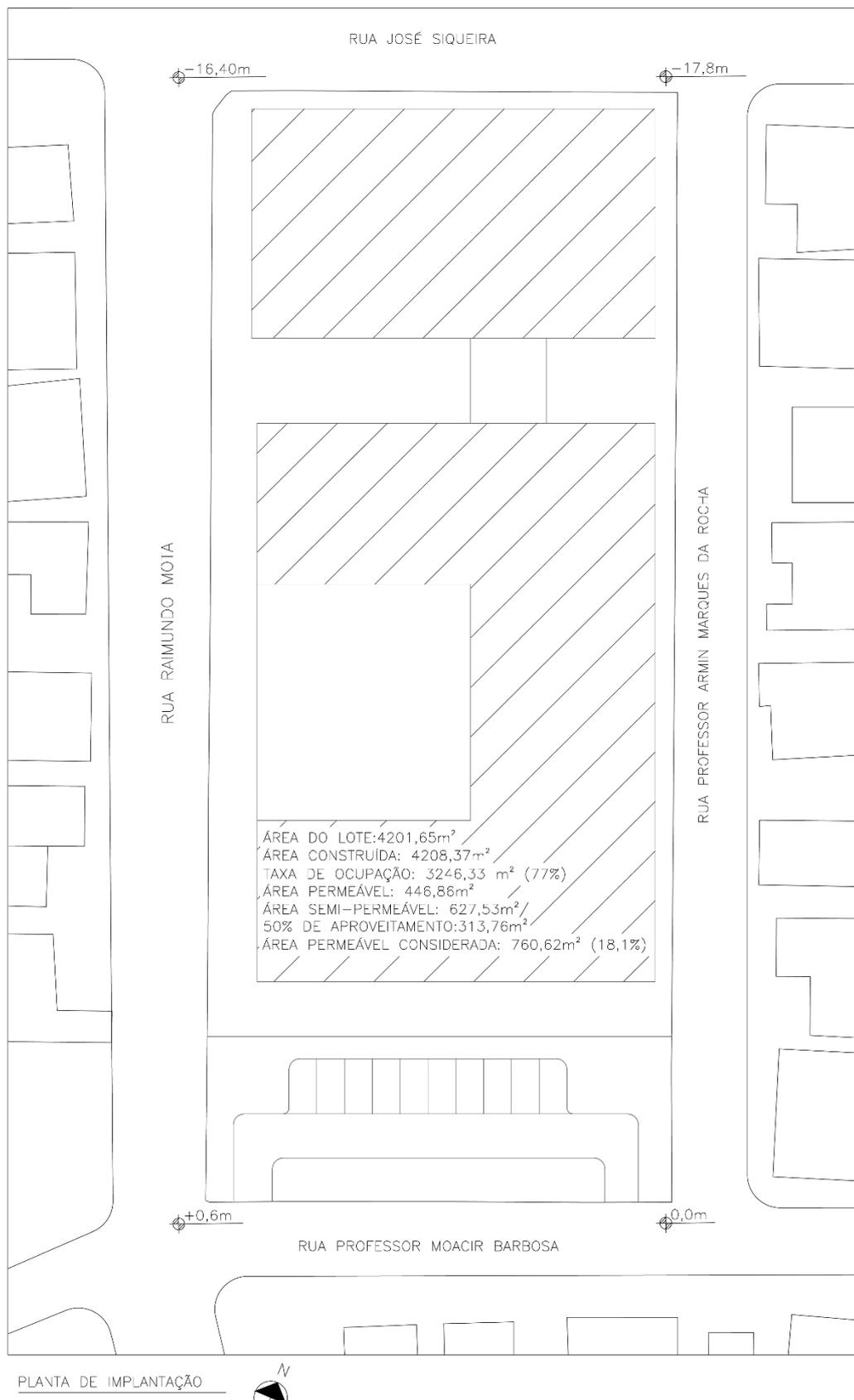
Taxa de ocupação: 3246,33m² (77%)

Área permeável: 446,86m²

Área semi-permeável: 627,53m²/ 50% de aproveitamento: 313,76m²

Área permeável considerada: 760,62m² (18,1%)

Figura 37: Planta de Implantação



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 38: Vista aérea da esquina da rua Professor Moacir Barbosa



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 39: Vista aérea da esquina da rua Raimundo Mota



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 40: Vista aérea da rua José Siqueira



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 41: Vista aérea da esquina da rua Professor Armin Marques Barbosa



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 42: Entrada da edificação



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 43: Hall de entrada



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 44: Hall de entrada com vista para o acesso



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 45: Hall de entrada com vista da biblioteca ao fundo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 46: Área de circulação do primeiro pavimento com vista da biblioteca ao fundo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 47: Vista interna da biblioteca



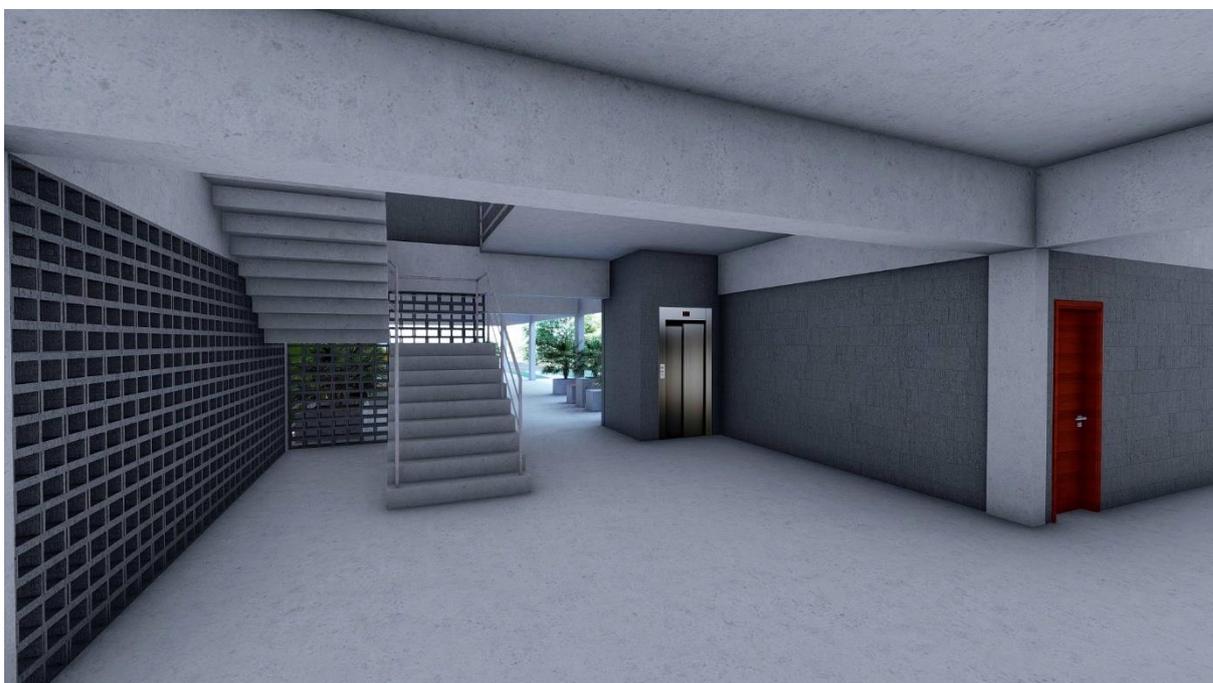
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 48: Vista interna da biblioteca



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 49: Área de circulação do segundo pavimento com acesso ao pátio externo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 50: Pátio externo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 51: Pátio externo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 52: Pátio externo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 53: Sala de aula



