



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS (UFG)
FACULDADE DE ARTES VISUAIS (FAV)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E CIDADE

LUCAS ITALO SILVA RIBEIRO

Arquitetura e sustentabilidade no Cerrado: Uma análise crítica
de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B

GOIÂNIA
2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE ARTES VISUAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

☒ Dissertação ☐ Tese ☐ Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Lucas Italo Silva Ribeiro

3. Título do trabalho

ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE NO CERRADO: Uma análise crítica de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento ☒ SIM ☐ NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Italo Silva Ribeiro, Discente**, em 29/01/2026, às 11:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima, Professora do Magistério Superior**, em 31/01/2026, às 09:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5942665** e o código CRC **AF0C7D7C**.

LUCAS ITALO SILVA RIBEIRO

**Arquitetura e sustentabilidade no Cerrado: Uma análise crítica
de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Projeto e Cidade, da Faculdade de Artes Visuais, da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Mestre em Projeto e Cidade.

Área de concentração: Projeto, teoria, história e crítica.
Linha de pesquisa: Processos e tecnologia de projeto e planejamento.

Orientadora: Professora Doutora Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima.

GOIÂNIA
2026

Ribeiro, Lucas Italo Silva

Arquitetura e sustentabilidade no Cerrado [e-book]: Uma análise crítica de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B / Lucas Italo Silva Ribeiro. - 2026.

115 f.: il. 2026

Orientadora: Prof(a). Dra. Fabíolla Xavier Rocha Ferreira Lima

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Artes Visuais (FAV), Programa de Pós-graduação em Projeto e Cidade, Goiânia, 2026.

Ilustrações.

Bibliografia.

Inclui: siglas, tabelas, lista de figuras.

1. Arquitetura Sustentável. 2. Sistemas Construtivos. 3. Adequação Ambiental. 4. Estratégias Bioclimáticas. 5. Bioma Cerrado.

I. Lima, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira , orient. II. Título.

CDU 72



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

FACULDADE DE ARTES VISUAIS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **016/2025** da sessão de Defesa de Dissertação de **Lucas Italo Silva Ribeiro**, que confere o título de Mestre em **Projeto e Cidade**, na área de concentração em **Projeto, Teoria, História e Crítica**.

Aos **vinte e oito de novembro de dois mil e vinte e cinco**, a partir das **treze horas e trinta minutos**, via **webconferência**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada **“ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE NO CERRADO: Uma análise crítica de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B”**. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Doutora **Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima (PPGPROCIDADE/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Lilian Cristine Witicovski Guinoza (UFPR)**, membro titular externo; Professor Doutor **Thiago Montenegro Góes (PPGPROCIDADE/UFG)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho.

A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros mediante reapresentação da dissertação no prazo de 30 dias para a orientadora, observando os seguintes aspectos: (a) Correção de inconsistências conceituais e metodológicas; (b) Aprofundamento da análise crítica quanto aos achados e resultados e, (c) Revisão integral da redação acadêmica (gramática, citações e referências). Proclamados os resultados pela Professora Doutora **Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos **vinte e oito de novembro de dois mil e vinte e cinco**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Fabiolla Xavier Rocha Ferreira Lima, Professora do Magistério Superior**, em 28/01/2026, às 15:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Montenegro Goes, Professor do Magistério Superior**, em 28/01/2026, às 16:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **LILIAN CRISTINE WITICOVSKI GUINOZA, Usuário Externo**, em 29/01/2026, às 10:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0,
informando o código verificador **5821991** e o código CRC **D85A25A0**.

Referência: Processo nº 23070.049008/2025-11

SEI nº 5821991

*Aos que semeiam as ideias que farão brotar uma
sociedade mais justa e em harmonia com a natureza.*

AGRADECIMENTOS

Após a finalização desse intenso processo, é essencial reconhecer as contribuições que recebi para a conclusão deste trabalho. Tive a felicidade de poder contar com pessoas e instituições que me deram suporte, de forma direta ou indireta, ao longo da pós-graduação. Sem dúvidas, o apoio que recebi foi da maior importância.

Inicialmente, agradeço a minha família por todo o apoio e incentivo para seguir adiante. Em especial, agradeço a Maria Luzineide, minha mãe, que acredita profundamente que as coisas vão dar certo ao final. Suas palavras positivas e de encorajamento me deram a força necessária para enfrentar os dias mais difíceis.

Agradeço às minhas amigas e aos meus amigos por iluminarem e alegrarem minha vida. Sempre vou lembrar da rede de apoio que formaram à minha volta após os momentos mais críticos. Em especial, agradeço a Fernanda por proporcionar as condições para que eu me lançasse a esse desafio e o concluísse.

Agradeço a Universidade Federal de Goiás que, desde a graduação, contribui com meu crescimento profissional e me oferece as ferramentas para ampliar meu modo de ver o mundo. A formação na Faculdade de Artes Visuais possibilitou a rica convivência entre colegas de pesquisa, com interesse em diferentes temas com potencial de transformação e desenvolvimento da sociedade.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação Projeto e Cidade pela partilha de conhecimento e pelo comprometimento com seu ofício. Em especial, agradeço à minha orientadora por sua generosidade com a pesquisa desenvolvida e pelo suporte constante em todas as etapas. Com sua escuta empática, a orientação fluiu com o cuidado e a atenção necessária.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás pelo reconhecimento, financiamento e apoio durante o trabalho empreendido. A condição de bolsista foi fundamental nesse processo e é prova da importância do Programa de Concessão de Bolsas para o avanço da ciência, tecnologia e inovação goiana.

Meu mais profundo obrigado!

*“Olha esse céu
quando sonhamos, ele assim
empilhando olhares pro nosso jardim?*

*Mas quem é que não quer, enfim
que venha o progresso?*

O progresso é mato!”

Sertão Urbano (Carne Doce)

RESUMO

O planeta vive atualmente uma situação de emergência ambiental causada pela ação antrópica, em suas diferentes grandezas, ao longo da história. A aceleração das atividades de extração e uso de recursos naturais sem a devida ponderação dos impactos ao ambiente é característica da forma de organizar a natureza no modelo econômico em hegemonia na sociedade. Essa crescente degradação tem resultado na desestabilização de processos naturais e causando problemas como a perda de biodiversidade, o aumento da temperatura média global, o aumento do nível dos oceanos, a intensificação de eventos climáticos extremos, o degelo em regiões polares, a alteração no regime de chuvas e a desertificação. O setor da construção civil destaca-se neste cenário por ter uma extensa cadeia produtiva com alta demanda por matérias-primas naturais e, por gerar grandes volumes de resíduos poluidores. Diante deste contexto, é imprescindível a busca por soluções que contribuam para a diminuição dos impactos negativos do ambiente construído sobre o ambiente natural. Portanto, busca-se nesta pesquisa, analisar como os critérios de adequação ambiental influenciam a seleção de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B, no bioma Cerrado.

Palavras-chave: arquitetura sustentável; sistemas construtivos; adequação ambiental; estratégias bioclimáticas; bioma Cerrado.

ABSTRACT

The planet is currently experiencing an environmental emergency caused by human activity, in its various forms, throughout history. The acceleration of extraction and use of natural resources without due consideration of the environmental impacts is characteristic of the way nature is organized within the hegemonic economic model of society. This increasing degradation has resulted in the destabilization of natural processes and is causing problems such as biodiversity loss, increased global average temperature, rising sea levels, intensification of extreme weather events, melting ice in polar regions, altered rainfall patterns, and desertification. The construction sector stands out in this scenario due to its extensive production chain with high demand for natural raw materials and the large volumes of polluting waste it generates. Given this context, it is essential to seek solutions that contribute to reducing the negative impacts of the built environment on the natural environment. Therefore, this research aims to analyze how environmental suitability criteria influence the selection of construction systems for Bioclimatic Zone 4B in the Cerrado biome.

Keywords: sustainable architecture; construction systems; environmental adaptation; bioclimatic strategies; Cerrado biome.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 — Floresta da Tijuca reflorestada, fotografia de 1885.....	28
Figura 2 — Destruição ambiental na batalha do Somme, em 1916.....	29
Figura 3 — Poços de petróleo incendiados no Kuwait, em conflito de 1991.....	29
Figura 4 — Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	33
Figura 5 — Resgate em rua alagada após chuva histórica em Goiânia/GO.....	38
Figura 6 — Potencial de opções de mitigação para a demanda até 2050.....	40
Figura 7 — Fachadas sudeste e noroeste da Casa Eficiente.....	45
Figura 8 — Fluxograma metodológico da pesquisa.....	50
Figura 9 — Mapa de climas do Brasil.....	60
Figura 10 — Emissões globais de GEEs.....	62
Figura 11 — Zoneamento Bioclimático Brasileiro (2005).....	66
Figura 12 — Zoneamento Bioclimático Brasileiro (2024).....	68
Figura 13 — Região da zona bioclimática levemente quente e seca - 4B.....	71
Figura 14 — Fitofisionomias do bioma Cerrado.....	73
Figura 15 — Cerrado - Evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2021)....	74
Figura 16 — Estratégias bioclimáticas (Projeteeee).....	76
Figura 17 — Exemplificação de ventilação cruzada.....	78
Figura 18 — Exemplificação de proteção solar horizontal e vertical.....	79
Figura 19 — Exemplificação de microclima.....	80
Figura 20 — Exemplificação de resfriamento evaporativo.....	81
Figura 21 — Construção com bloco de solo-cimento.....	85
Figura 22 — Residência edificada com bloco estrutural de concreto.....	90
Figura 23 — Vista axonométrica, Casa Asolo.....	94
Figura 24 — Estruturas em <i>wood frame</i>	97
Figura 25 — Exemplo de execução de taipa melhorada.....	101

Figura 26 — Casa AA, projeto do arquiteto Argus Caruso.....	102
Figura 27 — Esquema de fluxos dos impactos ambientais da construção civil.....	104
Quadro 1 — Síntese dos requisitos gerais de adequação ambiental na NBR 15575 (ABNT, 2024b).....	54
Quadro 2 — Potenciais, limitações e conflitos.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR6	Sexto Relatório de Análise (IPCC)
Abrecon	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
Antac	Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Breeam	<i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CAU/BR	Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil
CBCS	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CGIEE	Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética
CPDS	Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
GEEs	Gases de efeito estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LabEEE	Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (UFSC)
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MCID	Ministério das Cidades
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira (ABNT)
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
Pnuma	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Projeteee	Projetando Edificações Energeticamente Eficientes
PSQ	Programas Setoriais da Qualidade (PBQP-H)
RCD	Resíduos da Construção Civil e Demolição
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
TMY	<i>Typical Meteorological Years</i>
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza
ZBB	Zoneamento Bioclimático Brasileiro
ZB4B	Zona Bioclimática 4B

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	TEMÁTICA E CONTEXTO	18
1.2	OBJETIVOS.....	20
1.3	JUSTIFICATIVA.....	20
1.4	PROBLEMA.....	23
1.5	HIPÓTESE.....	23
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
2	ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE	26
2.1	DISCUSSÃO AMBIENTAL	26
2.2	APLICAÇÃO NA ARQUITETURA.....	34
2.3	CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS.....	39
3	METODOLOGIA.....	48
3.1	ABORDAGEM DE PESQUISA	48
3.2	ETAPAS DE PESQUISA	49
3.3	SELEÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS	52
3.4	CRITÉRIOS DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL	53
4	ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS.....	59
4.1	DINÂMICAS CLIMÁTICAS	59
4.2	ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO	64
4.3	ZONA BIOCLIMÁTICA 4B	70
4.4	FERRAMENTAS DE ADAPTAÇÃO.....	75
5	ANÁLISE DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS	83
5.1	ALVENARIA DE VEDAÇÃO	83
5.1.1	Impacto ambiental	83
5.1.2	Desempenho técnico	85

5.1.3	Viabilidade socioeconômica.....	86
5.1.4	Síntese crítica	87
5.2	CONCRETO	87
5.2.1	Impacto ambiental	87
5.2.2	Desempenho técnico	89
5.2.3	Viabilidade socioeconômica.....	90
5.2.4	Síntese crítica	91
5.3	<i>STEEL FRAME E DRYWALL</i>	91
5.3.1	Impacto ambiental	92
5.3.2	Desempenho técnico	92
5.3.3	Viabilidade socioeconômica.....	94
5.3.4	Síntese crítica	95
5.4	MADEIRA ENGENHEIRADA.....	95
5.4.1	Impacto ambiental	96
5.4.2	Desempenho técnico	97
5.4.3	Viabilidade socioeconômica.....	98
5.4.4	Síntese crítica	99
5.5	TERRA CRUA	99
5.5.1	Impacto ambiental	99
5.5.2	Desempenho técnico	100
5.5.3	Viabilidade socioeconômica.....	102
5.5.4	Síntese crítica	103
5.6	SISTEMATIZAÇÃO DA ANÁLISE	103
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
6.1	OBJETIVOS ALCANÇADOS	106
6.2	CONTRIBUIÇÕES, LACUNAS E RECOMENDAÇÕES	107
	REFERÊNCIAS	110

1 INTRODUÇÃO

Todas as ações e eventos que acontecem no planeta provocam impacto na vida dos seres que o habitam, seja de forma direta ou indireta. O artigo *World Scientists' Warning of a Climate Emergency*, publicado na revista científica *BioScience*, em novembro de 2019¹, aborda a urgente necessidade de transformar a forma que a sociedade global funciona e interage com os ecossistemas para frear a crise climática. A publicação é uma das responsáveis por difundir o termo “emergência ambiental” que, refere-se à crescente degradação da natureza pela ação humana e sua implicação na desestabilização das bases que sustentam os atuais modos de viver.

A compreensão de que o bem-estar humano está intrinsecamente ligado à harmonia entre ambiente natural e construído é um passo fundamental para a construção de uma sociedade consciente do desafio de conter a crise ambiental. Essa discussão também passa pelo setor econômico da construção civil, onde o elevado consumo de recursos naturais e a geração de resíduos fazem do segmento um dos principais agentes de pressão sobre os ecossistemas. Ao longo deste Capítulo são apresentadas as questões que levaram à proposição e o desenvolvimento da pesquisa.

1.1 TEMÁTICA E CONTEXTO

O setor econômico da construção civil é, de acordo com Abyzov *et al.* (2020) e Romero (2015), o principal setor envolvido na gestão e fluxo de matérias-primas naturais. Essa realidade é compreensível, uma vez que a construção civil permeia todos os âmbitos da sociedade, das residências unifamiliares a grandes projetos de infraestrutura nas cidades. Assim, esse setor econômico tem alto potencial de provocar impactos negativos ao ambiente natural, antes e durante o processo de construção e, também, ao longo de seu ciclo de vida e possível demolição futura.

As estruturas construídas pelo setor da construção são destino da maior parte do

¹ CARRINGTON, Damian. Climate crisis: 11,000 scientists warn of 'untold suffering'. **The Guardian**, 2019. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2019/nov/05/climate-crisis-11000-scientists-warn-of-untold-suffering>. Acesso em: 1 mai. 2025.

capital financeiro no mundo (Abyzov *et al.*, 2020), movimentando a economia e causando impacto direto na natureza com a extração das matérias-primas necessárias para alimentar sua cadeia produtiva. De acordo com John, Oliveira e Lima (2007), os principais recursos utilizados pela indústria da construção são: água, argila, areia, calcário, pedras, madeira e metais. Esse extenso ciclo que abastece a construção civil utiliza, também, muitos materiais provenientes de outras indústrias, que passam por processos de beneficiamento antes de chegar aos canteiros de obras.

A operação dos canteiros de obras também pode gerar impactos indiretos, ligados à prestação de serviços, utilização de maquinários e equipamentos na construção, movimentação de solo e produção de resíduos. A logística na obra é intensificada com o emprego de materiais e componentes que não são encontrados na mesma região da construção e precisam ser transportados por grandes distâncias. Segundo Santos (2012), esses deslocamentos são comumente realizados por caminhões movidos a combustíveis fósseis, contribuindo, assim, com as emissões totais de dióxido de carbono (CO²) na atmosfera.