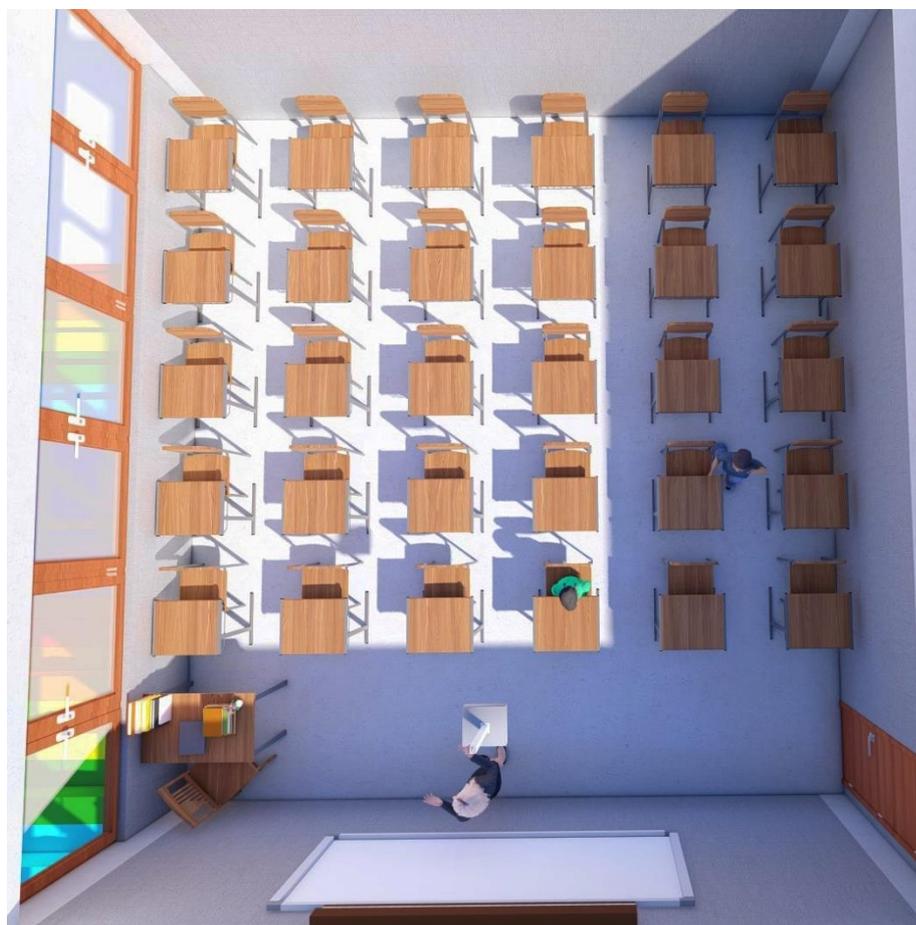
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 54: Sala de aula da fachada norte



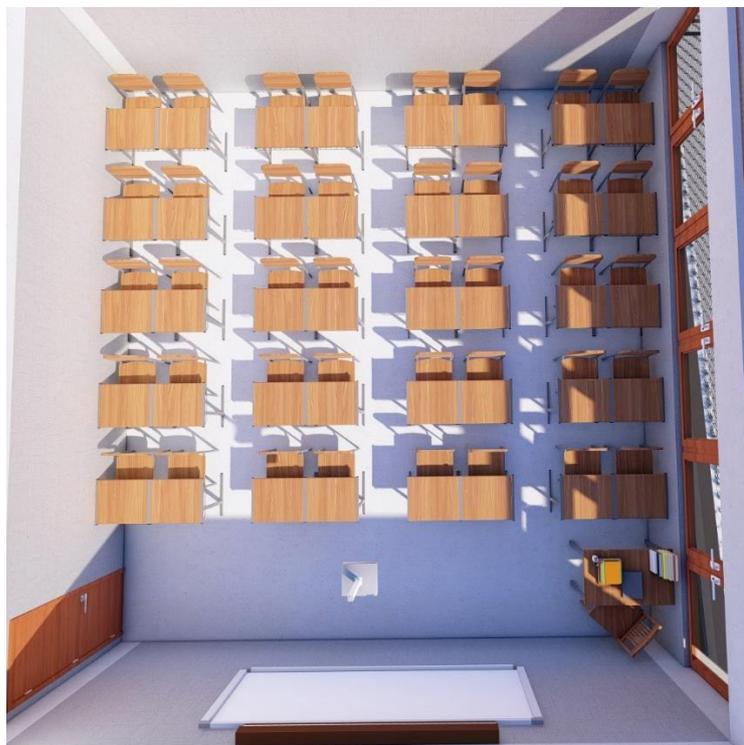
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 55: Layout de sala de aula



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 56: Layout de sala de aula



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 57: Layout de sala de aula



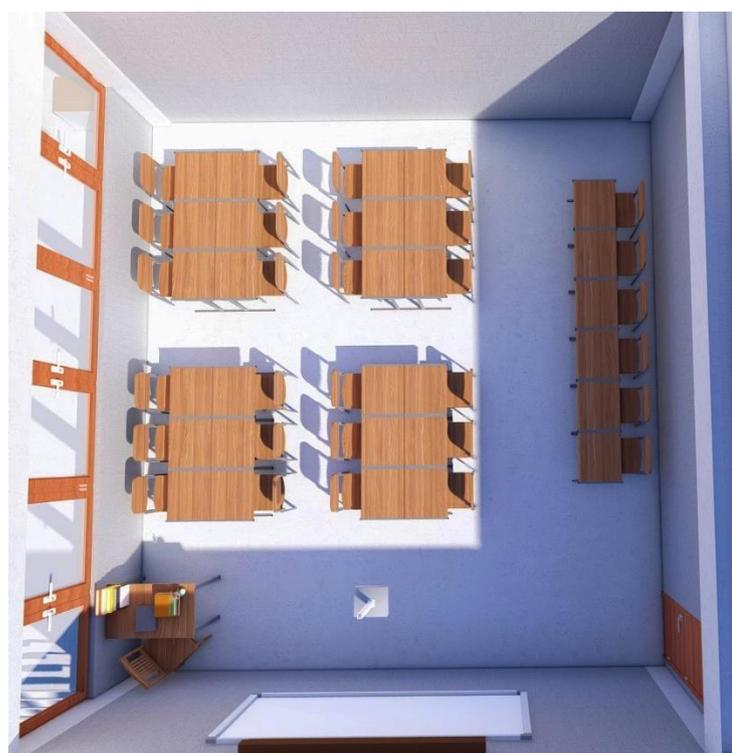
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 58: Layout de sala de aula



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 59: Layout de sala de aula



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 60: Layout de sala de aula



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 61: Área de circulação do segundo pavimento com acesso ao terraço



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 62: Área de circulação do segundo pavimento com acesso ao terraço



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 63: Terraço do segundo pavimento



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 64: Terraço do segundo pavimento



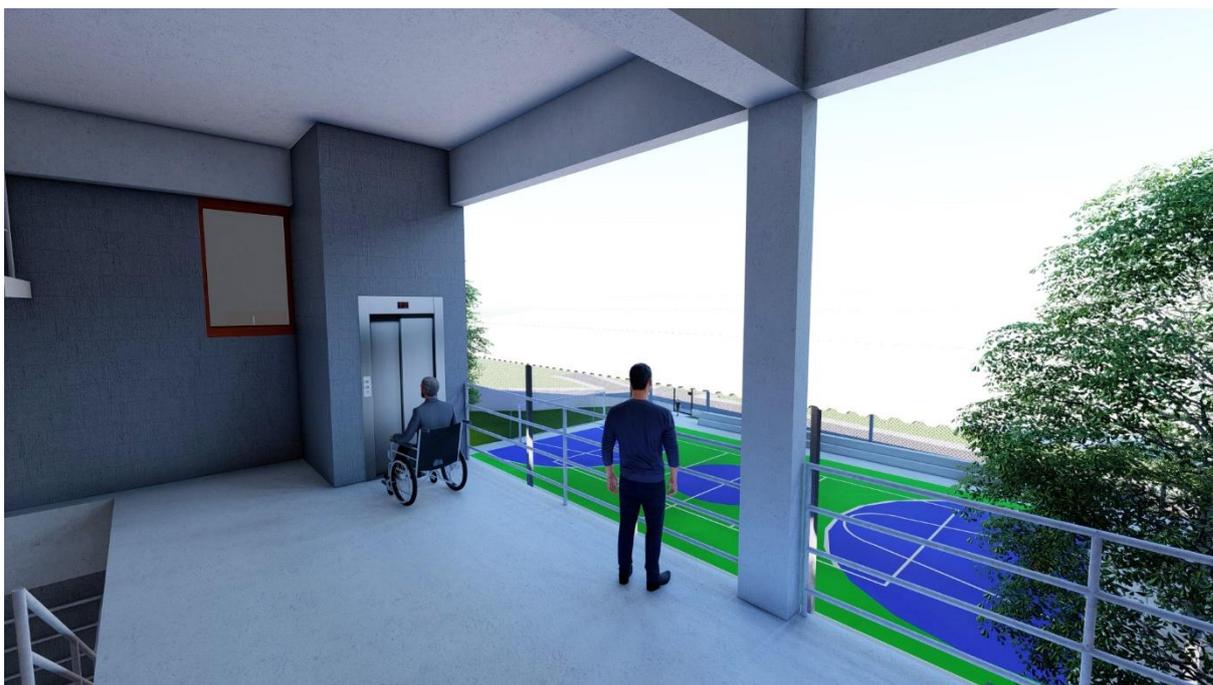
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 65: Vista para o pátio do terraço do segundo pavimento