Denominados como Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCD), os resíduos provenientes de construções, reformas, demolições e atividades relacionadas à preparação e escavação de terrenos também podem causar impactos significativos, caso sejam descartados de forma inadequada. Dados da Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (Abrecon) mostram que foram gerados, no Brasil, 106,3 milhões de m³ de RCD no ano acompanhado pela Pesquisa Setorial - 2024². Desse montante, apenas 39,8 milhões de m³ tiveram uma destinação adequada, o que significa que mais de 60% de RCD no Brasil é descartado incorretamente.

Para diminuir os impactos sobre o meio ambiente, cada projeto deve ser pensado de forma única pelos profissionais responsáveis por sua idealização, com o objetivo de adaptar as demandas para a edificação às características do local de implantação. Ponderando, também, os diferentes sistemas construtivos que podem ser empregados e

² CONSTRUÇÃO civil deixa de reciclar 41,2 milhões de m³ de resíduos por ano. **Valor Econômico**, 2025. PressWorks. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/pressworks/noticia/2025/06/17/construcao-civil-deixa-de-reciclar-412-milhoes-de-m3-de-residuos-por-ano.ghtml>. Acesso em: 29 mar. 2025.

compreendendo que cada escolha adotada traz consigo características positivas e negativas que devem ser consideradas no todo. De acordo com Corbella e Yannas (2009), esse entendimento chegou a ser mais presente entre os profissionais da construção, mas acabou sendo esquecido com o tempo devido aos avanços tecnológicos do século XX.

A conexão da sociedade com a natureza foi gradualmente se desfazendo, impulsionada por mudanças sociais e tecnológicas como, por exemplo, o êxodo rural e a iluminação e climatização artificial. As inovações tecnológicas também deixaram “os arquitetos [...] bastante livres para concretizar as suas criações, no exato significado da palavra, lançando mão de meios artificiais que compensavam a falta dos meios naturais” (Romero, 2015, p. 8). Entretanto, existe um movimento de retomada por essa conexão motivado, em parte, pela própria imposição da natureza.

1.2 OBJETIVOS

Considerando as questões apresentadas, a pesquisa tem como objetivo geral analisar, a partir de uma revisão crítico-reflexiva, como a ponderação entre os critérios de adequação ambiental influenciam a seleção de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B (ZB4B) no Cerrado. Com esse intuito, delineiam-se os objetivos específicos que detalham as etapas de desenvolvimento da dissertação. São eles:

- Caracterizar as particularidades climáticas e ambientais da ZB4B e suas implicações para o projeto arquitetônico sustentável no bioma Cerrado;
- Analisar diferentes sistemas construtivos, a partir de critérios de adequação ambiental, em relação às demandas bioclimáticas da ZB4B;
- Sistematizar potenciais, limitações e conflitos da discussão sobre os sistemas construtivos e suas especificidades analisadas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A atual emergência ambiental é uma questão que gera preocupação para a maior

parte da sociedade e, o impacto causado pela construção civil ao ambiente natural deve ser pauta recorrente entre os arquitetos e urbanistas. O Código de Ética e Disciplina³ do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR) define como obrigação profissional a consideração do “impacto social e ambiental de suas atividades profissionais na execução de obras sob sua responsabilidade”. Assim, a busca pelo equilíbrio entre ambiente construído e natural é parte dos princípios dessa atividade profissional no país.

O Brasil possui um extenso território, sendo um dos maiores países em área no mundo, com grande variação geográfica de climas, biomas, altitude, relevo, solo, entre outras características. Entretanto, no âmbito da construção civil, o que tem sido observado na atualidade é a uniformização das construções com poucas, ou nenhuma, adaptação e desconsiderando as características geográficas específicas do sítio (Walsh; Cóstola e Labaki; 2023). É possível encontrar com facilidade exemplos de edificações que foram executadas utilizando um mesmo sistema construtivo em cidades inseridas em Zonas Bioclimáticas totalmente diferentes entre si.

O sistema construtivo mais comumente utilizado pela construção civil é a alvenaria de bloco cerâmico com estrutura em concreto armado. Nesse sistema, a estruturação acontece por meio de um conjunto de elementos em concreto armado, comumente moldados *in loco*, onde a alvenaria possui a função de vedação e separação dos ambientes da edificação. A distribuição nacional desse sistema se deve, em grande medida, ao hábito da mão de obra com sua execução e a facilidade de se encontrar materiais usados nesse sistema.

Para a execução das fundações, pilares, vigas e lajes são utilizados materiais como cimento, água, agregados miúdos e graúdos e peças em aço. Dentre os principais impactos ao ambiente natural com a produção desses materiais estão relacionados ao consumo intenso de água e energia, emissões de gases nocivos, a mineração de minerais e metais e o manejo inadequado de resíduos. O calcário, insumo fundamental para a produção de cimento, é um material chave na construção civil. De acordo com John (2017), seu processo de produção, especialmente a etapa de calcinação, libera

³ RESOLUÇÃO Nº 52, de 06 de setembro de 2013. **Código de Ética e Disciplina do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR)**. Disponível em: <https://transparencia.caubr.gov.br/resolucao52/>. Acesso em: 27 dez. 2024.

grandes quantidades de CO₂, o que faz da indústria cimenteira uma das maiores emissoras globais de gases poluentes.

Os impactos sobre o ambiente natural provocados pela produção dos blocos cerâmicos de alvenaria iniciam com a extração de argila do solo para confecção das peças. De acordo com Pereira (2007), a produção nas olarias também consome um grande volume de madeira para a realização da queima, processo que libera na atmosfera um significativo volume de gases que contribuem para a intensificação do Efeito Estufa⁴. A queima dos blocos cerâmicos chega a durar horas até que seja alcançado o cozimento ideal e, em algumas fábricas são utilizadas madeiras vindas de extração ilegal para abastecer seus fornos a carvão.

Com maior ou menor grau de beneficiamento, todos esses materiais são extraídos do ambiente natural, empregados extensivamente na indústria da construção e provocam expressivos danos nos locais de extração. Para além disso, se deve considerar também o transporte desses materiais dentro do território nacional (Santos, 2012) que contribui para a emissão de gases poluentes e leva a perda de uma parcela dos blocos cerâmicos com o manuseio e trajeto. Uma vez que, as matérias-primas para fabricação desses materiais não são encontradas em todas as regiões em que esse sistema construtivo está presente.

Outro ponto negativo está relacionado ao elevado volume de entulho gerado neste sistema construtivo, em grande medida decorrente da forma como as obras são tradicionalmente executadas. As paredes de alvenaria são erguidas sem a passagem simultânea das instalações elétricas e hidrossanitárias, o que exige a quebra de trechos das paredes para a inserção dessas infraestruturas e seu posterior fechamento em etapas posteriores. Esse procedimento resulta em desperdício de materiais, aumento do consumo de insumos e maior geração de RCD. Além disso, contribui para a ampliação do tempo de execução da obra e para a intensificação dos impactos ambientais associados ao canteiro de obras.

Com essas questões apresentadas, torna-se evidente a necessidade de se

⁴ O Efeito Estufa é um fenômeno natural onde a atmosfera da Terra, devido as características de sua composição, absorve parcialmente o calor advindo da radiação solar. Esse efeito exerce papel fundamental na manutenção da vida na Terra, a mantendo aquecida e com condições para a vida. Entretanto, a intensificação do fenômeno, relacionada às atividades humanas, provoca o sobreaquecimento do planeta e contribui para as mudanças climáticas. (Romero *et al.*, 2021).

repensar o lugar que a alvenaria de bloco cerâmico com estrutura em concreto armado tem ocupado, sendo o primeiro sistema construtivo a ser considerado em um projeto dentre tantos outros existentes. Apesar da resistência cultural da sociedade na adoção de diferentes sistemas construtivos, a relevância desta pesquisa evidencia-se diante da situação ambiental atual, onde as mudanças climáticas têm afetado cada vez mais a vida no planeta.

Mais especificamente, o trabalho busca trazer essa discussão para o domínio do Cerrado sob a ótica das relações entre ambiente construído e natural, tendo como unidade de análise a ZB4B estabelecida pela Norma Brasileira 15220 (ABNT, 2024a). Essa escolha busca suprir uma lacuna nos estudos sobre arquitetura e sustentabilidade adaptada às características únicas da região. De modo a acompanhar o crescente movimento de atenção ao bioma do Cerrado que, de acordo com Klink e Machado (2005), recebeu menor atenção aos seus problemas ambientais ao longo da história.

1.4 PROBLEMA

A motivação para desenvolvimento da dissertação deu-se a partir da articulação entre arquitetura e sustentabilidade no território cerratense, pensando na influência dessa relação para a escolha das soluções projetuais. E, nesse sentido, de que modo os critérios que definem a adequação ambiental na construção podem influenciar a seleção de sistemas construtivos para a ZB4B no contexto do Cerrado?

1.5 HIPÓTESE

Partindo das premissas que: a construção civil representa um dos setores de maior impacto ambiental; a ZB4B possui características específicas que demandam estratégias diferenciadas e; o bioma Cerrado tem particularidades ambientais que devem ser consideradas na construção. Adota-se a hipótese de que, a aplicação dos princípios de sustentabilidade na escolha de sistemas construtivos para a ZB4B no Cerrado não aponta para uma solução única e otimizada, mas revela um campo de possibilidades. A adequação de um sistema construtivo, nesse contexto, é determinada menos por

comportamento isolado em um único critério e mais pela ponderação equilibrada conjunto na realidade local.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação, dividida em 6 Capítulos, aborda a relação entre arquitetura e sustentabilidade no Cerrado a partir de uma análise crítica de sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B. O Capítulo 1 introduz os elementos base para o desenvolvimento do trabalho, organizados em seis subitens, nesta ordem: temática e contexto, justificativa, problema, objetivos e estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico da pesquisa e, ao longo de quatro subitens, aborda a sustentabilidade aplicada à arquitetura. O primeiro subitem trata sobre o desenvolvimento da discussão e, em seguida, o segundo subitem conecta a discussão da sustentabilidade ao campo da arquitetura. O terceiro subitem discorre sobre construções sustentáveis e, em seguida, o quarto subitem trata das questões de desempenho, impacto e viabilidade.

O Capítulo 3 trata, em quatro subitens, sobre a metodologia utilizada para o desenvolvimento da dissertação. No primeiro subitem é detalhada a abordagem de pesquisa, visando oferecer transparência ao processo investigativo e permitindo a reprodutibilidade e a validação dos resultados e, em seguida, o segundo subitem detalha as etapas do trabalho. O terceiro e o quarto subitem expõem, respectivamente, o processo de seleção de sistemas construtivos a serem analisados e, a formulação dos critérios de adequação ambiental utilizados nesta análise.

O Capítulo 4 apresenta a análise documental da pesquisa abordando o tema das estratégias bioclimáticas em quatro subitens. O primeiro subitem trata das dinâmicas climáticas de forma geral. O segundo subitem apresenta o Zoneamento Bioclimático Brasileiro e, na sequência, o terceiro subitem apresenta a Zona Bioclimática 4B e suas características como unidade de análise. Por fim, o quarto subitem apresenta diferentes ferramentas de adaptação para a área analisada.

O Capítulo 5, em seis subitens, apresenta e sistematiza a análise de diferentes sistemas construtivos selecionados pela pesquisa. Os cinco primeiros subitens analisam,

nesta ordem, os sistemas de alvenaria de vedação (bloco cerâmico e bloco solo-cimento), concreto (bloco estrutural, moldado *in loco* e pré-moldado), *steel frame* e *drywall*, madeira engenheirada e terra crua (taipa e adobe). O último subitem do Capítulo apresenta uma sistematização com os potenciais, limitações e conflitos da discussão sobre os sistemas construtivos analisados anteriormente.

O Capítulo 6 encerra a dissertação com as considerações finais sobre a pesquisa realizada e, está dividido em dois subitens. O primeiro subitem evidencia os objetivos alcançados no trabalho e, em seguida, o segundo subitem sintetiza as contribuições, lacunas e recomendações da pesquisa.

2 ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE

Neste Capítulo é apresentado o referencial teórico, a partir de uma revisão de literatura sobre os principais conceitos e discussões a fim de compreender os aspectos presentes no tema.

2.1 DISCUSSÃO AMBIENTAL

A presença e a atividade humana provocam marcas no território em que se desenvolve, causando impactos ambientais desde o princípio, seja de forma intencional ou não. De acordo com Corbella e Yannas (2009), um dos objetivos dessas intervenções era se proteger das intempéries e adversidades do ambiente, por meio do uso dos recursos disponíveis na natureza. Denominado como impacto antrópico, esses efeitos se intensificaram ao longo das eras geológicas e, hoje, abrangem desde a perturbação superficial, como a compactação do solo em áreas de trânsito, até intervenções mais intensas, como a alteração da topografia e paisagem natural.

Estudos arqueológicos demonstram que, a partir de análises morfológicas e químicas do solo (Teixeira; Lima, 2016), é possível compreender como o impacto de uma sociedade deu-se em um sítio específico e estimar o período em que as modificações aconteceram. Assim, essas análises dos registros de impacto auxiliam os estudos sobre o desenvolvimento da ocupação no território. À medida em que as sociedades se tornaram mais complexificadas e agregaram um maior número de indivíduos, os impactos à natureza aumentaram gradativamente, acompanhando também o ritmo da evolução das tecnologias desenvolvidas e aplicadas por cada povo.

O desenvolvimento de práticas, como a agricultura e a exploração de recursos naturais, possui, inclusive, correlação com a fixação de determinados grupos em um território específico. Esse desenvolvimento possibilitou o aumento da produtividade, fato que possibilitou a troca de excedente de produção de alimentos com outros indivíduos e sociedades. Dessa forma, o estabelecimento de sistemas de trocas emergiu como o catalisador fundamental para o desenvolvimento do comércio de bens e serviços (Marques, 2015). Esse momento é significativo, pois marca a transição da produção

ligada exclusivamente à subsistência de famílias ou comunidades para a produção destinada à comercialização e conversão em moeda de troca.

A Revolução Industrial, que teve início no Reino Unido da Grã-Bretanha, durante a segunda metade do século XVIII, contribuiu para a aceleração desse processo (Czapski, 1998). Esse período possibilitou uma série de avanços tecnológicos e intelectuais e, em poucas décadas, espalhou-se da Europa para outras porções do mundo. Foi um processo caracterizado pelo avanço dos métodos de produção e pela proliferação de numerosas fábricas e indústrias.

Esses acontecimentos impulsionaram o aumento da produção de mercadorias e sua comercialização, em uma dinâmica cada vez mais acelerada e em uma escala geográfica cada vez mais ampla. Com isso, desencadeou-se uma série de transformações na estrutura social que, conforme apontado por Czapski (1998), visavam facilitar a vida humana. Isso resultou em uma mudança no estilo de vida das pessoas, que foram incentivadas a adquirir os produtos fabricados pelo novo modelo de produção, por meio de campanhas publicitárias.

É nesse contexto que a produção mercantil simples da produção de manufatura, que predominava até então, evolui para o que é conhecido como produção mercantil capitalista, impulsionada pelas novas máquinas industriais. Segundo Marques (2015), com a potencialização da produtividade, o consumo de recursos naturais cresceu de forma acelerada à medida que os interesses econômicos aumentavam. Assim, os impactos causados na natureza ficavam em segundo plano, ou até mesmo ignorados por completo por não serem reconhecidos como problemas de fato.

Entretanto, anteriormente ao surgimento de uma mobilização ambiental mais robusta e organizada, havia na sociedade personalidades que já demonstravam uma certa preocupação ambiental. De acordo com Pierro (2020), o naturalista e estadista José Bonifácio de Andrada e Silva (1763-1838) é tido como um dos pioneiros por diversas passagens em que criticou a exploração impetuosa dos recursos naturais no Brasil. E, apesar da pouca adesão a esse discurso neste momento, ações como o reflorestamento da Floresta da Tijuca no Rio de Janeiro/RJ (Figura 1), entre os anos de 1861 e 1874, constituem-se marcos importantes do desenvolvimento da discussão no país.

Figura 1 — Floresta da Tijuca reflorestada, fotografia de 1885



Fonte: Acervo Instituto Moreira Salles/Revista Pesquisa FAPESP, 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/raizes-do-ambientalismo/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

Os danos ao ambiente natural tornaram-se mais evidentes à medida que os avanços tecnológicos e o novo modelo econômico se propagaram e evoluíram. Com isso, a escassez de recursos naturais passou a ser uma questão a ser discutida pela sociedade. Essa transformação sem precedentes da natureza, onde as condições e os processos geológicos são profundamente influenciados pela atividade humana, recebeu a alcunha de “Antropoceno”. A fim de demarcar, de forma clara, a ação humana no intervalo de tempo onde esse processo transcorreu.

No Antropoceno, a natureza deixou de ser uma variável independente do homem e se tornou, em última instância, uma relação social. Mas o inverso é não menos verdadeiro: as relações entre os homens em sua mais ampla acepção - da esfera econômica à simbólica - perdem sua autonomia e tornam-se gradualmente funções de variáveis ambientais (Marques, 2015, p. 400).

Outro termo que tem sido empregado para representar esse mesmo processo é “Capitaloceno”, com a justificativa de que esse termo seria capaz de explicar como essas mudanças aconteceram. De acordo com Moore (2022), esse termo destaca a influência direta do atual sistema econômico em hegemonia no planeta na organização e valoração da natureza. Apesar da disputa de nomenclatura, as definições de ambos os termos

convergem para a mesma direção: apontam o modelo econômico Capitalista como responsável pelo estado de emergência ambiental em que a Terra se encontra.

Diante das transformações que a sociedade estava passando, em meados do século XVIII, aos poucos surgiram iniciativas para debater as questões ambientais decorrentes dos avanços tecnológicos da época. Segundo Czapski (1998), foi somente após a Segunda Guerra Mundial que estudos mais abrangentes sobre os impactos humanos na natureza começaram a ser realizados. Isso deve-se, em parte, à destruição causada pelo conflito em diferentes partes do mundo, por meio de explosões, e da disseminação de substâncias tóxicas e radioativas.

Além disso, a Segunda Guerra Mundial impulsionou avanços nas comunicações, facilitando a disseminação de informações entre diferentes regiões e países. Consequentemente, as catástrofes ocorridas em lugares distantes tornaram-se conhecidas pela população de outras nações, o que promoveu uma maior aproximação entre comunidade civil, defensores ambientais e cientistas (Czapski, 1998). Imagens de destruição ambiental, como as que registraram campos de batalha (Figuras 2 e 3), colaboram para a formação de uma consciência global sobre o tema.

Figura 2 — Destruição ambiental na batalha do Somme, em 1916
Figura 3 — Poços de petróleo incendiados no Kuwait, em conflito de 1991



Fonte: Ernest Brooks/Everett Collection/National Geographic, 2023. Disponível em: https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/impacto-ambiental-guerras_4326. Acesso em: 03 jul. 2025.

Nesse período ocorreu uma intensa agitação social, com movimentos de grande adesão popular, reivindicando uma nova ordem de valores e atitudes. Esses eventos demonstraram o poder da mobilização popular e, também, apontavam para uma

mudança significativa na consciência social, política e ambiental em todo o mundo. De acordo com Scherer-Warren (2006), essas mobilizações no espaço público oferecem mais visibilidade para a pauta reivindicada e reforçam o importante trabalho realizado pelos movimentos sociais na esfera pública.

A aproximação da discussão ambiental com os demais movimentos de contracultura vigentes neste período fortificou a pauta na sociedade (Pierro, 2020) e, assim, impulsionou o surgimento de iniciativas associativas locais, como grupos, sindicatos e organizações não governamentais. Segundo Scherer-Warren (2006), é nessas formas de organização onde a sociedade civil une-se para enfrentar desafios do dia a dia em suas comunidades imediatas e mobiliza as estruturas inter-organizacionais complexas, nas quais a luta é conduzida com um grau maior de institucionalização.

No Brasil, o seringueiro e sindicalista acreano Chico Mendes (1944-1988) foi uma das principais personalidades que atuaram na defesa e preservação do meio ambiente, sobretudo da Floresta Amazônica. Sua atuação cessou mediante assassinato, fato que repercutiu na imprensa e provocou grande indignação social dentro e fora do país. Com essa crescente mobilização em torno das questões ambientais, as articulações fortaleceram-se em diferentes países e culminaram na consolidação de fóruns internacionais de discussão “em nome dos (e para os) que querem a sobrevivência do planeta” (Acselrad, 1999, p. 80).

A primeira iniciativa internacional de líderes governamentais foi organizada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), na cidade francesa de Fontainebleau, em 1948. De acordo com Czapski (1998), o principal resultado dessa conferência foi a criação da União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN), uma coalizão de organizações governamentais e da sociedade civil. Seu objetivo foi promover o progresso humano e o desenvolvimento econômico de forma sustentável, integrando com a conservação da natureza.

É a partir dessas discussões que o conceito de “sustentabilidade” é delineado, quando a intensificação do processo de desenvolvimento mundial passa a evidenciar os limites físicos do planeta. Segundo Acselrad (1999), tão logo o termo surge, inicia-se uma disputa simbólica acerca do reconhecimento da autoridade que responde pela sustentabilidade. Isso deve-se, em parte, pelo entendimento de que as questões

ambientais não poderiam ser dissociadas das questões econômicas e sociais.

De acordo com Marcatto (2002), o termo ganhou contornos mais precisos na década de 1980, especialmente após a publicação do relatório “Nosso Futuro Comum” (1987), elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU). Nesse documento, o desenvolvimento sustentável foi definido como aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades”⁵. Assim, foram incorporadas à definição do termo a dimensão intergeracional e a necessidade de buscar equilíbrio entre crescimento econômico, justiça social e preservação ambiental. Essa formulação permitiu que o conceito ganhasse aceitação política mais ampla, sendo incorporado em tratados, legislações e políticas públicas ao redor do mundo.

[...] o conceito de desenvolvimento sustentável não postula a preservação da natureza em seu estado original. Mas, sim, em padrões de desenvolvimento que minimizem a degradação ou destruição da própria base de produção e do convívio humano, na preservação da qualidade dos sistemas ecológicos, na necessidade de um crescimento econômico para satisfazer as necessidades sociais e na equidade entre geração presente e futuras (Pereira, 2003, p. 58).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, foi um marco para a discussão do tema e conseguiu reunir 178 nações com o propósito de deliberar sobre medidas para conter a degradação ambiental e assegurar a sustentabilidade para as futuras gerações. De acordo com Marcatto (2002), a conferência teve como principais temas de discussão: a correlação entre o crescimento econômico e o crescimento das desigualdades, entre e dentro das nações; a transferência, para a sociedade, dos custos sociais e ambientais da exploração do ambiente natural; a necessidade de maior justiça econômica para os países em desenvolvimento na administração da natureza; ajuda econômica para países em desenvolvimento saírem do duplo nó pobreza e destruição ambiental; a necessidade de conter o consumo excessivo, sobretudo, nos países desenvolvidos.

A Agenda 21, um dos principais resultados da conferência, apresentou medidas concretas e imediatas para implementação de mudanças na sociedade e recebeu essa

⁵ COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO: **Nosso Futuro Comum**. 2ª ed. Editora da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1991.

nomenclatura em referência à urgência da sua aplicação para a existência de um século XXI. O documento pode ser entendido como um plano de ações e de metodologias para a transformação da realidade em todo o planeta por meio da criação de documentos locais, considerando as particularidades de cada território. Reforçando assim, segundo Czapski (1998), o lema “Pensar globalmente, agir localmente.”, amplamente defendido pelos ambientalistas.

O evento, conhecido também como Eco-92, colocou o Brasil no centro das discussões internacionais sobre sustentabilidade, em um papel de protagonismo frente a essa questão. E, internamente, isso refletiu-se em um fortalecimento da legislação ambiental e na ampliação do diálogo entre Estado, sociedade civil e setor produtivo. Assim, estimulou a implementação de políticas públicas voltadas à aplicação do conceito de sustentabilidade ao desenvolvimento da nação, considerando como base o artigo 225, da Constituição Federal de 1988. Tendo como assunto a natureza, o artigo assegura o direito “ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida” (Brasil, 1988, cap. VI, art. 225). Atribuindo, ainda, à sociedade e ao Poder Público o dever de defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações.

O protagonismo brasileiro seguiu em destaque na agenda ambiental global, sendo sede, em 2012, da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a qual buscou avaliar os avanços e desafios, desde a Eco-92. Entretanto, o evento não conseguiu o mesmo êxito que os anteriores e, de acordo com Marques (2015), teve como resultado uma declaração final branda e desviante do enfrentamento à emergência ambiental. Fato que se deve, em parte, ao enfraquecimento de organismos internacionais e, também, ao declínio do multilateralismo entre as nações, observado nas últimas décadas.

Um recente avanço mundial nesse tema aconteceu na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, em 2015, com a realização da 21ª Conferência das Partes⁶. Nesse evento, foi firmado o Acordo de Paris, tratado internacional sobre mudanças climáticas abrangendo questões como a mitigação, a adaptação e o

⁶ UNITED Nations Summit on Sustainable Development. **Conferences | Environment and Sustainable Development**, 2025. Disponível em: <https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2015>. Acesso em: 27 ago. 2025.

financiamento dos esforços para frear as mudanças climáticas. Este tratado prevê cada país autodetermine suas ações de enfrentamento à mudança do clima por meio da elaboração e divulgação do documento Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC)⁷, devendo contar com regime de transparência e atualização periódica.

Neste mesmo ano, também foram lançados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), um plano de ação para acabar com a pobreza, proteger a natureza e o clima e as pessoas. Esses objetivos representam um chamado universal à ação, engajando todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, em uma parceria global. Sob gestão do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), os dezessete objetivos (Figura 4), possuem um conjunto de 169 metas para sua implementação nas dimensões econômica, social e ambiental.

Figura 4 — Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Jornal Hora Extra, 2025. Adaptado pelo autor. Disponível em: <https://gtagenda2030.org.br/ods/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

Nos anos seguintes, o tema ainda enfrentou um período de significativos retrocessos internacionalmente devido ao negacionismo climático, mudanças no contexto político e aumento de conflitos armados. No Brasil, devido a troca de gestões

⁷ SOBRE a COP30. **30ª Conferência das Partes**, 2025. Disponível em: <https://cop30.br/pt-br/sobre-a-cop30/o-que-e-a-cop>. Acesso em: 05 out. 2025.

no Governo Federal, se observou nesse período movimentos como o afrouxamento de regras ambientais, enfraquecimento de órgãos de fiscalização e aumento do desmatamento. Entretanto, o país tem se recuperado desse período e retomando espaço no cenário global ao sediar a 30ª Conferência das Partes Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP30)⁸, em 2025.

A conferência, com sede em Belém/PA, representou uma oportunidade estratégica para reafirmar compromissos climáticos e tem como objetivo coordenar os esforços globais no combate à crise climática, sobretudo em relação ao financiamento das ações. Os principais temas discutidos na COP30 foram⁹: redução de emissões de Gases de Efeito Estufa; adaptação às mudanças climáticas; financiamento climático para países em desenvolvimento; tecnologias de energia renovável e soluções de baixo carbono; preservação de florestas e biodiversidade; justiça climática e os impactos sociais das mudanças climáticas.

2.2 APLICAÇÃO NA ARQUITETURA

O avanço da discussão sobre sustentabilidade alcança todos os setores da sociedade e, aplicado à construção civil, tem suscitado transformações nas legislações, no mercado e no reposicionamento dos profissionais da área. Essa mudança de perspectiva reforça a compreensão de que o ambiente construído não pode ser dissociado do ambiente natural, levando em conta, ainda, a dimensão temporal pois “é sustentável hoje aquele conjunto de práticas portadoras da sustentabilidade no futuro” (Acselrad, 1999, p. 81). Assim, gera-se uma demanda por novos estudos e práticas que orientem e regulem as ações do setor para que sejam alcançadas melhorias na sua relação com a natureza.

⁸ RUMO à COP30. **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/mudanca-do-clima/rumo-a-cop-30>. Acesso em: 3 ago. 2025.

⁹ RUMO à COP30. **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/agenda-internacional/missoes-internacionais/cop28/cop-30-no-brasil>. Acesso em: 3 ago. 2025.

A necessidade de garantir um equilíbrio ecológico entre atender às necessidades modernas da humanidade e proteger os interesses das gerações futuras, incluindo sua necessidade de um ambiente seguro e saudável, define as tendências atuais da construção global, que indicam que a direção mais promissora é o desenvolvimento do ambiente urbano com base em tecnologias de economia de energia, bem como materiais de construção ecologicamente corretos (Abyzov *et al.*, 2020, p. 1, tradução própria)¹⁰.

Impulsionada pelas discussões globais, a arquitetura sustentável surge na década de 1990 como uma forma de “reconhecer na construção uma das principais fontes de degradação dos recursos ambientais e, potencialmente, a principal fonte de renovação dos mesmos” (Lambert; Dutra; Pereira, 2016, p. 22-23). Ao longo das décadas seguintes, esse conceito se consolidou como uma resposta necessária aos desafios observados na sociedade contemporânea. Essa abordagem reforça a integração entre arquitetura e natureza como ponto fundamental para o desenvolvimento de sociedades sustentáveis e resilientes aos efeitos da crise ambiental.

As estratégias de integração podem ser implementadas em cada uma das etapas de projeto, seja em novas construções ou em adequações de edifícios existentes. De acordo com Lukiantchuki, Caram e Labaki (2011), a fase de concepção de um projeto é onde há as melhores condições para se definir as estratégias que resultarão em construções mais econômicas, confortáveis e agradáveis. Nesse sentido, a antecipação das decisões projetuais permite maior rendimento entre desempenho ambiental e viabilidade técnica, uma vez que a incorporação de estratégias posteriores tende a gerar maiores custos e menor efetividade das adequações implementadas.

As intervenções de mitigação para edificações incluem: na fase de construção, materiais de construção de baixa emissão, invólucro de construção altamente eficiente e a integração de soluções de energia renovável; na fase de uso, aparelhos/equipamentos altamente eficientes, a otimização do uso de edificações e seu abastecimento com fontes de energia de baixa emissão; e na fase de disposição, reciclagem e reutilização de materiais de construção (IPCC, 2023, p. 123).

Essa integração desempenha, ainda, um importante papel na promoção da resiliência urbana e conservação do ambiente natural. Áreas verdes preservadas

¹⁰ The need to ensure an ecological balance between meeting the modern needs of mankind and protecting the interests of future generations, including their need for a safe and healthy environment, defines current global construction trends, which indicate that the most promising direction is the development of urban environment based on energy-saving technologies, as well as environmentally friendly building materials (Abyzov *et al.*, 2020, p. 1).

proporcionam benefícios estéticos e recreativos e, também, desempenham funções vitais na regulação do clima, na proteção contra desastres naturais, na conservação da biodiversidade e na promoção da saúde dos cidadãos (Romero *et al.*, 2021). Essa série de fatores tem potencial de atenuar partes dos impactos negativos decorrentes da atividade da construção civil.

No âmbito das regulamentações, o setor da construção civil tem sido chamado a contribuir com a minimização dos impactos à natureza. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), entidade responsável por deliberar sobre o tema, é composto por representantes do poder público e pela sociedade civil. Por meio de resoluções, o órgão estabelece normas para prevenir, controlar e mitigar os efeitos ambientais negativos decorrentes das atividades construtivas, buscando alinhar o desenvolvimento do setor aos princípios da sustentabilidade.

Na Resolução Conama nº 001 de 1986, o órgão define como impacto ambiental “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas” (Brasil, 1986). A legislação ressalta ainda, que essas alterações antrópicas podem afetar direta ou indiretamente: a saúde, a segurança e o bem-estar da sociedade; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e; a qualidade dos recursos ambientais.

Rodrigues (2022), enfatiza o importante papel da Resolução Conama nº 307, de 2002, e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) na regulamentação dos impactos da atividade do setor da construção na gestão de RCD. Normativas que buscam reduzir o volume de resíduos destinados a aterros e incentivar a triagem, o reaproveitamento e a reciclagem como práticas fundamentais para a economia circular. Nesse sentido, a correta gestão dos resíduos sólidos da construção civil apresenta-se como um dos maiores desafios do setor, uma vez que envolve desde mudanças na cultura organizacional das empresas até a criação de infraestrutura adequada para coleta e destinação.