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 66: Área de circulação do terceiro pavimento

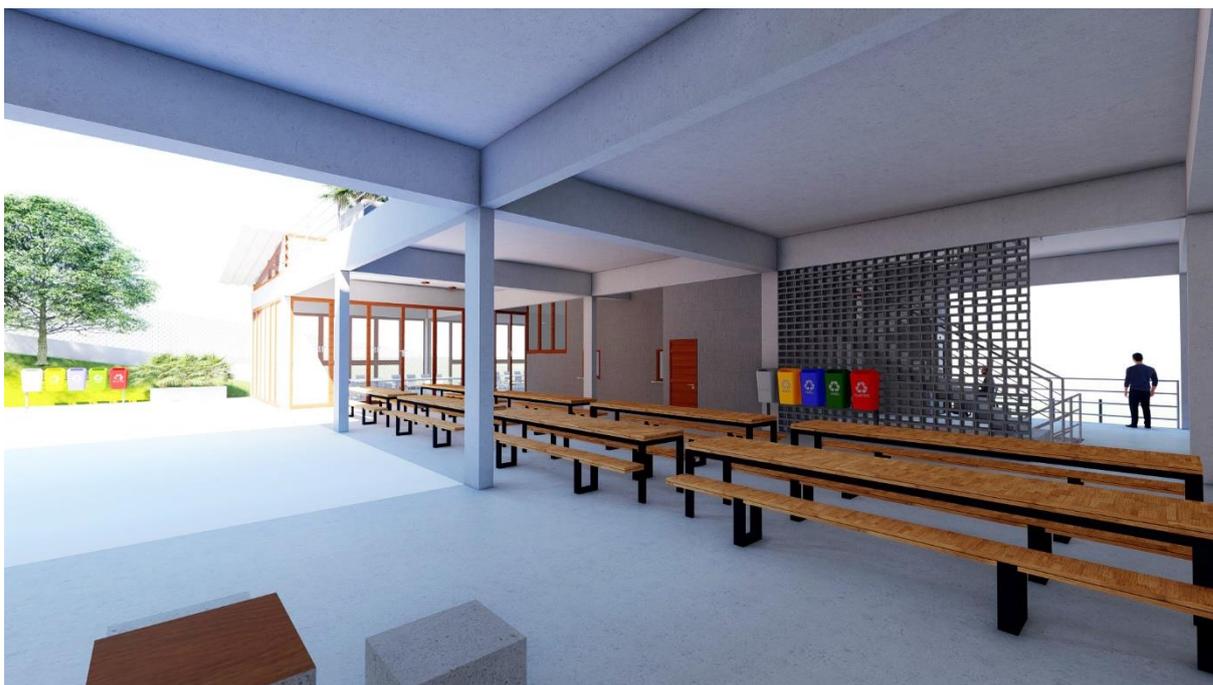


Fonte: Produzido pela autora.

Figura 67: Vista do refeitório



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 68: Refeitório

Fonte: Produzido pela autora.

Figura 69: Relação entre o refeitório e a área externa com vista da sala multiuso

Fonte: Produzido pela autora.

Figura 70: Área externa



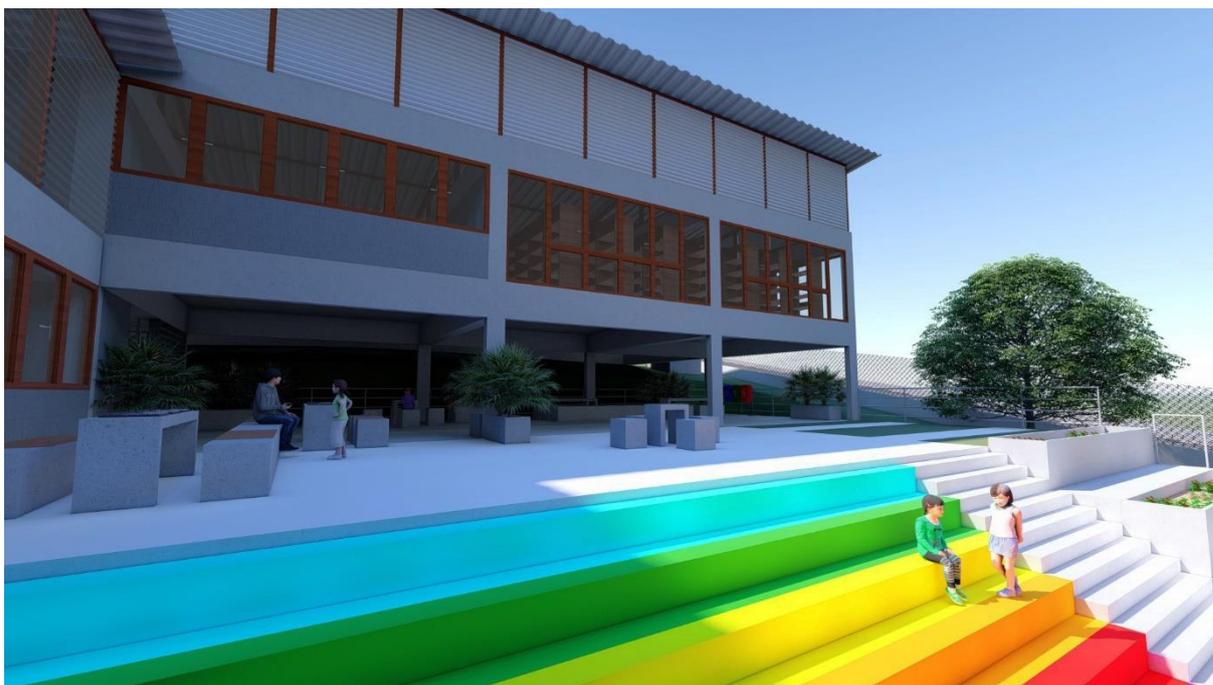
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 71: Área externa com vista da horta



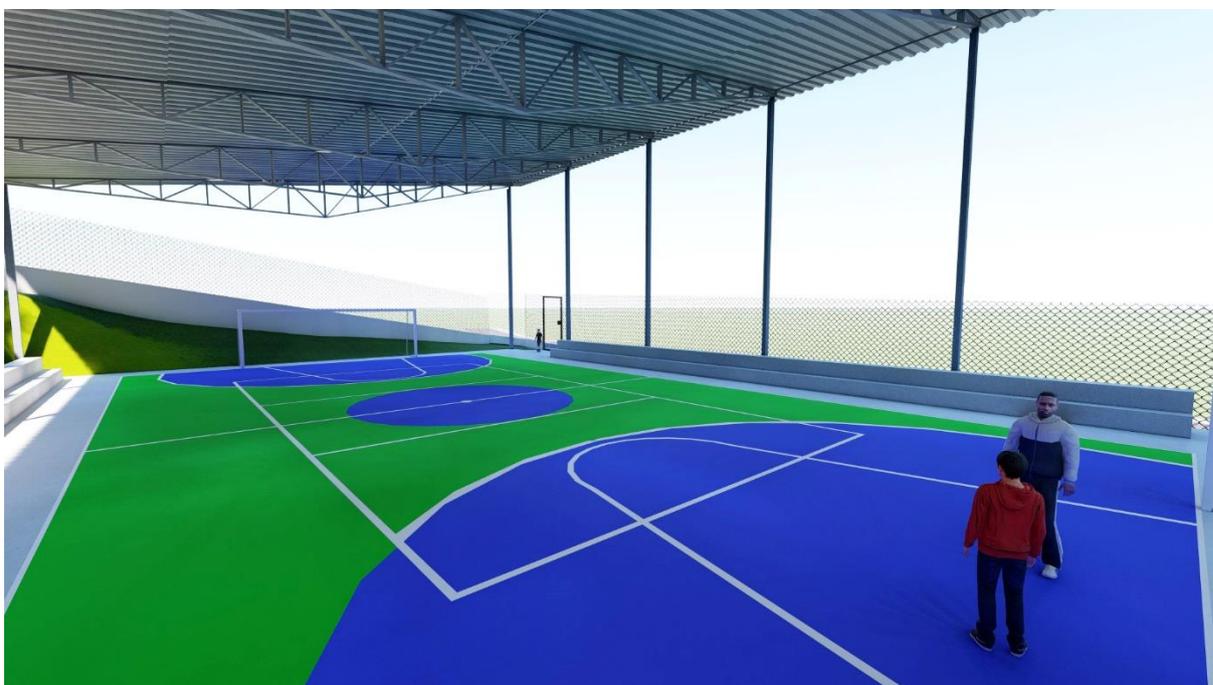
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 72: Área externa



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 73: Quadra poliesportiva



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 74: Quadra poliesportiva com vestiário ao fundo



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 75: Portão de acesso à quadra esportiva direto pela rua



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 76: Vista aérea



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 77: Vista aérea



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 78: Vista lateral direita



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 79: Vista lateral esquerda



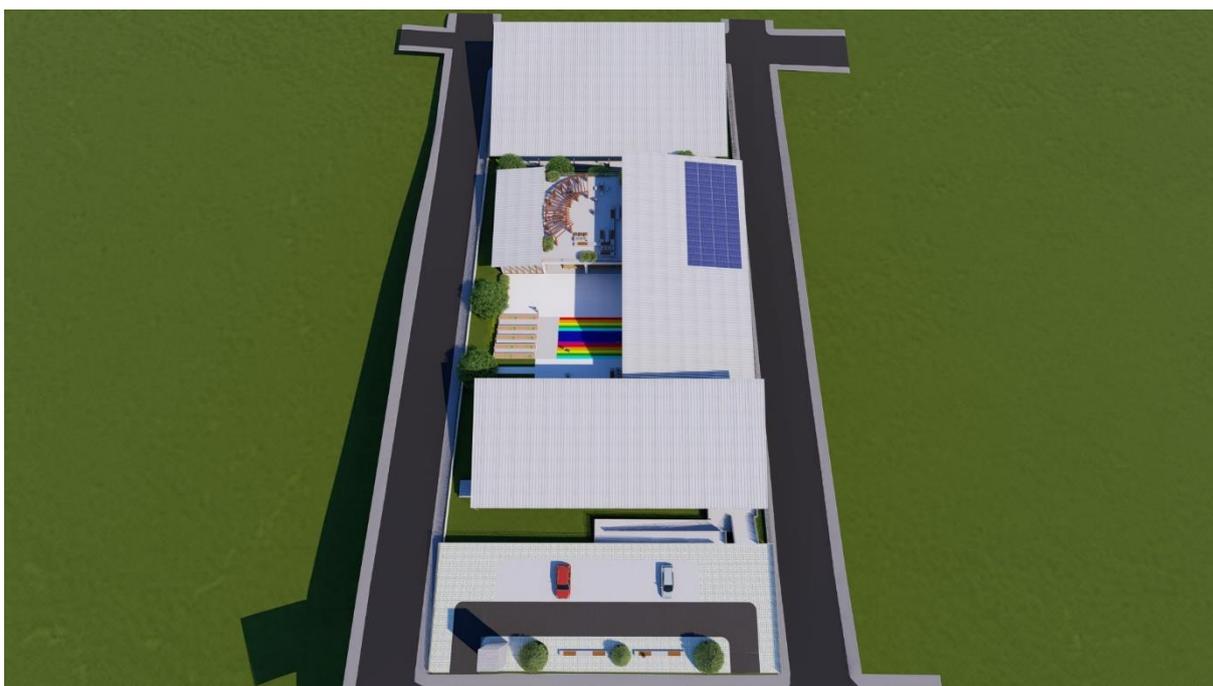
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 80: Vista lateral esquerda



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 81: Vista superior



Fonte: Produzido pela autora.

Figura 82: Vista aérea



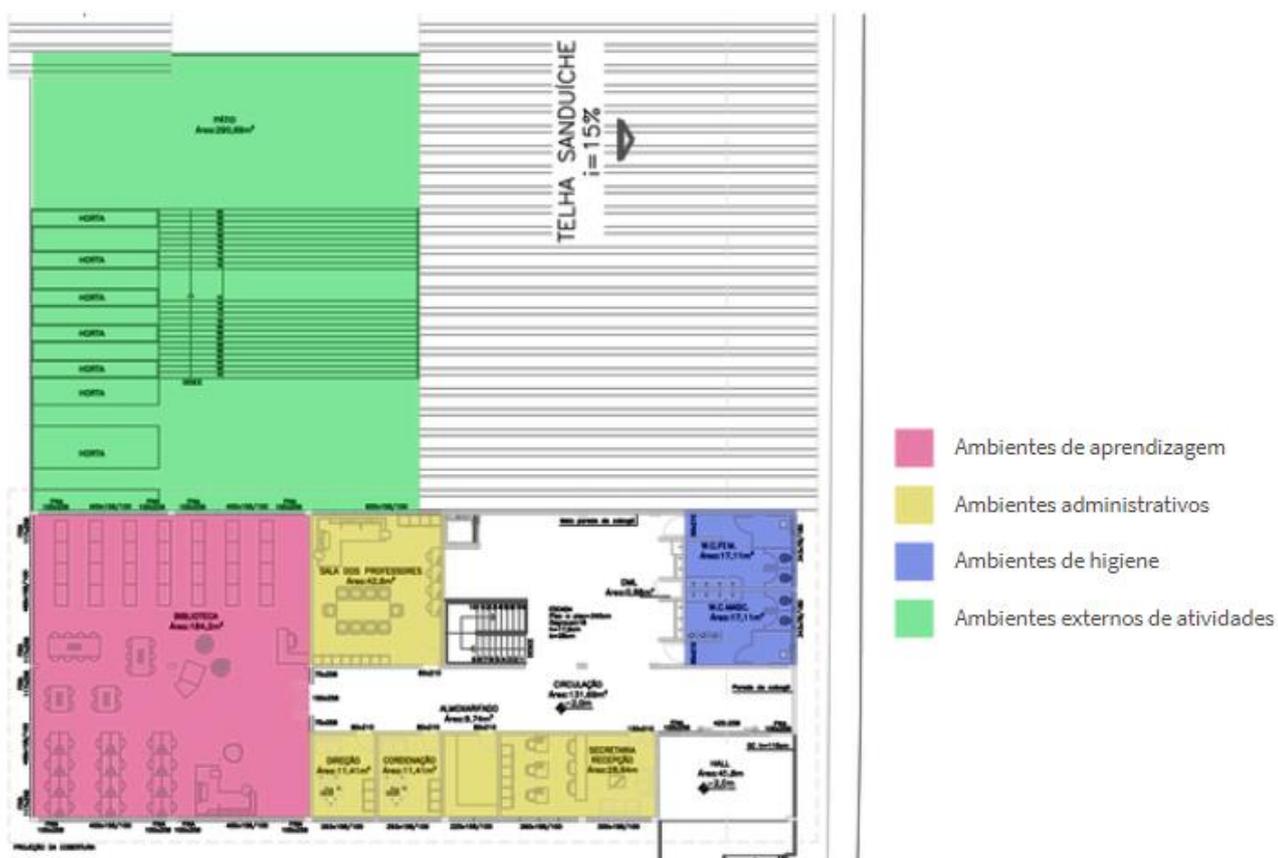
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 83: Vista aérea