Importantes contribuições também partiram da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da elaboração de parâmetros consolidados em Norma Brasileira (NBR). Normativas, como a NBR 15220: Desempenho térmico de edificações

e a NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho, dialogam com as discussões globais sobre a busca por sustentabilidade. Demonstrando, assim, os desdobramentos dos debates e teorias em mecanismos práticos que conferem mais responsabilidade ao setor em sua atuação.

Um dos legados da Eco-92 no Brasil foi a versão nacional da Agenda 21, desenvolvida sob coordenação da Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS). A comissão, liderada por representante do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), foi integrada pela sociedade civil e por organizações ligadas às questões de desenvolvimento e de meio ambiente (Romero *et al.*, 2021). Organizado em blocos, esse documento¹¹ apresenta questões orientadoras para diversos setores no país, incluindo o setor de construção civil que é discutido nos pontos que tratam sobre o gerenciamento e organização de processos, a qualidade ambiental dos edifícios e a redução de consumo de recursos naturais.

Essas diretrizes sinalizam a necessidade da incorporação de princípios de sustentabilidade nas práticas projetuais, tanto na escala da arquitetura quanto na escala das cidades, conforme destaca Esperidião *et al.* (2023). Uma vez que, devido à maior concentração populacional, as cidades tendem a ser mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas, em razão das alterações produzidas pelo setor da construção civil, que “impermeabiliza o solo, aumenta a probabilidade de inundações e formação de ilhas de calor” (Santos, 2012, p. 10).

As comunidades mais vulneráveis são as mais afetadas pelos impactos do desenvolvimento urbano desordenado e sofrem com a falta de acesso a moradias adequadas, serviços básicos e áreas verdes. De acordo com Vecchia, Tech e Neves (2020), essa ocupação desordenada do ambiente não leva em conta condicionantes do ambiente em que está inserida, fato que contribui para a insalubridade e situações de calamidade em eventos climáticos intensos (Figura 5).

¹¹ AGENDA 21. **Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-projetos-acoes-obras-atividades/programas-projetos-acoes-obras-e-atividades-finalizados/agenda-21-1>. Acesso em: 7 ago. 2025.

Figura 5 — Resgate em rua alagada após chuva histórica em Goiânia/GO



Fonte: Jornal Hora Extra, 2025. Adaptado pelo autor. Disponível em: <https://www.jornalhoraextra.com.br/goiania/temporal-de-estragos-goiania-enfrenta-segunda-maior-chuva-da-historia>. Acesso em: 22 mai. 2025.

Nesse sentido, é necessária a adoção de abordagens de planejamento e gestão que promovam a adaptação e resiliência frente às alterações climáticas, a fim de evitar a recorrência dessas situações nas áreas urbanas. E, a arquitetura tem papel estratégico na criação de espaços dotados de responsabilidade ambiental, a fim de contribuir com a promoção da justiça social e da equidade nas cidades (Vecchia; Tech; Neves, 2020). Com base em estratégias sustentáveis, é possível reduzir os impactos provocados pelo ambiente construído e alinhar os projetos às necessidades de adaptação e mitigação frente às mudanças climáticas, visando a melhoria da qualidade ambiental dos espaços.

Os principais elementos de adaptação e mitigação nas cidades incluem considerar os impactos e riscos da mudança do clima [...] no projeto e planejamento de assentamentos urbanos e rurais e infraestrutura é fundamental para a resiliência e a melhoria do bem-estar humano (IPCC, 2023, p. 46).

O desenvolvimento da discussão sobre sustentabilidade aplicada à arquitetura revela-se como um processo dinâmico, que combina influências das discussões globais com adaptações locais. E, por mais que enfrente obstáculos estruturais e culturais, tem avançado através de pesquisas acadêmicas e marcos normativos. Com a consolidação dessa agenda, pode-se haver contribuições diretas nas metas de implementação de

alguns dos ODS, plano global de ação para erradicação da pobreza, proteção da natureza, clima e pessoas gerido pela PNUD. Entre os objetivos potencialmente beneficiados, destacam-se o 9 (indústria, inovação e infraestrutura), 11 (cidades e comunidades sustentáveis), 12 (consumo e produção responsáveis) e 13 (ação contra a mudança global do clima).

Para isso, é necessário a adoção de um modelo integrado que depende da articulação entre pesquisa, políticas públicas, mercado e sociedade civil. Possibilitando, assim, espaço para a arquitetura desempenhar o papel de vetor de transformação para um futuro mais equilibrado ambiental, social e economicamente. Nesse sentido, a adoção de práticas sustentáveis no setor não deve ser entendida apenas como uma resposta às pressões ambientais, mas como parte de um movimento mais amplo de inovação e responsabilidade coletiva.

2.3 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

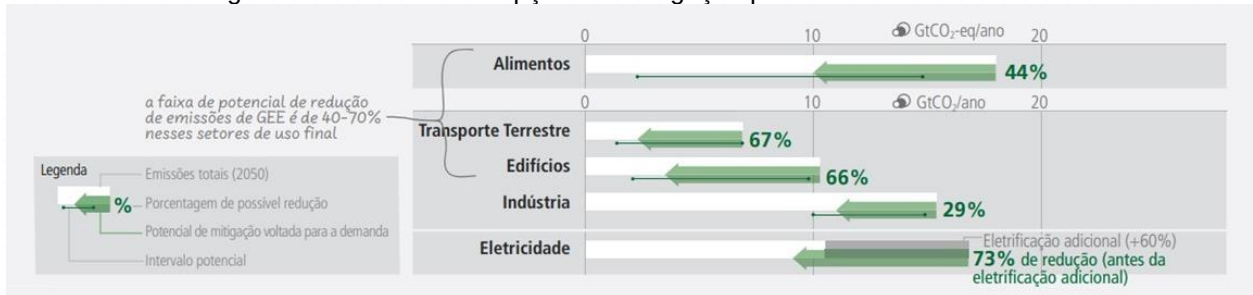
Motivadas pela emergência ambiental e pelos efeitos das mudanças climáticas, as construções sustentáveis são resultado da transformação de práticas na construção civil. Essa abordagem busca, paradoxalmente, aplicar soluções de mitigação de problemas criados pela própria ação do setor, conforme ressalta Machado (2010). E, devido à significativa parcela de consumo de recursos naturais e geração de resíduos pelo setor (Abyzov *et al.*, 2020), é decisivo seu envolvimento para a efetivação dos princípios da sustentabilidade, repensando os modos de projetar e construir.

[...] os insumos gerados em uma construção e seus rejeitos gerados ao longo de todo o seu ciclo de vida impactam a natureza em escala local (impactos diretos ao sítio e ao entorno), regional (esgotamento de recursos e poluição) e ainda contribuem com danos referentes à escala global, como aquecimento global e mudanças climáticas (Machado, 2010, p. 7-8).

O papel do setor da construção frente às mudanças climáticas foi analisado junto ao de outros setores econômicos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), órgão criado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), e apresentado no Sexto Relatório de Análise (AR6) em 2023. Além da responsabilização, o Painel também expõe no relatório o potencial de mitigação do setor caso sejam adotadas soluções de redução de impacto

ambiental (Figura 6). E, de acordo com o estudo, o setor de edifícios possui potencial de reduzir em até 66% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEEs) até 2050, percentual expressivo que contribuiria positivamente com os esforços empreendidos globalmente.

Figura 6 — Potencial de opções de mitigação para a demanda até 2050



Fonte: IPCC (2023). Adaptado pelo autor.

Representando uma resposta técnica a esse problema, o desenvolvimento de construções sustentáveis busca mitigar os impactos ao ambiente natural e promover a qualidade de vida a seus ocupantes (Corbella; Yannas, 2009). A iniciativa é pautada no uso racional dos recursos, na eficiência energética, na incorporação de materiais de baixo impacto e no respeito aos contextos sociais e ambientais locais. Aspectos esses que consolidam a arquitetura como instrumento de resiliência climática e possibilitam uma mudança de paradigma por meio de soluções tecnológicas, onde as edificações são concebidas de forma integrada.

A Construção Sustentável se difere da ecológica por ser produto da moderna sociedade tecnológica, podendo utilizar tanto materiais naturais e produtos provenientes da reciclagem, quanto outros materiais distintivos, porém que ofereçam benefícios considerados sustentáveis para a edificação como um todo (Machado, 2010, p. 22).

As discussões em conferências globais e a elaboração de tratados e documentos, como a Agenda 21, os ODS e a NDC Brasileira, contribuíram para a formação de uma consciência ambiental na sociedade. E, para que essas iniciativas não permanecessem restritas somente ao campo conceitual, tornou-se necessário estabelecer instrumentos capazes de orientar, mensurar e validar os esforços empreendidos. Assim, a busca por mecanismos de avaliação ganhou força, a fim de estabelecer formas de aferir com maior transparência a efetividade das ações adotadas.

Nesse contexto, foram formadas as condições para a criação de “associações

cujos objetivos eram absolutamente claros: reduzir o impacto dos edifícios no cenário ambiental global” (Romero, 2015, p. 9). Objetivando atribuir a sustentabilidade nas edificações um conjunto de critérios objetivos e verificáveis, surgiram diversas entidades que estabelecem parâmetros próprios para a aferição de um Selo de Certificação a empreendimentos avaliados. Esses mecanismos funcionam como instrumentos de avaliação e reconhecimento, orientando o mercado da construção civil na adoção de práticas mais responsáveis.

De acordo com Romero (2015), os primeiros sistemas de certificação foram o britânico *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (Breeam) e o estadunidense *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que se tornaram referências para a avaliação de edificações em todo o mundo. Ainda segundo o autor, esses sistemas buscaram, na sua criação, dar respostas às questões ambientais na construção civil para a sociedade, uma vez que os governos não se organizaram a tempo para criar iniciativas dessa natureza.

Com uma rápida aceitação do setor da construção civil, esses sistemas de certificação receberam adaptações relacionadas às especificidades climáticas e socioeconômicas locais para serem aplicados a outros países. Esse processo de adaptação demonstrou a flexibilidade e a capacidade de expansão desses sistemas, possibilitando que diferentes realidades incorporassem critérios de sustentabilidade compatíveis com suas necessidades. A aceitação do mercado nacional dos selos de certificação acarretou no desenvolvimento e lançamento de selos próprios no país (Santos, 2012). Assim, surgiram iniciativas como o Processo Aqua, Selo Casa Azul, Procel Edifica, com parâmetros de avaliação adaptados ao contexto brasileiro.

Essas certificações, além de atestar estratégias de sustentabilidade aplicadas a produtos ou bens conferem visibilidade e agregam valor simbólico e mercadológico. Valor esse que, conforme apontam pesquisas^{12 13}, influencia as escolhas dos consumidores e

¹² 1 em cada 3 compradores pagaria mais por imóvel com certificação ambiental, diz pesquisa. **Casa Vogue**, 2025. Um só planeta. Disponível em: <https://casavogue.globo.com/um-so-planeta/noticia/2025/08/imovel-com-certificacao-ambiental-pesquisa.ghtml>. Acesso em: 15 ago. 2025.

¹³ SUSTENTABILIDADE guia escolhas de 67% dos brasileiros. **Portal Terra**, 2025. Disponível em: <https://www.terra.com.br/noticias/sustentabilidade-guia-escolhas-de-67-dos-brasileiros,77ba04fb90d62f46e767db63b3c48e2bq0fzezto.html>. Acesso em: 15 ago. 2025.

reforça a imagem de responsabilidade socioambiental das empresas que as adotam. Entretanto, segundo Fontolan *et al.* (2023), ainda existem fatores que desmotivam os usuários a optarem pela sustentabilidade na arquitetura como a eficiência dos atributos sustentáveis, falta de incentivos legais e fiscais e, o valor relativo do bem.

De acordo com Silva e Gomes (2020), a busca por certificações pelo mercado levanta preocupações sobre a materialidade na aplicação dessas certificações, sendo necessário dar atenção a questões como a efetividade das práticas ambientais alegadas, a transparência nos processos e o monitoramento após a certificação. Por conta dessas questões, “a importância de comprovar a sustentabilidade das edificações somente cresceu com o passar das décadas” (Librelotto *et al.*, 2023, p. 6). Essas reflexões revelam que as certificações, embora relevantes, não esgotam o debate sobre sustentabilidade na construção e que o compromisso ambiental deve ir além.

A arquitetura pode e deve estar além das certificações, dos regulamentos e das normatizações. Ela precisa respeitá-las, mas deve continuar sendo criativa e inovadora como sempre foi. Deve também entender que a sua relação com o clima nunca poderá ser desfeita e que o erro do passado não poderá ser repetido novamente (Romero, 2015, p. 10).

De acordo com Silva e Silva (2015), uma das principais formas de se alcançar um alto desempenho ambiental nas construções é na seleção dos materiais, componentes e sistemas construtivos. Essa escolha influencia diretamente o consumo energético, a durabilidade da edificação e o conforto dos usuários. Além disso, permite integrar soluções passivas que reduzem a dependência de sistemas artificiais, tornando o projeto mais eficiente.

Outro aspecto fundamental refere-se à energia, o setor da construção é um dos grandes consumidores de eletricidade, seja na produção de materiais ou no funcionamento das edificações. Lamberts, Dutra e Pereira (2016), afirmam que a busca por eficiência energética permeia cada um dos três conceitos *vitruvianos* da arquitetura, utilidade, solidez e beleza. Segundo os autores, uma edificação que busca a eficiência energética chega com mais êxito aos conceitos fundamentais presentes no tratado “De architectura”, do arquiteto e engenheiro romano Vitruvius (80 a.C.-15 a.C.).

A melhoria da eficiência energética nas edificações passa pela escolha dos sistemas construtivos e dos materiais de construção utilizados, aplicação de medidas de conforto ambiental e utilização consciente de elementos e equipamentos

complementares. Para isso, é necessário conhecer as propriedades dos materiais para decidir “a respeito de quais materiais empregar num determinado clima, para facilitar uma situação de conforto térmico aos seus habitantes” (Corbella; Yannas, 2009, p. 48). Essas decisões impactam diretamente o desempenho térmico, lumínico e acústico dos espaços, reduzindo a necessidade de consumo energético para ambientação artificial. A adoção de soluções integradas favorece a durabilidade da edificação e contribui para a redução dos custos operacionais ao longo de sua vida útil.

Essa convivência com o edifício ao longo de sua vida útil identifica a real eficiência das estratégias de conforto propostas. Quando alguma solução não funciona adequadamente, o arquiteto identifica o erro e estuda uma nova solução, para ser incorporada no próximo edifício. A capacidade de aceitar o erro é uma qualidade e até mesmo uma metodologia de projeto, pois, ao admitir maneiras de aperfeiçoar, a evolução é constante (Lukiantchuki; Caram; Labaki, 2011, p. 330).

Visando regulamentar os índices mínimos de eficiência energética para as edificações, o Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), tornou obrigatória o enquadramento de novas edificações na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)¹⁴. O órgão, vinculado ao Ministério de Minas e Energia (MME), estabelece na Resolução CGIEE Nº 4 de 2025, um cronograma de adaptação para as edificações a serem construídas a partir de 2027, com expectativa de plena implementação em 2040 (Brasil, 2025).

O uso da água também é um fator importante para alcançar a sustentabilidade nas construções, uma vez que a crise ambiental tem afetado a disponibilidade hídrica em diferentes regiões. A incorporação de sistemas de captação de águas pluviais e reuso de águas cinzas são medidas que podem contribuir para a mitigação desse problema (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016). Dispositivos economizadores, como torneiras e descargas de baixo consumo, são exemplos de tecnologias que podem ser aplicadas às edificações a fim de promover o consumo consciente desse recurso natural.

Entretanto, o custo de algumas soluções de construção sustentável pode significar desafios expressivos no contexto socioeconômico brasileiro. Esse investimento inicial

¹⁴ COMITÊ gestor de índices e níveis de eficiência energética estabelece desempenho mínimo para novas edificações no país. **Ministério de Minas e Energia**, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/comite-gestor-de-indices-e-niveis-de-eficiencia-energetica-estabelece-desempenho-minimo-para-novas-edificacoes-no-pais>. Acesso em: 17 out. 2025.

para implementação de tecnologias e materiais sustentáveis pode afastar sua adoção, sobretudo no mercado imobiliário tradicional, que prioriza a redução de despesas imediatas em detrimento de benefícios de longo prazo. Cenário que deve ser modificado com o “aumento da demanda por produtos e sistemas construtivos que otimizem a construção e aumentem a eficiência e o desempenho das edificações” (Machado, 2010). Mudança essa que deve ser acompanhada da capacitação técnica e de mão de obra especializada para sua implementação.