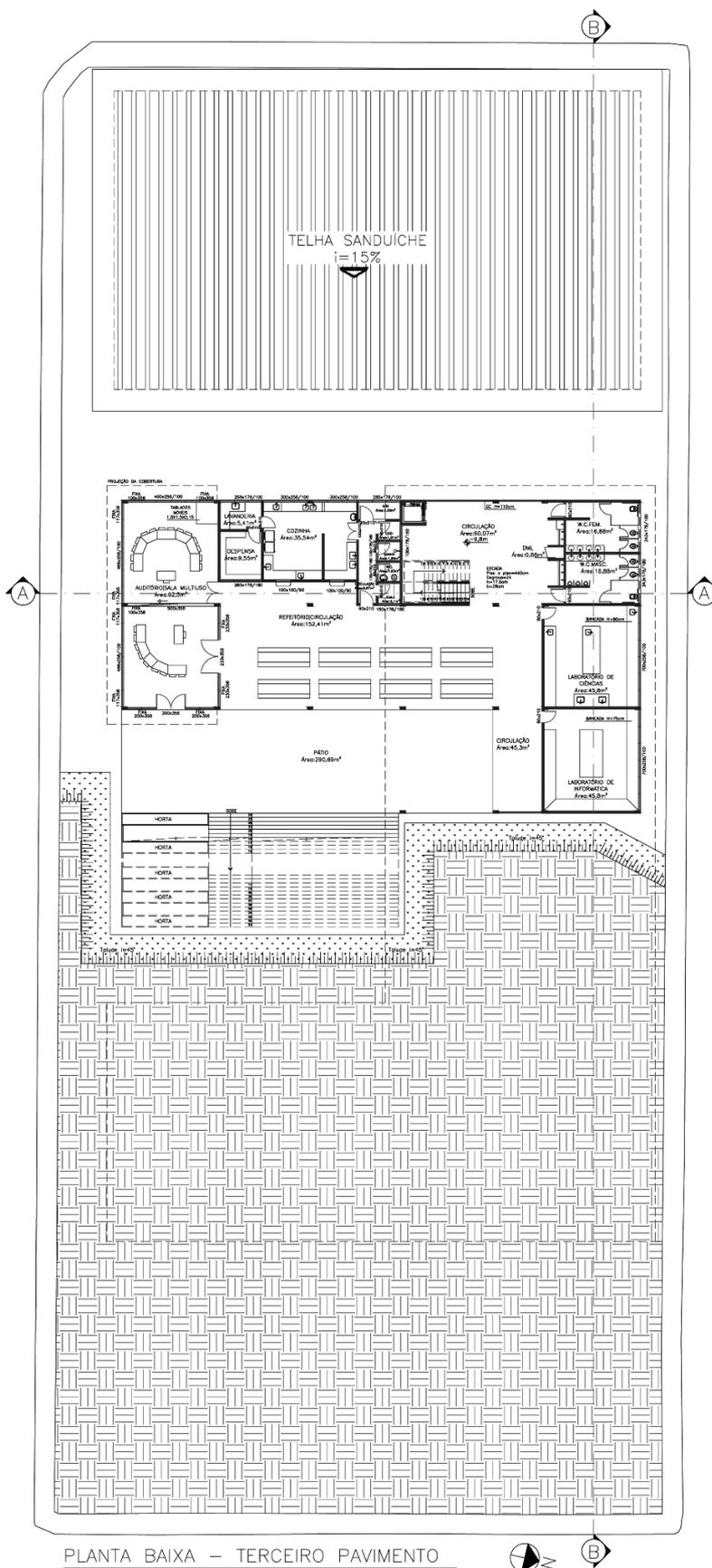
Fonte: Produzido pela autora.

Figura 85: Ambientes do primeiro pavimento



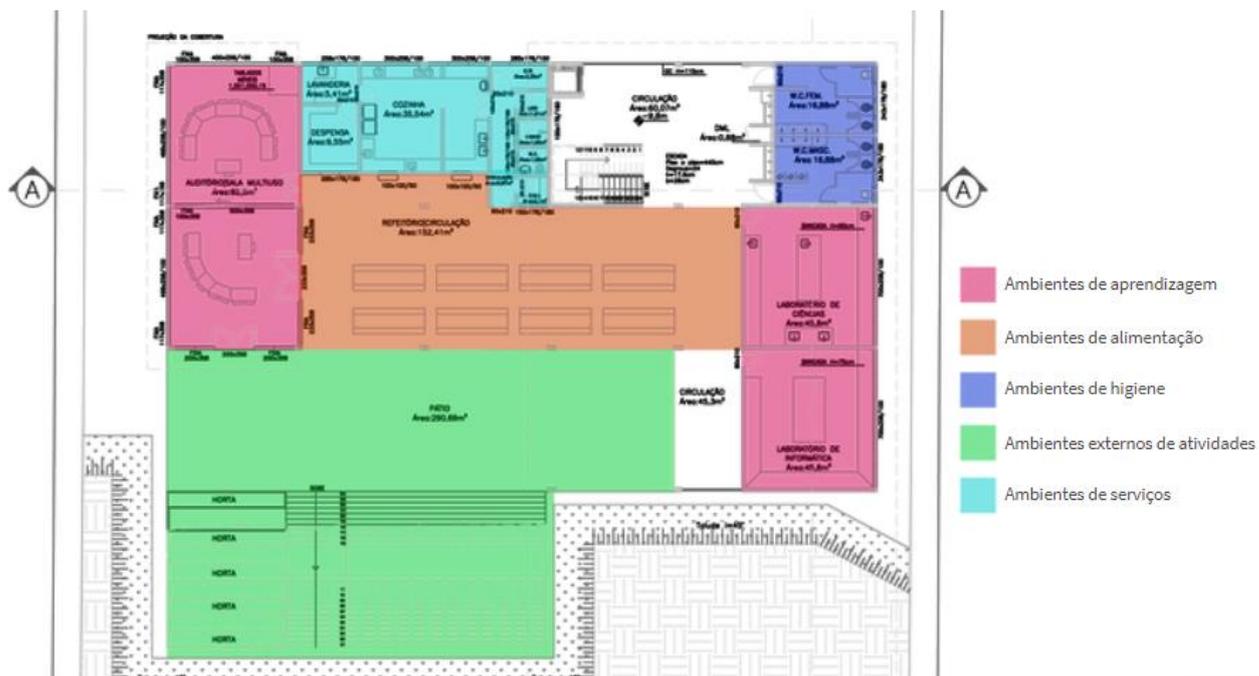
Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Figura 88: Planta baixa terceiro pavimento



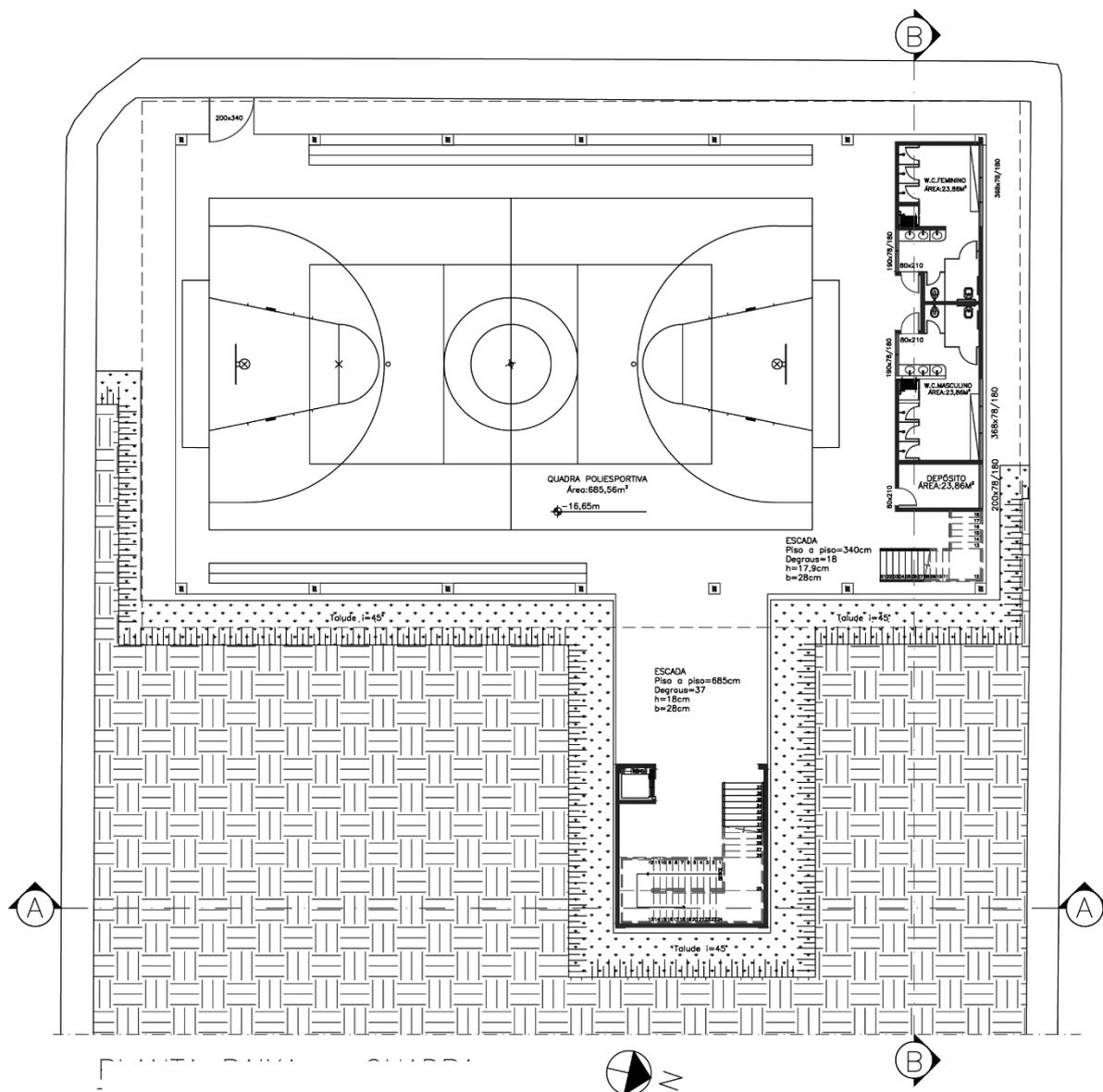
Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Figura 89: Ambientes do terceiro pavimento



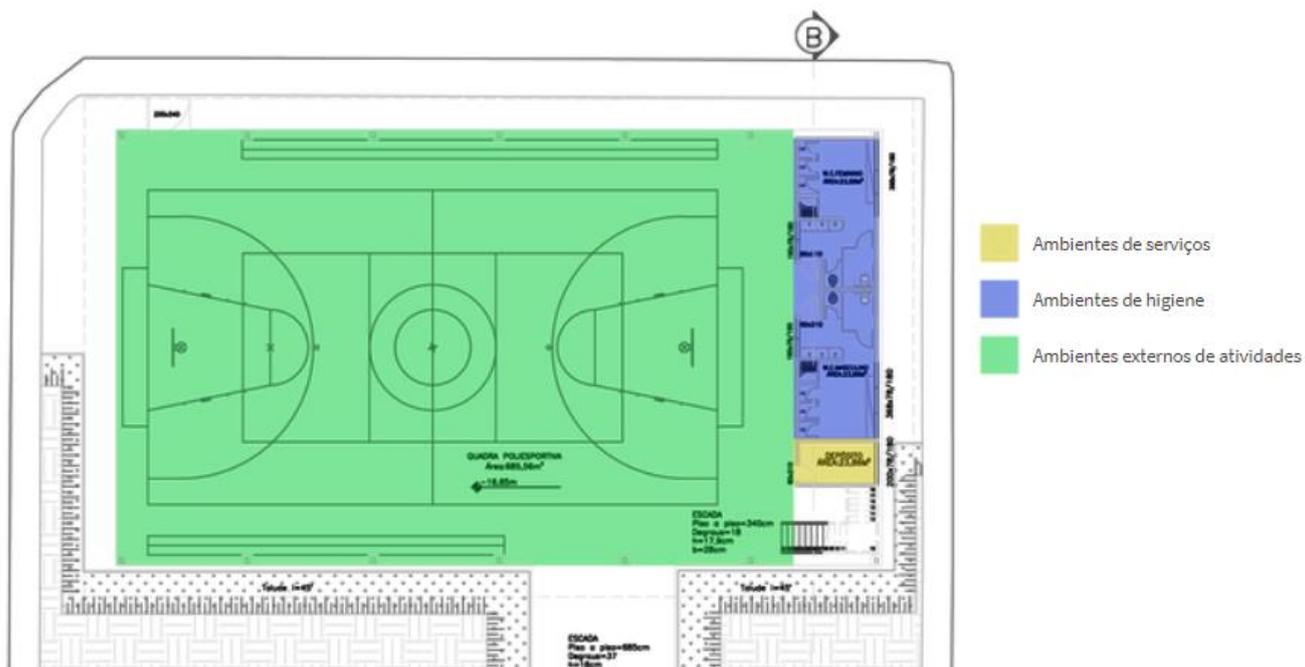
Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Figura 90: Planta baixa quadra



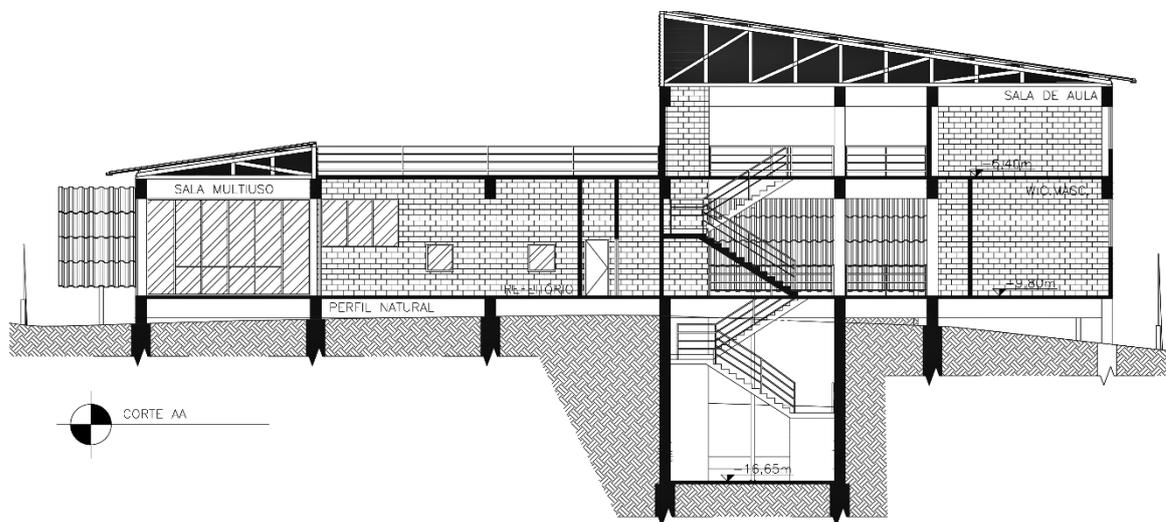
Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Figura 91: Ambientes da quadra



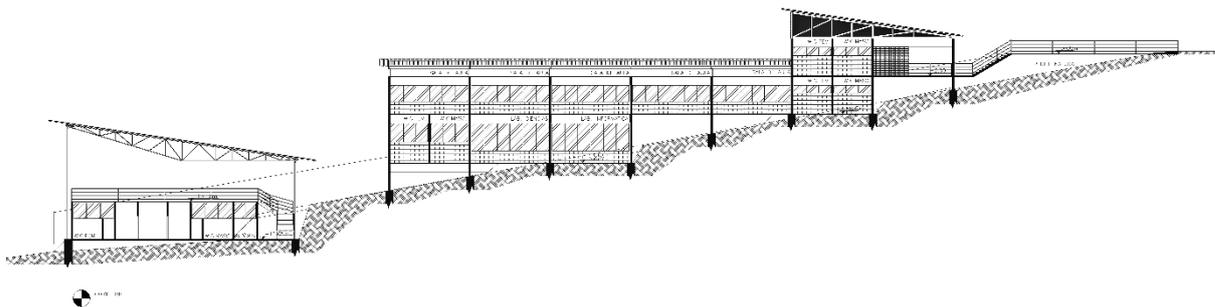
Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Figura 92: Corte AA



Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

Figura 93: Corte BB



Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

5.3.1 Estratégias de projeto

5.3.1.1 Energia fotovoltaica

Quando se trata de sustentabilidade em uma edificação, a eficiência energética é um dos principais pontos a serem analisados. A utilização de placas fotovoltaicas na escola resultaria em uma economia significativa nos gastos mensais considerando que poderia suprir grande parte ou o total da energia mensal necessária ao funcionamento da edificação.