A adoção de práticas sustentáveis em diálogo com a realidade socioeconômica representa a democratização do acesso a construções sustentáveis. E, para isso, deve estar presente em programas habitacionais populares a fim de contribuir com a redução da desigualdade e garantia de condições dignas de vida, uma vez que ambientes saudáveis estão ligados diretamente à saúde humana (Silva; Silva, 2015). Integrar a sustentabilidade à produção habitacional significa, também, reduzir os índices de vulnerabilidade social.

A concepção de espaços que favoreçam a interação social, o contato com áreas verdes e a mobilidade ativa contribuem para estilos de vida mais saudáveis e integrados ao ambiente. Edifícios projetados com essa atenção consomem menos recursos e oferecem ambientes mais confortáveis aos usuários, contribuindo significativamente para a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida nas cidades. Segundo Romero *et al.* (2021), as construções sustentáveis podem ultrapassar a dimensão ambiental e afirmar-se como um instrumento de promoção da saúde pública.

A pandemia da Covid-19 evidenciou, de forma prática, a importância de projetar espaços que consideram questões relativas à saúde, o conforto e a adaptabilidade, ressaltando a atuação da arquitetura em constante interação com as condições ambientais e o comportamento humano (Romero *et al.*, 2021). A necessidade de ventilação adequada, iluminação natural e multifuncionalidade reforçam que a compreensão das dinâmicas climáticas não é apenas um instrumento teórico, mas um componente central da prática arquitetônica contemporânea.

A pesquisa *Earth Day 2020*¹⁵, realizada pelo instituto Ipsos, revelou que 71% dos

¹⁵ OLIVEIRA, Nicole. Brasileiros reconhecem que mudanças climáticas são tão sérias quanto o coronavírus. **Arayara.org**, 2020. Disponível em: <https://arayara.org/brasileiros-reconhecem-que-mudancas-climaticas-sao-tao-serias-quanto-o-coronavirus/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

brasileiros reconhecem a seriedade das mudanças climáticas assim como reconheceram a seriedade da pandemia de Covid-19. O levantamento também revelou que 74% dos entrevistados no Brasil acreditam que os governos de seus países devem priorizar ações de combate às mudanças climáticas. Esses dados demonstram um amadurecimento coletivo acerca da emergência ambiental e da necessidade de repensar a forma como se produz e se ocupa o espaço construído.

Existem diversos exemplos que demonstram a viabilidade e os benefícios das construções sustentáveis no Brasil. De acordo com Corbella e Yannas (2009), são exemplos de sustentabilidade na arquitetura os emblemáticos Hospital Sarah Kubitschek, em Salvador/BA, projetado pelo arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) em 1994, e os Edifícios residenciais no Parque Guinle, no Rio de Janeiro/RJ, projetado por MMM Roberto e Lúcio Costa entre 1948 e 1950. Entre os exemplos contemporâneos, pode-se citar o Centro de Diagnósticos da Unimed, em Goiânia/GO, executado pela Bilenge Engenharia, e o Edifício Cidade Nova, no Rio de Janeiro/RJ, projetado pelo escritório Ruy Rezende Arquitetura, ambos certificados pelo Selo de Certificação LEED.

Outra interessante construção com atenção à sustentabilidade é a Casa Eficiente em Florianópolis/SC (Figura 7), resultado da parceria estabelecida entre a Eletrosul, a Eletrobras/Procel Edifica e a Universidade Federal de Santa Catarina, por meio do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). De acordo com Lamberts *et al.* (2010), a construção da casa foi realizada em cooperação técnica via convênio para fins de divulgação de soluções de redução do impacto ambiental de ações de *marketing*.

Figura 7 — Fachadas sudeste e noroeste da Casa Eficiente



Fonte: Lamberts *et al.* (2010).

O projeto arquitetônico foi desenvolvido pelas arquitetas Alexandra Maciel e Suely Andrade, com a colaboração de pesquisadores do LabEEE, e foi aberto à visita em março de 2006. A concepção do projeto buscou atingir os objetivos de sustentabilidade, reconhecendo as exigências locais do clima e as opções mais adequadas para adaptação às condições predominantes. Para isso, a equipe se embasou em avaliações climáticas de Florianópolis para realizar a “escolha dos materiais construtivos, orientação das fachadas, disposição das aberturas para ventilação, desenho de protetores solares para sombreamento e definição de estratégias híbridas de condicionamento” (Lamberts *et al.*, 2010, p. 15).

A construção conta, ainda, com estratégias de aproveitamento da ventilação e da luz natural, aproveitamento da energia solar para o aquecimento de água e geração de eletricidade, sistema de captação de água pluvial, sistema de reuso de águas e tratamento biológico de efluentes (Lamberts *et al.*, 2010, p. 9). Estratégias que a colocam como um referencial para a elaboração do projeto arquitetônico residencial, observadas as especificidades de variação climática ambiental de cada localização.

Na escala urbana, a relação entre cada edificação e o entorno é recíproca. Ao mesmo tempo em que o entorno afeta a edificação, esta produz impacto sobre o meio circundante. Desse modo, a adequação climática das edificações não é apenas uma das formas de se orientar a concepção arquitetônica, mas uma premissa de projeto. (Lamberts *et al.*, 2010, p. 123).

Os exemplos citados refletem um avanço significativo na forma como o ambiente construído é concebido e gerido diante dos desafios ambientais no Brasil. Mas sua consolidação ainda requer esforços contínuos em pesquisa, capacitação, regulação e sensibilização para garantir que os princípios da sustentabilidade sejam incorporados de forma ampla e efetiva em mais casos. Essa rede de cooperação é o que permitirá superar entraves culturais e estruturais, permitindo à arquitetura contribuir com a transformação da sociedade.

Nesse contexto, a aplicação da sustentabilidade nas construções depende não apenas da disseminação de conhecimentos e da articulação entre diferentes setores, mas também da incorporação efetiva desses princípios nas práticas cotidianas da construção civil. Para que os avanços observados deixem de ser iniciativas pontuais e se tornem uma realidade mais abrangente, é necessário fortalecer mecanismos que promovam a adoção de soluções ambientalmente responsáveis em todas as etapas do

processo construtivo.

A consolidação dessas práticas no país demanda, além da efetivação de políticas públicas, um compromisso mais amplo dos diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva da construção civil. Isso inclui desde projetistas e construtores até fornecedores de materiais e consumidores finais, que devem reconhecer a importância de adotar soluções adequadas. Investimentos em tecnologias construtivas inovadoras, incentivo ao uso de materiais de menor impacto ambiental e estratégias de adaptação das edificações às condições naturais do território tornam-se fundamentais nesse processo.

3 METODOLOGIA

Neste Capítulo é apresentada a metodologia empregada no desenvolvimento da dissertação. São detalhadas as abordagens e as etapas da pesquisa, explicitando os procedimentos adotados para a coleta e análise dos dados, visando a transparência do processo investigativo. Além disso, busca-se evidenciar a coerência entre os objetivos propostos e as ferramentas metodológicas utilizadas, assegurando que cada etapa contribua de forma efetiva para a construção do trabalho.

3.1 ABORDAGEM DE PESQUISA

Para responder à questão de pesquisa e validar a hipótese proposta, buscou-se seguir um percurso metodológico compatível com a abordagem pensada para a pesquisa. A natureza do problema investigado reside na interação complexa e nos conflitos entre critérios de adequação ambiental e, por conta disso, demandou uma abordagem que pudesse ultrapassar a simples descrição de sistemas ou a prescrição de soluções. Deste modo, a pesquisa se fundamenta em uma abordagem de natureza qualitativa, com um delineamento crítico-reflexivo.

O enfoque é justificado pela necessidade de revelar as tensões e interdependências que caracterizam a seleção de sistemas construtivos no contexto brasileiro, em vez de buscar uma solução única e otimizada. Este tipo de pesquisa caracteriza-se pela busca de soluções práticas para problemas concretos, colocando o “pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 54). A escolha desta abordagem visou aproximar os resultados obtidos à realidade a qual eles se destinam, permitindo que o conhecimento gerado possa ser aplicado posteriormente e produzir impactos efetivos no campo estudado.

A abordagem crítico-reflexiva fundamenta-se na análise aprofundada dos fatores que influenciam o fenômeno em questão, incorporando a reflexão contínua do pesquisador sobre o processo investigativo e suas implicações. O caráter reflexivo permite a identificação de soluções e, também, a problematização das relações sociais,

ambientais e culturais envolvidas no tema abordado. Assim, a dissertação inicia-se com introdução dos elementos base para seu desenvolvimento e, na sequência, caminhando em direção aos referenciais teóricos em busca do embasamento necessário.

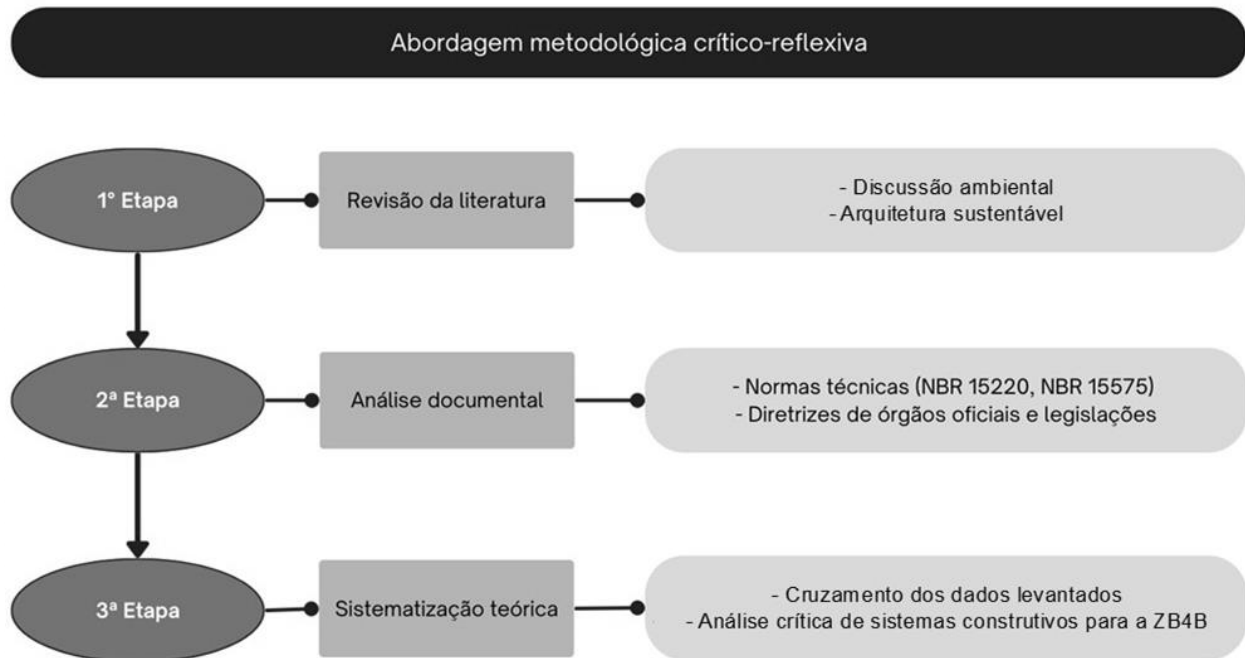
A partir da análise documental e da revisão de literatura, foi possível compreender as principais normativas, conceitos e discussões presentes em cada tema abordado. Desenvolvendo, desse modo, uma prática de pesquisa mais eficiente e alinhada às necessidades identificadas no processo de investigação da sustentabilidade aplicada à arquitetura e adaptação ao clima. Com o intuito de alcançar maior definição no delineamento do tema estudado, estabeleceu-se na pesquisa uma ordenação de ideias para construir uma argumentação que confronte os discursos sobre.

Por fim, a análise dos dados é conduzida sob a ótica crítico-reflexiva, dividindo as tarefas em etapas articuladas de forma sequencial e confrontando os achados com os referenciais teóricos e os objetivos estabelecidos. Resultando na sistematização de recomendações que possam orientar futuras iniciativas de pesquisas e projetos (Prodanov; Freitas, 2013). A estrutura a seguir detalha as etapas de operacionalização do trabalho e explicitam o caminho percorrido desde a seleção de sistemas construtivos e a definição dos critérios de análise até a sistematização dos potenciais, limitações e conflitos que constituem o cerne desta dissertação.

3.2 ETAPAS DE PESQUISA

O percurso investigativo para responder à questão de pesquisa foi operacionalizado em três etapas sequenciais e interdependentes (Figura 8). Cada etapa desempenhou um papel específico no alcance dos objetivos propostos inicialmente, resultando em um processo de investigação coeso e aplicável. A estrutura foi concebida para avançar da base conceitual para uma análise focada, culminando na sistematização crítica que permite validar a hipótese do trabalho.

Figura 8 — Fluxograma metodológico da pesquisa



Fonte: Autor (2025).

A primeira etapa de pesquisa, possui caráter exploratório-conceitual e consistiu em uma revisão aprofundada da literatura sobre o desenvolvimento do conceito de sustentabilidade e sua aplicação na construção civil e tecnologias para a adaptação climática. O objetivo foi a criação de um referencial teórico com o levantamento de fontes a fim de formar o método analítico da pesquisa. Para tanto, a revisão foi direcionada para a identificação e a construção dos critérios que definem a adequação ambiental do ambiente construído.

Foram priorizadas fontes reconhecidas e de relevância acadêmica na área, priorizando as fontes mais recentes, a fim de garantir consistência no “embasamento teórico e metodológico para o desenvolvimento do projeto de pesquisa” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 131). Além disso, esta etapa se deparou com lacunas existentes na literatura que evidenciam a necessidade de aplicação da sustentabilidade em edificações localizadas no bioma do Cerrado.

A segunda etapa correspondeu a uma análise documental do conjunto normativo e técnico relacionadas à construção sustentável no Brasil. O foco foi direcionado a documentos como a NBR 15220, que trata do desempenho térmico de edificações e do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, e a NBR 15575, que estabelece parâmetros de

desempenho para edificações habitacionais. Abordando, assim, materiais que orientam as práticas de construção sustentável, elaborados por entidades governamentais e institutos de pesquisa. Além disso, essa etapa apresenta a escolha da ZB4B como unidade de análise, que busca complementar com os estudos sobre arquitetura e sustentabilidade adaptada às características únicas da região localizada, predominantemente, sobre o Cerrado.

O objetivo dessa etapa foi compreender em que medida o conjunto normativo e técnico vigentes contemplam estratégias efetivas de sustentabilidade e adaptação ao clima, bem como identificar lacunas por meio de sobreposição e cruzamento das informações presentes nesses instrumentos. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), a análise documental crítica não se limita à interpretação literal dos textos normativos, mas também, a busca pelo confronto dos dados com o objetivo de confirmar ou rejeitar o pressuposto da pesquisa.

A partir desta abordagem, buscou-se avaliar o grau de integração entre as normas técnicas e os princípios da arquitetura bioclimática, bem como sua aderência a uma concepção mais ampla de sustentabilidade, incluindo os desafios impostos pela emergência climática atual. Esta etapa funcionou como um elo entre o conhecimento teórico levantado na revisão da literatura e a realidade prática presente no conjunto normativo e técnico vigente no Brasil. Conjunto esse que, implica de forma direta na atuação dos profissionais e demais agentes do setor econômico da construção civil.

A terceira etapa da pesquisa foi a análise dos critérios de adequação ambiental para avaliação de sistemas construtivos verticais com maior diálogo com a ZB4B. Esta fase representa o núcleo da investigação, tendo como procedimento o cruzamento dos dados levantados nas etapas anteriores, através da “sistematização metódica e objetiva de informações fragmentadas, seguida da identificação de suas relações e sequências repetitivas” (Prodanov; Freitas, 2013, p. 97).