Entende-se que há outras condicionantes a serem analisadas para se definir o desempenho energético do projeto, como quantidade de luz solar diária, clima, dimensões, porém é possível fazer um dimensionamento básico para as placas.

Como a escola está em perímetro urbano, foi utilizado um sistema fotovoltaico on-grid, que é ligado na rede pública de distribuição (no caso de Congonhas, a CEMIG). Quando os painéis solares produzirem mais energia do que foi gasto, essa energia é enviada a rede e fica como créditos, que podem ser utilizados em até 5 anos. Caso a geração de energia não seja o suficiente, a rede pública completa com a energia faltante.

Para o dimensionamento das placas fotovoltaicas, é preciso saber o consumo energético de uma escola gasta por mês. Esse valor varia em função da quantidade de turnos, número de alunos, funcionários, tamanho da escola, entre outros. Com base em um estudo feito acerca do consumo de kWh/mês (SOUZA, 2005) e para efeito de cálculo, será considerado um consumo de 2380kWh/mês. Outro dado necessário para o cálculo é o índice solarimétrico que é 4,8.

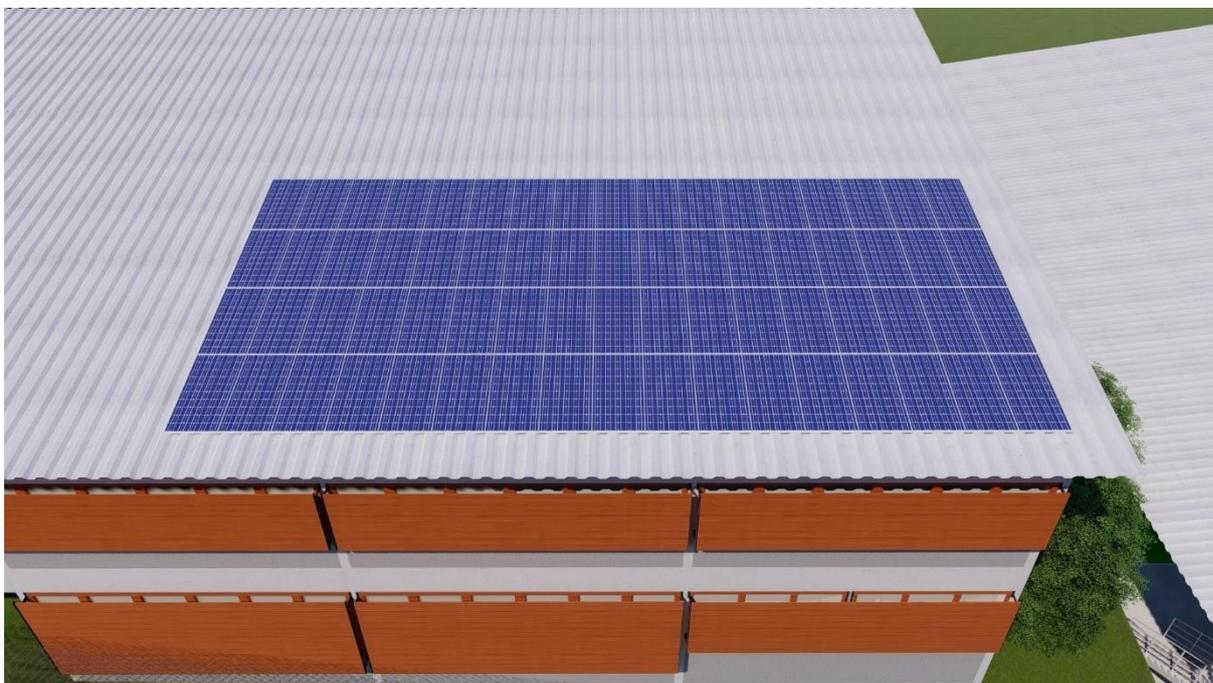
Dimensionamento (RENOVÁVEL, 2014):

- Consumo mensal: 2380kWh/mês (30 dias)
- Transformar o dimensional (kWh/mês) para (Wh.mês), basta multiplicarmos por 1000 ($k=1000$): $2380 \times 1000 = 2.380.000 \text{Wh.mês}$
- Consumo diário: $2.380.000/30 = 79.333,33 \text{ Wh/dia}$
- Potencia de placas necessária = $\text{Dia}/\text{índice} = 79.333,33/4,8 = 16.527 \text{ watts}$
- Assumindo Eficiência de 83%: $16527/0,83 = 19.912 \text{ watts}$
- Considerando uma placa de 290 watts (2mx1m), seriam necessárias= $19912/290 = 68 \text{ placas}$

Em resumo, seriam necessárias 68 placas de 290 watts para suprir todo o consumo diário de energia da escola. O telhado teria espaço suficiente para todas, de forma que supriria por completo o consumo da escola, localizadas sob o telhado virado para o norte.

Parte do sistema também poderia ocorrer em local de fácil acesso, sendo utilizado como um instrumento pedagógico para os alunos, aliando a prática à teoria em matérias como física, matemática e geografia.

Figura 94: Vista das placas fotovoltaicas no telhado voltado para o norte



Fonte: Produzido pela autora

5.3.1.2 Captação da água de chuva

Outro parâmetro a ser considerado no projeto é a captação da água de chuva para o reaproveitamento. Além de servir como uma medida de economia do consumo, ajuda no escoamento da mesma. A água pode ser reaproveitada para fins não potáveis, como lavagem de pisos e descargas de vaso sanitário.

No projeto, o telhado escolhido para a captação foi o do primeiro pavimento, pelo fato de estar acima dos outros e, portanto, não necessitar de bomba d'água para distribuir a água coletada.

Para o dimensionamento do reservatório foi utilizado o método prático inglês (NBR15527):

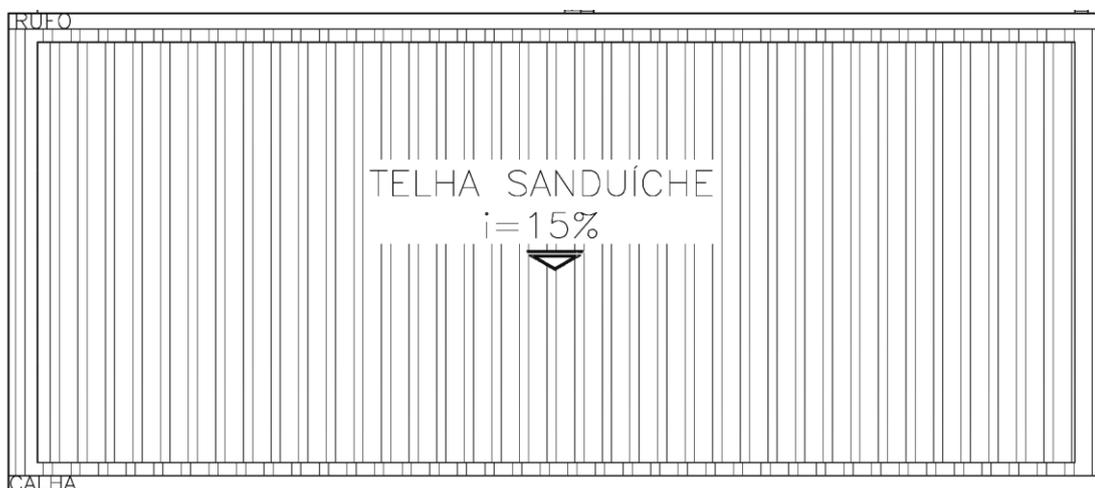
$$V = 0,05 \times P \times A$$

Onde: P = precipitação média anual (mm);

A = área de coleta em projeção (m²)

V = volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (L)

Figura 95: Cobertura



Fonte: Produzido pela autora. Sem escala.

A área da coleta é: $37,8 \times 16,59 \text{m} = 627,102 \text{m}^2$

Precipitação¹ média anual: 1386m^3

$V = 0,05 \times 1386 \times 627,102 = 43458,16$ litros ou $43,4 \text{m}^3$

¹ <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/congonhas-880149/>

Portanto, para o máximo aproveitamento da captação da água da chuva seria necessário um reservatório com 43,4m³.

Figura 96: Reservatório e calha para o aproveitamento da água da chuva



Fonte: Produzido pela autora

5.3.1.3 Compostagem

A compostagem é um processo biológico no qual a matéria orgânica é transformada em adubo, que pode ser utilizado em hortas e jardins.

É uma atividade que pode ser realizada como complemento de matérias dadas em salas de aula na qual os alunos podem, por exemplo, construir uma composteira com o auxílio do professor e usarem o produto final nas hortas que a escola possui. O exercício pode pautar discussões como decomposição, ciclo da vida, entre outros.

Figura 97: Horta para compostagem



Fonte: Produzido pela autora

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Propor um projeto que seja ambientalmente sustentável gera grandes desafios considerando-se que, como dito anteriormente, não existe uma edificação que seja totalmente eficiente, uma vez que seu ciclo de vida é baseado no consumo de recursos. Além disso, existem várias esferas que precisam ser discutidas quando se trata do assunto.

O arquiteto, ao tomar decisões projetuais, precisa analisar as características e limitações de local, como foi feito no trabalho, pois dessa forma, pequenas mudanças de projeto, ainda na fase de concepção, podem trazer um maior conforto para o usuário, ao mesmo tempo em melhora o desempenho da edificação.

Relacionar o ambiente construído com o ensino é a melhor forma de educar os estudantes sobre os processos de degradação da natureza que ocorrem atualmente. As diretrizes citadas são apenas alguns conceitos básicos de muitas que são aplicáveis. É preciso desmitificar a ideia de que a arquitetura sustentável ainda é algo muito caro e complexo, pois em muitos casos, algumas soluções simples são o suficiente.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 1:** Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_9080nby_15220_pdf.pdf. Acesso em: 14 de junho 2019.

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro. 2003. Disponível em: http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_rte3_SET2004.pdf. Acesso em: 14 de junho 2019.

_____. **NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.** Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-15.527-Aproveitamento-%C3%A1gua-da-chuva.pdf>. Acesso em: 22 de novembro de 2019.

_____. **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais - Parte 1:** Requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: https://360arquitetura.arq.br/wp-content/uploads/2016/01/NBR_15575-1_2013_Final-Requisitos-Gerais.pdf. Acesso em: 6 de maio 2019.

ANDRADE, Débora B.; LIMA, Giovanna F. de Oliveira. Construindo escolas sustentáveis. **EcoDebate**, [S. l.], p. fafasa, 8 maio 2017. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2017/05/08/construindo-escolas-sustentaveis-por-debora-barros-andrade-e-giovanna-freire-de-oliveira-lima/>. Acesso em: 19 jun. 2019.

BARBIERE, José Carlos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente: as estratégias de mudanças da agenda 21.** Petrópolis: Vozes, 1997.

BLÜMEL, Patrícia. **Arquitetura escolar e sua influência na qualidade de ensino.** [S. l.], 11 mar. 2017. Disponível em: <https://habitusbrasil.com/arquitetura-escolar-qualidade-de-ensino/>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental.** 2. ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

FUNDAÇÃO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO (org.). **Manual de Orientações Técnicas Para a Elaboração de Edificações Escolares:** Ensino Fundamental. 3. ed. Disponível em: <https://www.fnede.gov.br/index.php/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/202-manuais?download=10172:volume-iii-projetos-ed-escolares-ed-fundamental-em-desenvolvimento>. Acesso em: 18 set. 2019.

GARCIA, Danielle; VAZ, Francine; RANGEL, Juliana. **Arquitetura sustentável - 15 princípios básicos**. [S. l.: s. n.], 2018. 43 p. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/ebook-arquitetura-sustentavel/>. Acesso em: 22 nov. 2018.

GONÇALVES, Joana C. S.; DUARTE, Denise H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino**. Ambiente Construído, Porto Alegre, Outubro/Dezembro 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3720/2071>. Acesso em: 18 maio 2019.

KOWALTOWSKI, Doris C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

MAIA, Jacqueline M. **Sustentabilidade e arquitetura: proposta de guia de recomendações de projeto**. 2015. Monografia (Curso de Especialização em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-A4UM9B/maia__jacqueline_moterani.pdf?sequence=1. Acesso em: 17 abr. 2019.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Resolução nº 18, de 21 de maio de 2013. **Manual Escolas Sustentáveis**, [S. l.], 21 maio 2013. Disponível em: http://pdeinterativo.mec.gov.br/escolasustentavel/manuais/Manual_Escolas_Sustentaveis_v%2005.07.2013.pdf. Acesso em: 17 set. 2019.

MOTTA, Silvio R. F.; AGUILAR, Maria Teresa P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão e tecnologia de projetos**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 84-119, 30 maio 2009. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50953>. Acesso em: 21 mar. 2019.

PALHARES, Isabela. A arquitetura escolar e seu papel no aprendizado. Entrevistado: Doris Kowaltowski. **Estadão**, São Paulo, 25 fev. 2018. Disponível em: <https://educacao.estadao.com.br/noticias/geral,a-arquitetura-escolar-e-seu-papel-no-aprendizado,70002202508>. Acesso em: 17 jun. 2019.

RENOVÁVEL, AtomRA Energia. **Cálculo do Dimensionamento Projeto Solar Fotovoltaico**. 27 jun. 2014. Disponível em: <http://www.atomra.com.br/dimensionamento-projeto-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 27 nov. 2019.

RORIZ, Maurício. **Zoneamento Bioclimático do Brasil - UFSCar**. São Carlos, Abril 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/zabbr>. Acesso em: 13 jun. 2019.

SANTOS, Joaquim César Pizzutti dos *et al.* **Comportamento térmico de fechamentos em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira.** Scielo, [s. /], 2 jul. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762015000401030. Acesso em: 21 nov. 2019.

SOUZA, Anádia Patrícia Almeida de. **Uso da energia em edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais.** Orientador: Patrícia Romeiro da Silva Jota. 2005. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656835/14876412/Dissertacao_Anadia_Patricia.pdf/db146631-1fce-4c6b-8b87-4d9f1260070a. Acesso em: 27 nov. 2019.

TORO, Marlenne G. Uría. Avaliação acústica de salas de aula em escolas públicas na cidade de Belém-Pará: uma proposição de projeto acústico. Orientador: Newton Sure Soeiro. 2005. Dissertação (Grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Área de Vibrações e Acústica) - Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, 2005. Disponível em: <http://docplayer.com.br/11342917-Avaliacao-acustica-de-salas-de-aula-em-escolas-publicas-na-cidade-de-belem-pa-uma-proposicao-de-projeto-acustico.html>. Acesso em: 8 set. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Estratégias Bioclimáticas.** 2019. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>. Acesso em: 17 jun. 2019.

VIEIRA, Raphael Koury *et al.* **Desempenho térmico de coberturas de telhas de aço galvanizadas autoportantes.** 2010. Disponível em: <https://www1.ufmt.br/ufmt/unidade/userfiles/publicacoes/08f8d44404488b5d6451b33b86816a6d.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2019.