O objetivo principal desta etapa é a sistematização dos potenciais, limitações e conflitos presentes na adoção de cada sistema construtivo analisado. Propondo, assim, um caminho aos profissionais e agentes da construção civil para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos mais responsáveis e adaptados às condições ambientais do ZB4B no Cerrado. Esta etapa fornece as evidências necessárias para validar a hipótese de que

a escolha por uma solução construtiva na ZB4B se constitui em um exercício de equilíbrio entre vetores muitas vezes divergentes, revelando a complexidade da prática projetual sustentável.

3.3 SELEÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Para a seleção de sistemas construtivos para análise na dissertação, estabeleceu-se como condição primordial a existência de uma base normativa no acervo da ABNT e, também, nos sistemas internos do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), ferramenta vinculado ao Ministério das Cidades (MCID) que busca garantir a qualidade e a produtividade do setor da construção civil¹⁶. Garantindo, assim, níveis maiores de segurança e qualidade nos processos de aplicação dos sistemas devido a padronização que essas normas estabelecem. Tal condição oferece, ainda, maior clareza para a tomada de decisões das partes envolvidas no projeto e na execução da edificação.

Inicialmente, realizou-se um levantamento por meio da consulta ao catálogo de normas vinculadas ao Comitê Técnico de Construção Civil da ABNT, a fim de identificar os sistemas construtivos que possuíam normativas publicadas e em vigor. A partir deste levantamento, realizou-se uma filtragem dos sistemas que possuíam correspondência no acervo de fichas de avaliação no Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT) do PBQP-H, que avalia segmentos do setor da construção com o objetivo de contribuir para o atendimento à norma de desempenho em edificações (Tavares, 2022).

Esse processo permitiu verificar a convergência entre a existência de normativas técnicas de sistemas construtivos e sua validação por meio de instrumentos oficiais de avaliação de desempenho em uso atualmente no setor da construção civil. Contribuindo, assim, para um recorte mais conciso da pesquisa e a consolidação de sistemas construtivos a serem analisados posteriormente. Por fim, foram selecionados os seguintes sistemas construtivos para a análise: alvenaria de vedação (bloco cerâmico e

¹⁶ SISTEMAS. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat**. Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/sistemas/>. Acesso em: 24 out. 2025.

bloco solo-cimento); concreto (bloco estrutural, moldado *in loco* e pré-moldado); *steel frame* e *drywall*; madeira engenheirada e; terra crua (taipa e adobe). Nessa seleção, optou-se por agrupar alguns sistemas construtivos na mesma categoria devido à similaridade de sua composição.

A partir dos critérios de adequação ambiental, apresentados a seguir, serão identificados os potenciais, as limitações e os conflitos ao longo da análise dos sistemas. De modo que, ao final do trabalho, essa análise será apresentada por meio de um quadro síntese da discussão com destaque para os níveis de adequação ambiental atribuídos a cada um dos critérios. Com base em modelos de análise similares presentes na NBR 15575 (ABNT, 2024b), a valoração da performance dos sistemas em cada critério no quadro irá variar entre baixo, médio e alto.

Além disso, o quadro irá evidenciar o conflito central identificado na discussão das análises de cada um dos sistemas construtivos. Ao confrontar os sistemas levantados, a intenção metodológica pretende ir além da mera comparação e busca construir uma análise que permita inferir uma lógica às escolhas de sistemas construtivos para a ZB4B no Cerrado.

3.4 CRITÉRIOS DE ADEQUAÇÃO AMBIENTAL

A adequação da arquitetura ao meio ambiente constitui um dos pilares fundamentais para o desenvolvimento de construções sustentáveis. Ao considerar as especificidades regionais, torna-se possível conceber projetos capazes de oferecer conforto e reduzir a dependência de sistemas artificiais de climatização (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016). Além disso, a análise de sistemas construtivos adequados às características ambientais locais visa minimizar os impactos ambientais na atuação do setor econômico da construção civil.

Recomenda-se que os empreendimentos sejam construídos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, objetivando a menor degradação ambiental, menor consumo de água, de energia e de matérias-primas. Na medida do possível, devem ser privilegiados os materiais que causem menor impacto ambiental, desde as fases de exploração dos recursos naturais até a sua utilização final (ABNT, 2024b, p. 67).

Entretanto, não há ainda uma normativa técnica que estabeleça métodos e

critérios de avaliação da adequação ambiental de edificações em vigor no Brasil (ABNT, 2024b). Essa lacuna regulatória exigiu a adaptação e o uso de outras referências correlatas disponíveis, como os trabalhos de John (2017) e Tavares (2022). Assim, a pesquisa baseou-se nas recomendações gerais presentes na Parte 1 da NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho (Quadro 1) e, sobretudo, no referencial teórico para estabelecer critérios próprios para a análise proposta.

Quadro 1 — Síntese dos requisitos gerais de adequação ambiental na NBR 15575 (ABNT, 2024b)

Projeto e implantação de empreendimentos	A implantação do empreendimento deve considerar os riscos de desconfinamento do solo, deslizamentos de taludes, enchentes, erosões, assoreamento de vales ou cursos d'água, lançamentos de esgoto a céu aberto, contaminação do ambiente natural por efluentes, entre outros.
Seleção e consumo de materiais	Os empreendimentos devem ser construídos mediante consumo racionalizado e privilegiando materiais de menor impacto ambiental, da extração de matéria-prima até a sua utilização final. No canteiro de obras deve-se fazer a gestão dos resíduos, minimizando a geração, facilitando o reuso, a reciclagem ou a disposição final adequada. Os projetistas devem avaliar junto aos fabricantes de materiais, componentes e equipamentos os inventários de ciclo de vida de seus produtos.
Consumo de água e deposição de esgotos no uso e ocupação da habitação	As águas dos sistemas hidrossanitários devem ser encaminhadas às redes públicas de coleta, evitando a contaminação do ambiente local. É recomendado que as instalações hidrossanitárias privilegiem a adoção de soluções que minimizem o consumo de água e possibilitem o reuso.
Consumo de energia no uso e ocupação da habitação	As instalações elétricas devem privilegiar a adoção de soluções que minimizem o consumo de energia, entre elas a utilização de iluminação e ventilação natural e de sistemas de aquecimento baseados em energia alternativa.

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2024b). Adaptado pelo autor.

A norma estabelece, de forma sucinta, fatores para a busca da sustentabilidade nas edificações como a durabilidade, a manutenibilidade e o impacto ambiental. Além disso, também apresenta requisitos para a habitabilidade nas edificações: estanqueidade; desempenho térmico, acústico e lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico (ABNT, 2024b). Esses aspectos serviram de ponto de partida para a proposição de critérios de adequação ambiental, buscando preencher a lacuna admitida pela NBR 15575 e, assim, possibilitar a análise dos sistemas construtivos proposta.

Assim, para os objetivos desta dissertação, consolidou-se um método de avaliação estruturado em três critérios interdependentes, que servirão de base para a análise de sistemas construtivos e, a seguir, serão detalhados. São eles: (1) impacto ambiental, que

considera a energia incorporada, a extração de recursos e os resíduos gerados; (2) desempenho técnico, focado na resposta da edificação às demandas do clima local para garantir conforto ambiental e eficiência; (3) viabilidade socioeconômica, que abrange a adequação das cadeias produtivas locais, mão de obra disponível, custos de implementação e à sua aceitação cultural no contexto brasileiro.

O primeiro critério, desloca o foco da fase de uso da edificação para abarcar a totalidade de sua existência. Esta dimensão se alinha ao desafio mais amplo da sustentabilidade na construção civil, que envolve a mitigação dos passivos ambientais gerados pelo setor (John; Oliveira; Lima, 2007). A análise sob esta ótica considera os custos ambientais "invisíveis" de cada sistema construtivo: a energia incorporada nos materiais, os impactos associados à extração de matérias-primas, as emissões de GEEs no processo produtivo, a geração de RCD e na desconstrução, e o potencial de reutilização ou reciclagem dos componentes. Este critério representa a dimensão da responsabilidade ambiental da arquitetura.

A composição dos materiais e sistemas construtivos desempenha papel central na definição de sua sustentabilidade. De acordo com Machado (2010), avaliar a origem das matérias-primas, sua toxicidade, a possibilidade de reaproveitamento e o impacto ambiental associado à extração são aspectos fundamentais para garantir uma escolha mais consciente. Materiais naturais, de fontes renováveis e de baixo impacto de transformação tendem a apresentar maior compatibilidade com os princípios da construção sustentável. Além disso, a análise da composição deve considerar o potencial de reciclabilidade e o ciclo de vida do material, contribuindo para a redução de RCD. Assim, a durabilidade de um material ou sistema construtivo pode contribuir com a diminuição da necessidade de manutenção e da "reposição de materiais ao longo da vida de um edifício" (Santos, 2012, p. 43).

No que se refere ao processo de produção, a avaliação envolve a investigação das etapas industriais necessárias para transformar a matéria-prima em insumo construtivo (Santos, 2012). Por vezes, os processos de fabricação que demandam elevado consumo energético ou que utilizam substâncias químicas poluentes geram maiores impactos ambientais. Nesse sentido, privilegiam-se materiais cuja produção envolva tecnologias limpas, menor gasto energético e redução de GEEs. Cabe destacar

a relevância da cadeia logística na eficiência desse processo de produção, uma vez que, segundo o IPCC (2023), o transporte de materiais está diretamente ligado aos impactos ambientais produzidos pelo setor da construção civil.

O desempenho técnico, segundo critério de análise, busca avaliar a edificação como uma interface entre o usuário e o clima. Ele se refere à capacidade da solução construtiva de responder de forma passiva e eficiente às demandas do ambiente externo para garantir o conforto e a saúde dos ocupantes, minimizando a dependência de sistemas mecânicos de climatização (ABNT, 2024b). Esta abordagem, de acordo com Lamberts *et al.* (2010), está ancorada aos princípios da arquitetura bioclimática com a busca pela otimização do desempenho da envoltória das construções, considerando fatores como a inércia e a resistência térmica.

[...] a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria. Supondo que a temperatura do ar externo está mais elevada que a do ar interno, ocorrência bastante frequente no verão, a elevação da temperatura da superfície externa do fechamento induz a um diferencial entre esta e a temperatura da superfície interna, que se traduzirá na troca de calor entre as duas (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016, p. 197).

Em relação a adaptação ao clima, a inércia térmica é um dos principais pontos a serem considerados, devido à grande amplitude térmica presente na ZB4B. Nessas condições, a arquitetura deve ser planejada para mitigar os efeitos das oscilações térmicas sobre o conforto dos usuários. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2016), materiais com boa capacidade de isolamento, podem desempenhar papel relevante na manutenção de temperaturas internas mais estáveis.

Outro ponto importante ponto em relação a adaptação ao clima refere-se ao comportamento higroscópico dos materiais de construção, ou seja, a capacidade de absorver e liberar umidade do ambiente. Essa propriedade contribui para a regulação térmica no interior das edificações, por meio do transporte de calor, ar e umidade através da porosidade dos materiais construtivos (Silva; Góes, 2022). Esse ponto torna-se ainda mais relevante em climas de grande variação de precipitação, como o Cerrado. Assim, a escolha de materiais e componentes construtivos deve ser feita a partir de uma leitura crítica das condições sazonais, de modo a promover ambientes internos mais confortáveis e energeticamente eficientes.

Este critério representa, em suma, a dimensão da performance da arquitetura no ambiente natural. A adequação da arquitetura ao clima é resultado da articulação entre fatores técnicos e ambientais que, quando considerados de maneira integrada, permitem a criação de construções mais sustentáveis e resilientes. Dessa forma, projetar edificações que incorporem tais fatores significa alinhar a prática arquitetônica às demandas contemporâneas de sustentabilidade, eficiência e respeito às condições ambientais locais.

Por fim, o terceiro critério busca analisar a viabilidade socioeconômica dos sistemas construtivos na realidade social e econômica da ZB4B, focando especialmente nas questões relacionadas ao Cerrado. De nada adianta uma solução ser exemplar em desempenho e impacto se ela for inexecutável ou inadequada à sua realidade de inserção. Este critério avalia a inserção do sistema nas cadeias produtivas existentes, a disponibilidade e o custo de materiais e equipamentos, a necessidade de mão de obra e o grau de qualificação exigido, bem como sua aceitação cultural.

Conforme apontam Mascaró e Mascaró (2005), as decisões de projeto têm implicações diretas nos custos e na viabilidade da construção, tornando este um fator indissociável da prática arquitetônica. Este fator representa a dimensão da praticabilidade da arquitetura. E, fatores como a durabilidade e a disponibilidade regionais dos materiais contribuem para essa análise, tanto sob o ponto de vista ambiental quanto econômico.

O uso de insumos locais reduz impactos associados ao transporte, valoriza recursos da região e contribui para a construção de uma identidade arquitetônica própria. Além disso, optar por materiais que apresentem boa durabilidade frente às condições climáticas específicas evita patologias construtivas e amplia a vida útil das edificações. De acordo com Machado (2010), a durabilidade, está relacionada diretamente com a capacidade dos materiais resistirem à ação do clima, como ciclos de umidade e seca, incidência solar intensa ou variações bruscas de temperatura, evitando a necessidade de manutenções frequentes e, portanto, reduzindo custos ao longo do tempo.

A articulação destes três critérios forma a base metodológica para a análise crítico-reflexiva da pesquisa, investigando a hipótese da pesquisa na ZB4B. Dessa forma, os critérios de adequação ambiental revelam-se indispensáveis para assegurar soluções arquitetônicas eficientes, sustentáveis e integradas ao contexto local. É nessa

intersecção e no conflito entre eles que residem os potenciais, limitações e conflitos do projeto sustentável, foco principal da dissertação. Por fim, espera-se superar uma abordagem meramente catalográfica, demonstrando como a ponderação entre os critérios de adequação ambiental podem influenciar na seleção de sistemas construtivos.

4 ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Neste Capítulo é apresentada análise documental da pesquisa, a partir de uma revisão de literatura sobre estratégias bioclimáticas e ferramentas possíveis para adaptação da arquitetura ao contexto local.

4.1 DINÂMICAS CLIMÁTICAS

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2016), o clima pode ser compreendido como a média das condições atmosféricas em uma região ao longo de um extenso período de tempo. Sendo um dos elementos fundamentais para a vida no planeta, o clima influencia diretamente os ecossistemas, a disponibilidade de recursos naturais e a forma de organização dos seres vivos. Por conta disso, “os estudos climáticos assumem papel de grande importância nas relações entre homem e ambiente e, [...] são considerados vitais em sua própria dinâmica e essência física” (Vecchia; Tech; Neves, 2020, p. 5). Esse sistema complexo e dinâmico é resultado da interação entre diferentes fatores climáticos globais, como: radiação solar, latitude, altitude, ventos e massas de água e terra (Romero, 2013).

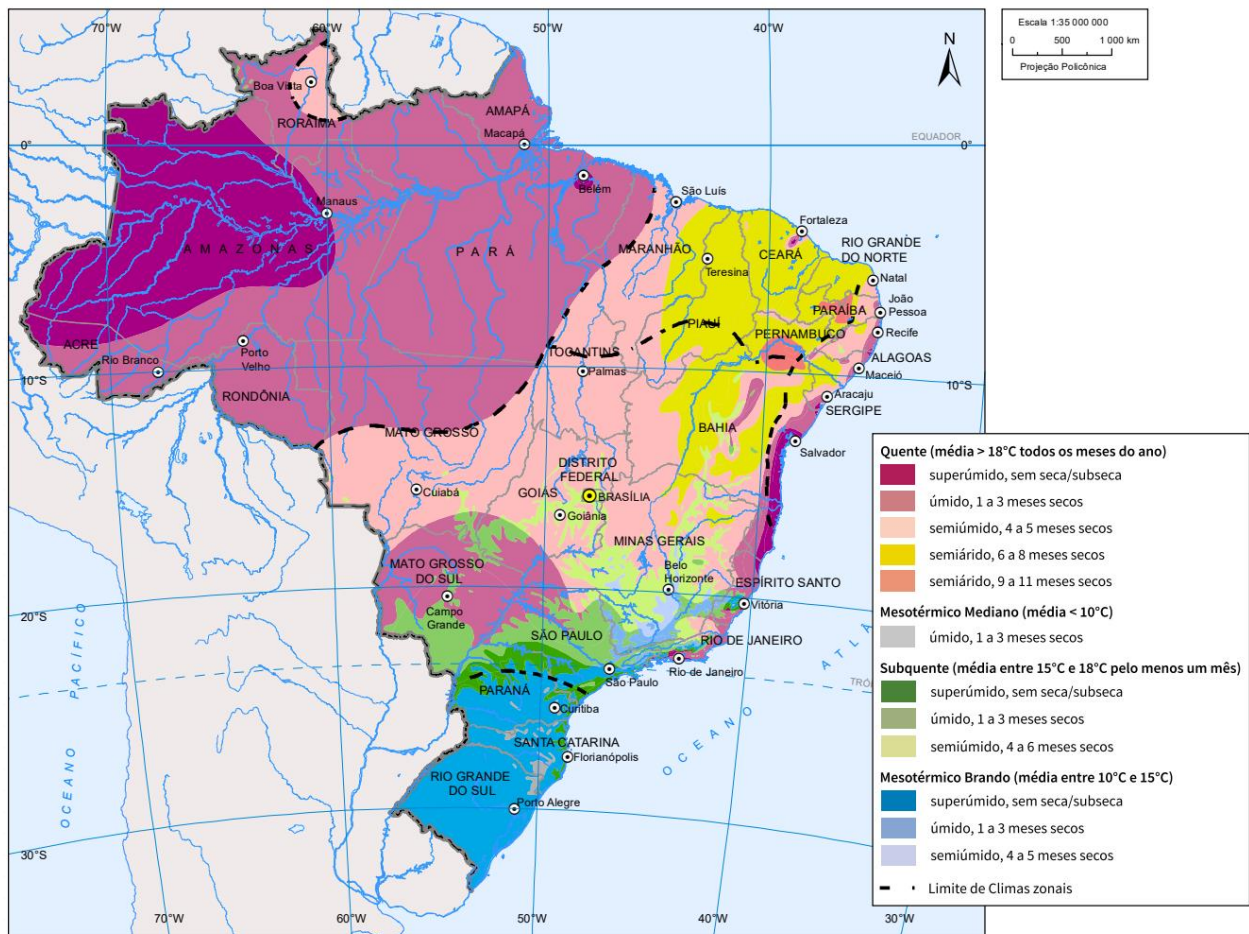
A combinação desses diferentes fatores gera uma grande diversidade de climas, devido a singularidade dos aspectos climáticos presentes em cada território. Segundo Romero (2013), em âmbito local, essa diversidade climática se evidencia, ainda, pela ação de fatores como a condição topográfica, as particularidades da vegetação e o tipo de superfície do solo. São esses fatores que formam os elementos climáticos como a temperatura (valores médios, variações, valores extremos, amplitude térmica), a umidade (absoluta, relativa, pressão de vapor), o movimento do ar (velocidade, direções, mudanças diárias e estacionais) e a precipitação.

Os fatores e elementos que configuram o clima estão interligados e se influenciam mutuamente, operando de forma simultânea no planeta (Romero, 2013). Esse conjunto de variáveis formam a base para diferentes modelos de classificação geral do clima no planeta. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2016), o zoneamento de Köppen-Geiger é um dos modelos mais aceitos e adaptados para a elaboração de mapas

climáticos de instituições e órgãos oficiais como, por exemplo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este zoneamento diferencia os climas mundiais em cinco agrupamentos principais com subdivisões baseadas nos padrões de precipitação e temperatura sazonais.

De acordo com o IBGE (2002), estão presentes no Brasil cinco diferentes Zonas Climáticas: Equatorial, Tropical Zona Equatorial, Tropical Nordeste Oriental, Tropical Brasil Central e Temperado. Em uma definição mais detalhada do IBGE, os climas são representados em quatro agrupamentos definidos pela temperatura e umidade (Figura 9). São os climas: 1) Quente, variando entre superúmido, úmido e semiárido; 2) Mesotérmico Mediano, úmido; 3) Subquente, variando entre superúmido, úmido e semiúmido; 4) Mesotérmico Brando, variando entre superúmido, úmido e semiúmido.

Figura 9 — Mapa de climas do Brasil



Fonte: IBGE (2002).

A variedade climática brasileira, marcada por zonas distintas com grandes variações de temperatura e umidade, se deve à extensão do território nacional e a sua localização entre os Trópicos de Câncer e de Capricórnio (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016). Por esse motivo, o clima exerce um papel determinante na forma como os espaços geográficos são ocupados em cada região, demandando estratégias específicas de manejo dos recursos naturais e de organização espacial. Relação que tem correspondência direta nas dinâmicas socioeconômicas em diferentes âmbitos da sociedade.

A influência do clima nas atividades antrópicas no planeta pode ser observada nas mais diferentes escalas espaciais de organização social. Tanto em zonas rurais quanto urbanas, as condições climáticas predominantes em cada região são preponderantes para seu desenvolvimento. Segundo Vecchia, Tech e Neves (2020), questões como a produção de alimentos, a geração de energia e a distribuição da população no planeta são influenciadas diretamente pelos fatores climáticos.

As variações inesperadas do clima, no caso, os eventos extremos, podem ter implicações no desenvolvimento de uma sociedade uma vez que rompem com o comportamento habitual dos elementos climáticos e consequentemente com o funcionamento habitual da sociedade (Vecchia; Tech; Neves, 2020, p. 59).

Compreender as dinâmicas relacionadas ao clima tem se mostrado, cada vez mais, uma necessidade prática para a formulação de estratégias de adaptação e mitigação diante da atual emergência ambiental. De acordo com o IPCC (2023), os principais impactos vêm dos setores de energia, indústria, transporte, edificações e agricultura. Ainda que o clima apresente padrões estáveis de condições naturais em determinadas regiões ao longo do tempo, ele não é estático. Há continuamente uma resposta às alterações de seus componentes, sobretudo com a intensificação da ação humana nesse sistema.

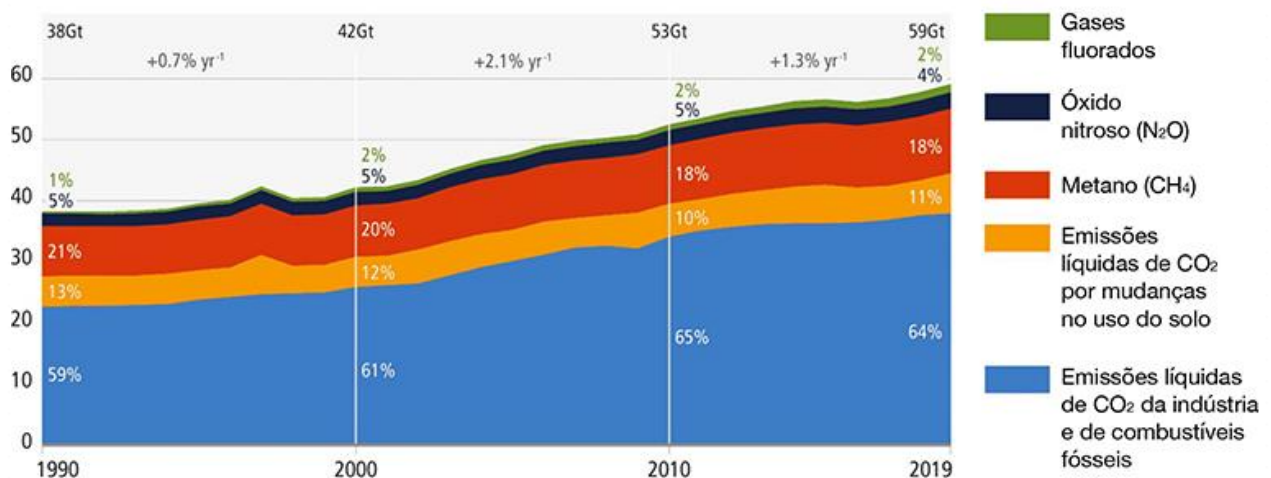
De acordo com Vecchia, Tech e Neves (2020), as mudanças climáticas ao longo da história geológica da Terra foram capazes de produzir efeitos de diferentes intensidades, alterando os cenários climáticos e, consequentemente, influenciando no desenvolvimento da vida. Os autores ainda ressaltam que parte das alterações ocorridas podem ser associadas às ações antrópicas, sendo o principal exemplo disso, a concentração de GEEs na atmosfera.

A intensificação do fenômeno do Efeito Estufa tem gerado mudanças generalizadas e rápidas em todo planeta (IPCC, 2023). Essas alterações provocam perdas e danos relacionados ao ambiente natural como: a perda de biodiversidade; o aumento da temperatura média global e do nível dos oceanos; a intensificação de eventos climáticos extremos; o degelo em regiões polares; a alteração no regime de chuvas e; a desertificação de regiões. Para além dos ecossistemas, o AR6 também alerta sobre os riscos relacionados à saúde e bem-estar; a disponibilidade de água e produção de alimentos; a cidades, assentamentos e infraestrutura.

Entretanto, mesmo com o conhecimento público da situação, a emissão dos GEEs segue uma curva crescente nas últimas décadas, conforme indicam os dados do IPCC (Figura 10). No relatório são analisados os gases fluorados, o óxido nitroso (N_2O), o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). No gráfico, é possível verificar que mais da metade da emissão total de gases poluentes na atmosfera vem do CO_2 , com valores na casa dos bilhões de toneladas anuais. Esse gás é produzido, principalmente, por meio da combustão de combustíveis fósseis, processos industriais, uso da terra, mudanças do uso do solo e silvicultura.

Figura 10 — Emissões globais de GEEs

Em bilhões de toneladas (Gt) de CO_2 equivalente/ano; no período 1990-2019



Fonte: IPCC AR6 WG3/Jornal da USP, 2022. Adaptado pelo autor. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/emergencia-climatica-solucoes-existem-mas-e-preciso-agir-agora/>. Acesso em: 11 jul. 2025.

As consequências de fenômenos como o Efeito Estufa atingem de forma

desproporcional as comunidades mais vulneráveis, uma vez que esses assentamentos têm menor contribuição histórica com a mudança climática observada. Além disso, parte dessa população enfrenta condições econômicas desfavoráveis, um resultado advindo de processos socioeconômicos na formação territorial (Vecchia; Tech; Neves, 2020). Fator que, em muitos casos, leva as comunidades a ocuparem áreas de risco ambiental, tornando-as mais expostas a intensificação dos eventos climáticos.

A relação entre clima e a vida humana expressa-se de modo particular na arquitetura, em sua função primordial de mediar a relação entre o ser humano e o ambiente natural (Corbella; Yannas, 2009). No contexto atual, em que as cidades concentram grande parte da população, as edificações deixaram de ser simples abrigos e passaram a desempenhar múltiplas funções, atendendo a demandas complexas de habitação, trabalho, lazer e mobilidade. Contudo, essa mudança não elimina a dependência da arquitetura em relação ao clima, pois as dinâmicas climáticas continuam a exercer forte influência sobre as edificações e sobre a qualidade de vida dos usuários.

A diferença está no fato de que, muitas vezes, os avanços tecnológicos criaram uma falsa sensação de independência em relação às condições naturais, substituindo estratégias passivas de adaptação climática pelo uso intensivo de sistemas artificiais de controle. De acordo com Corbella e Yannas (2009), essa prática resultou em construções de alto consumo energético, frequentemente desconectadas das características ambientais do entorno. Edifícios revestidos de vidro em regiões tropicais, por exemplo, expõem-se ao excesso de radiação solar direta e dependem fortemente de sistemas de ar-condicionado para garantir conforto térmico, gerando uso exacerbado de energia.

A adoção de soluções arquitetônicas que aproveitam as dinâmicas climáticas locais permite reduzir significativamente o impacto ambiental e proporcionar espaços mais saudáveis e confortáveis. Compreender as dinâmicas climáticas torna-se essencial para a prática arquitetônica contemporânea, onde as análises de parâmetros naturais locais oferecem subsídios aos profissionais na criação dos espaços (Vecchia; Tech; Neves, 2020). Possibilitando assim, o planejamento e a execução de edificações sensíveis a fatores do ambiente como insolação, direção e intensidade dos ventos, variações de temperatura, níveis de umidade e padrões de precipitação.

O cenário das mudanças climáticas globais amplia ainda mais a responsabilidade

da arquitetura, exigindo que as edificações e os espaços urbanos sejam projetados com maior capacidade de resiliência. Isso implica na criação de estruturas que contribuam com a mitigação dos impactos ambientais e, também, resistir às adversidades como o aumento da frequência de ondas de calor, tempestades intensas, enchentes e secas prolongadas. De acordo com Machado (2010), esse contexto reforça a importância de uma abordagem integrada, em que as soluções projetuais dialoguem com as dinâmicas climáticas para reduzir impactos negativos e promover maior equilíbrio ambiental.

Pensar as dinâmicas climáticas na arquitetura significa, portanto, reconhecer a interdependência entre sociedade e natureza. O clima não é um dado externo ao qual o ser humano adapta-se passivamente, mas um elemento em constante interação com as atividades humanas. Conforme destaca Corbella e Yannas (2009), a arquitetura deve ser compreendida como um instrumento capaz de mediar essa relação e contribuir para um futuro mais equilibrado.

4.2 ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRASILEIRO

Criada em 2005, a primeira edição da NBR 15220: Desempenho térmico de edificações¹⁷ tinha como objetivo o estabelecimento de requisitos para garantir maior eficiência energética e conforto ambiental nas construções. Dividida em três partes, a publicação representou um importante avanço para a aplicação dos princípios de práticas sustentáveis no setor da construção civil, sobretudo na etapa de projeto de edificações. Segundo Borges, Sarmiento e Carvalho (2017), a Parte 3 instituiu uma das ferramentas mais essenciais da normativa, um modelo de divisão do território nacional em Zonas Bioclimáticas que orientavam as diretrizes de construção para habitações unifamiliares de interesse social.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBB), desenvolvido com base na Carta Bioclimática de Givoni e nas Planilhas de Mahoney (ABNT, 2005), organizava o território nacional em delimitações diferentes da divisão política estadual e regional. O modelo tomava como critério para a formação territorial das zonas a hegemonia de variáveis

¹⁷ ZONAS Bioclimáticas. **LabEEE**. Disponível em: <https://projeteee.mme.gov.br/glossario/zoneamento-bioclimatico-brasileiro/>. Acesso em: 20 ago. 2025.

climáticas médias mensais de umidade relativa do ar e de temperaturas máximas e mínimas. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2016), a partir desses estudos foram indicadas estratégias bioclimáticas e diretrizes construtivas recomendadas para o projeto e construção em cada local.

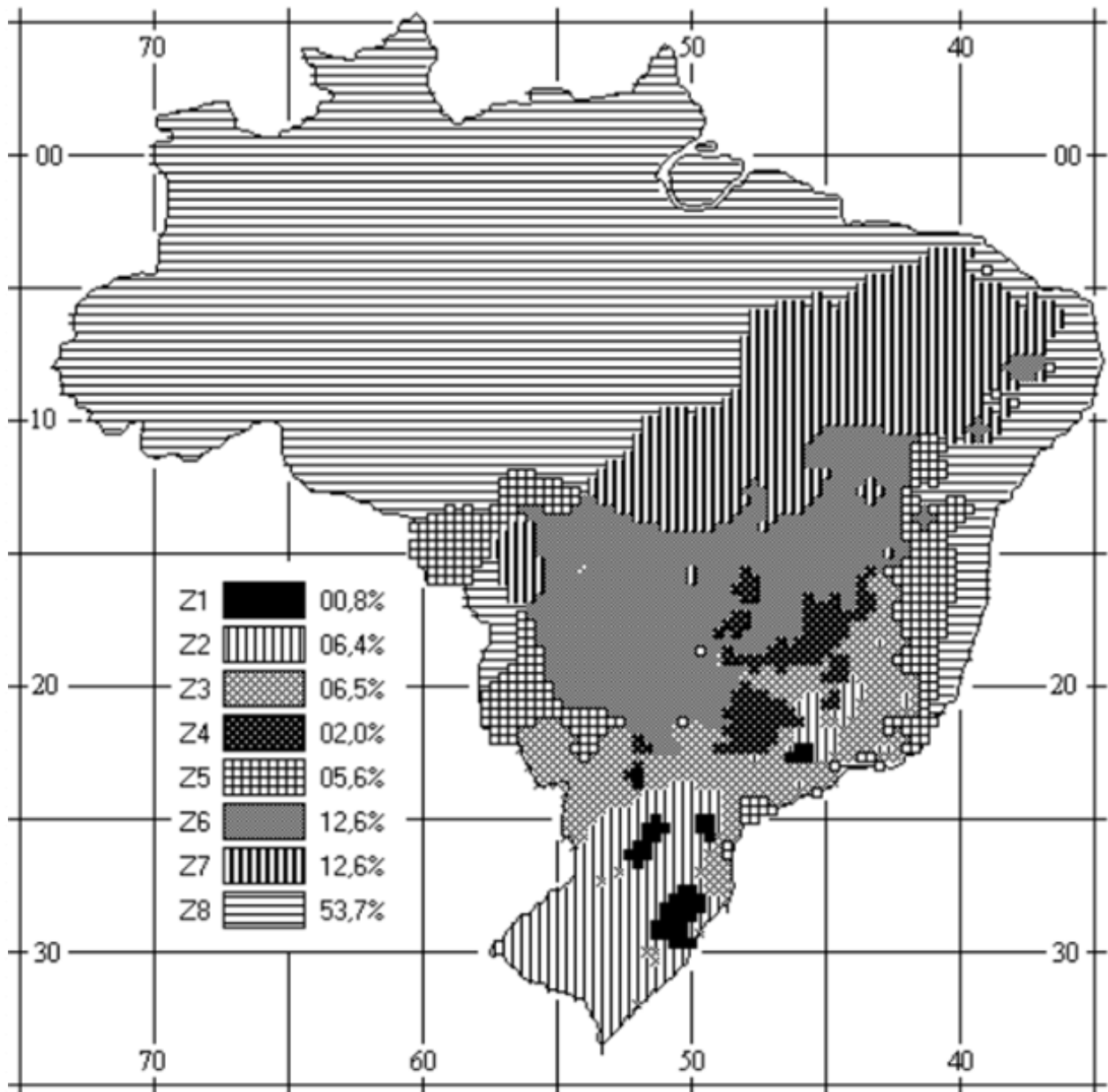
As diretrizes construtivas são específicas para cada zona bioclimática e a avaliação é prescritiva, realizada com base na verificação do atendimento de cada parâmetro identificado pela norma, a saber: tamanho das aberturas para ventilação (expressas como percentual de área de piso); proteção das aberturas; vedações externas, parede externa e cobertura, informando o tipo de vedação (leve ou pesada, refletora ou isolada); estratégias de condicionamento térmico passivo (Lamberts *et al*, 2010, p. 21).

O Brasil possui grande diversidade ambiental ao longo de seu território, com diferentes biomas e climas que, resultou em uma organização do país em oito Zonas Bioclimáticas na primeira edição da NBR 15220. Com diferentes características e diretrizes construtivas, a norma apresentava ainda uma listagem com 330 cidades que receberam análise individualizada, com sua classificação dentro do modelo de zoneamento e metodologia usada para essa determinação. A proposta do ZBB de 2005 (Figura 11) cumpriu um importante papel na melhoria do processo de desenvolvimento de projetos das habitações populares visando o desempenho térmico (Roriz, 2012), contribuindo, assim, com a melhoria da relação entre os ambientes construído e natural no país.

Devido à relevância desse instrumento, os estudos sobre seu uso e aplicação nos anos seguintes suscitou propostas de aperfeiçoamento de pontos presentes na primeira edição da norma. De acordo com o LabEEE¹⁸, a revisão da NBR 15220 visava aplicar novos indicadores presentes na NBR 15575: Edificações Habitacionais — Desempenho, publicada em 2008, e contemplar as edificações não residenciais na normativa.

¹⁸ ZONEAMENTO Bioclimático Brasileiro. **LabEEE**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/zoneamentobioclimatico>. Acesso em: 20 ago. 2025.

Figura 11 — Zoneamento bioclimático brasileiro (2005)



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

A discussão sobre a revisão deu-se principalmente em espaços técnicos e acadêmicos, por meio de Grupos de Trabalho e colaboração entre pesquisadores (Walsh; Cóstola; Labaki, 2023). Lançada em dezembro de 2024, a segunda edição da norma de desempenho térmico representa um avanço na compreensão das implicações do clima brasileiro no ambiente construído. A Parte 3 da NBR 15220 recebeu uma alteração no título, passando a ser nomeada como “Zoneamento bioclimático por desempenho”,

indicando assim, a ampliação das diretrizes apresentadas às habitações unifamiliares de interesse social para as demais tipologias edilícias.

Sendo um dos pontos mais importantes dessa revisão, o novo modelo de ZBB foi elaborado com base em arquivos climáticos de alta resolução e indicadores precisos¹⁹, obtidos por meio de recursos computacionais. Os arquivos utilizados foram do tipo *Typical Meteorological Years* (TMY), que fornece dados meteorológicos-horários elaborados a partir da metodologia descrita na ISO 15927-4:2005²⁰ (ABNT, 2024a). Os referidos dados são disponibilizados de forma gratuita pela plataforma *Climate One Building*²¹ que, compila informações climáticas de organizações públicas internacionais e auxilia no desenvolvimento de normas, pesquisas e programas de simulação.

O zoneamento bioclimático foi construído a partir de análises realizadas com base nos dados climáticos e nos agrupamentos considerando determinados indicadores de desempenho, como o percentual de horas de ocupação dentro de uma faixa de temperatura operativa estabelecida (PHFT), a carga térmica para resfriamento (CgTR) e aquecimento (CgTA), conforme a ABNT NBR 15575-1, e o percentual de horas ocupadas em que a umidade é inferior a 30 % (PHUi30) e superior a 70 % (PHUs70) (ABNT, 2024a, p. 5).

A mudança no modelo de divisão do ZBB buscou corrigir problemas do antigo método, onde os agrupamentos de pontos nem sempre correspondiam ao conjunto de orientações da zona em que foi inserido. Além disso, segundo Roriz (2012), as oito Zonas Bioclimáticas propostas inicialmente não abarcavam as diferenciações existentes no território nacional. Foram utilizados como critério de classificação os dados TMY.2007-2021 que refletem com mais precisão a diversidade climática observada no Brasil, devido à sua atualidade temporal e diversidade de informações oferecidas (Walsh; Cóstola; Labaki, 2023).

Essa revisão permitiu aproximar os parâmetros normativos das reais condições ambientais, evitando generalizações que comprometiam a eficácia das diretrizes projetuais e resultando em um novo ZBB (Figura 12). Além disso, a segunda edição da norma passou a listar todas as cidades brasileiras na classificação de Zonas

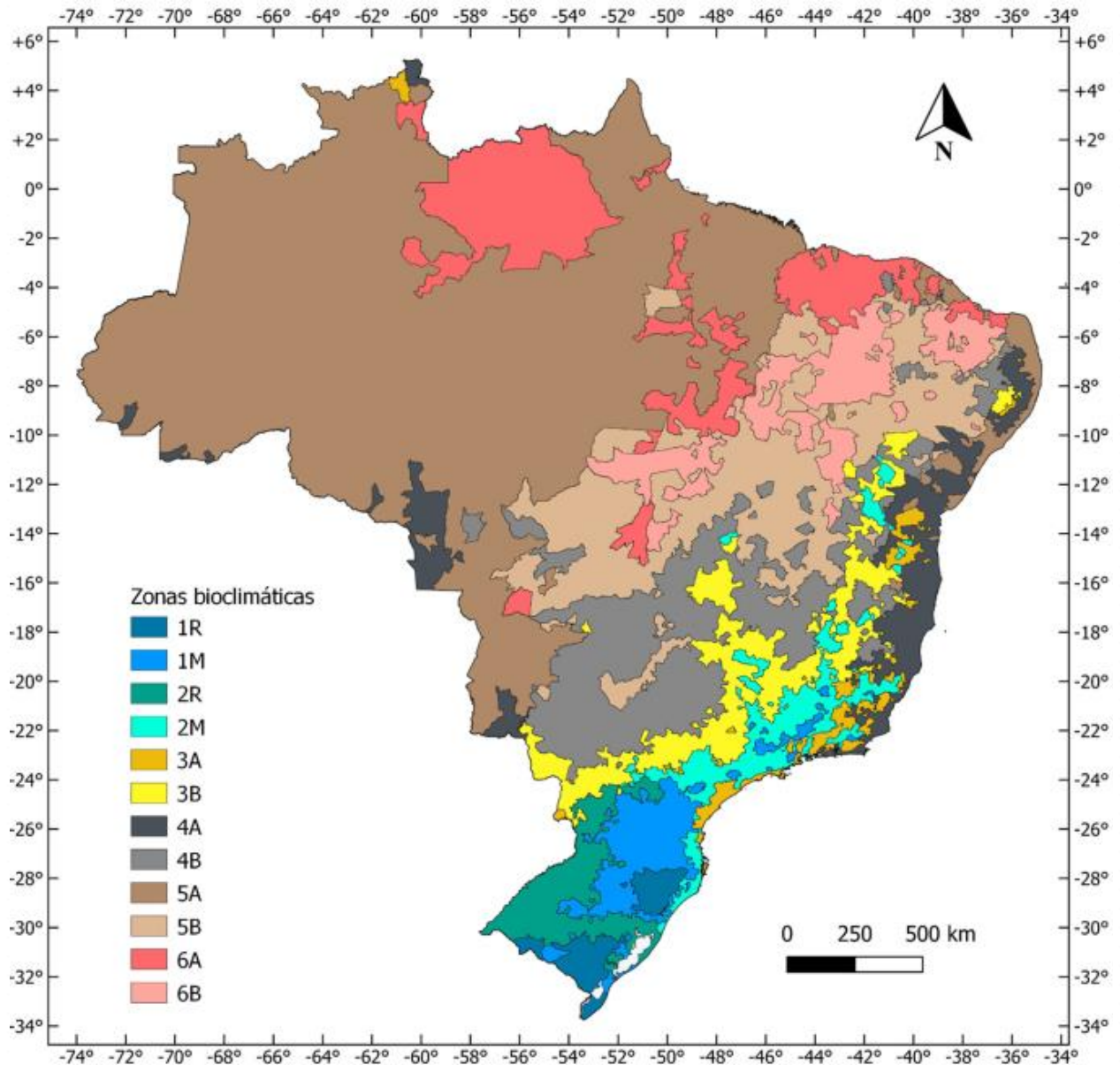
¹⁹ ZONEAMENTO Bioclimático Brasileiro. **LabEEE**. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/pt-br/zoneamentobioclimatico>. Acesso em: 20 ago. 2025.

²⁰ ISO 15927-4:2005, *Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data - Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling*.

²¹ REPOSITORY of Building Simulation Climate Data. **Climate One Building**. Disponível em: <https://climate.onebuilding.org/>. Acesso em: 28 ago. 2025.

Bioclimáticas, cooperando para a redução dos “níveis de incerteza ao mapa resultante” (Roriz, 2012, p. 1), e possibilitando a tomada de decisões mais adequadas por parte dos profissionais da construção civil.

Figura 12 — Zoneamento bioclimático brasileiro (2024)



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2024a).

Com doze subdivisões, a NBR 15220 atual organiza o novo ZBB em seis agrupamentos, levando em consideração as variações de carga térmica de aquecimento nas zonas “muito fria” e “fria”, enquanto que nas demais são consideradas as variações

de umidade relativa (ABNT, 2024a). As doze zonas são: 1R - Muito fria com inverno rigoroso (cidade representativa: Canela/RS); 1M - Muito fria com inverno moderado (cidade representativa: Curitiba/PR); 2R - Fria com inverno rigoroso (cidade representativa: Porto Alegre/RS); 2M - Fria com inverno moderado (cidade representativa: São Paulo/SP); 3A - Mista e úmida (cidade representativa: Florianópolis/SC); 3B - Mista e seca (cidade representativa: Brasília/DF); 4A - Levemente quente e úmida (cidade representativa: Rio de Janeiro/RJ); 4B - Levemente quente e seca (cidade representativa: Goiânia/GO); 5A - Quente e úmida (cidade representativa: Recife/PE); 5B - Quente e seca (cidade representativa: Cuiabá/MT); 6A - Muito quente e úmida (cidade representativa: Fortaleza/CE); 6B - Muito quente e seca (cidade representativa: Petrolina/PE).

Cada uma das zonas é apresentada com mapa e informações gerais, uma vez que a norma possui um anexo com dados completos de todos os municípios brasileiros situados nas diferentes divisões bioclimáticas (ABNT, 2024a). Estão disponíveis para consulta os dados de latitude, longitude, altitude, média anual de temperatura de bulbo seco (TBSm)²², média anual da umidade relativa, média anual da radiação horizontal, média anual da velocidade do vento e média anual da amplitude térmica. De acordo com Lamberts *et al.* (2010), as informações são imprescindíveis para o desenvolvimento de projetos adaptado às condições ambientais do local de qualquer parte do país.

Assim, o ZBB auxilia na formulação de estratégias de conforto ambiental que utilizam fatores naturais de cada zona para adequação ao clima em busca da melhoria da qualidade de vida nos ambientes construídos. A norma fornece subsídios técnicos que orientam as decisões projetuais com melhor adequação climática, contribuindo para a redução do consumo energético e uso consciente dos recursos naturais. Dessa forma, o novo zoneamento torna-se uma ferramenta estratégica na conexão do setor da construção civil com a sustentabilidade e às políticas globais de descarbonização, conforme destaca o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS)²³.

²² Temperatura do ar medida por um termômetro com dispositivo de proteção contra a influência da radiação térmica, o bulbo seco. Temperatura expressa graus Celsius (ABNT, 2024a).

²³ NOVO zoneamento bioclimático amplia precisão e fortalece agenda de sustentabilidade na construção. **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**, 2025. Disponível em: <https://cbcs.org.br/novo-zoneamento-bioclimatico-amplia-precisao-e-fortalece-agenda-de-sustentabilidade-na-construcao/>. Acesso em: 22 out. 2025.

4.3 ZONA BIOCLIMÁTICA 4B

A ZB4B integra a classificação do ZBB presente na Parte 3 da segunda edição da NBR 15220 e, nesta pesquisa, é adotada como unidade de análise. A escolha não se dá apenas por sua abrangência territorial, que inclui importantes centros urbanos no Cerrado, mas, também, por suas características climáticas intrínsecas que expõem as tensões nas estratégias de adaptação. Dessa forma, acompanhando o movimento crescente de atenção a este bioma (Klink; Machado, 2005), busca-se suprir lacunas nos estudos sobre arquitetura e sustentabilidade na área em questão.

As áreas que compõem a zona estão concentradas, em sua maioria, em áreas dos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Além disso, possui pontos pulverizados no Paraná, Espírito Santo, Tocantins, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Ceará, Rio Grande do Norte e Piauí. Fazem parte desta zona um total de 781 cidades (ABNT, 2024a), com destaque para as cidades de Goiânia, capital do Estado de Goiás, e Campo Grande, capital do Estado de Mato Grosso do Sul. Cidades essas que, inclusive, permaneceram na mesma Zona Bioclimática após a mudança no modelo de divisão do ZBB em 2024.

Definida como uma zona levemente quente e seca, a ZB4B (Figura 13) possui temperatura média de $22,9\text{ °C} \leq \text{TBSm} < 25,00\text{ °C}$, com média anual da umidade relativa do ar externo inferior a 70,3%. Características ligadas ao bioma do Cerrado e as altitudes médias no Planalto Central que são predominantes nessa zona (Walsh; Cóstola; Labaki, 2023). Essas variáveis climáticas preliminares podem ser detalhadas com a consulta cidade a cidade, por meio do Relatório Técnico presente na NBR 15220, e confrontadas com aspectos culturais, econômicos e sociais na região.

Figura 13 — Região da zona bioclimática levemente quente e seca - 4B



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2024a).

De acordo com o IBGE, o Cerrado é o segundo maior bioma do país com 2.036.448 km² de extensão, o que corresponde a cerca de 24% da área total do território brasileiro²⁴. Presente em diferentes unidades da federação, cerca de 25 milhões de

²⁴ BRASIL em síntese. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2004. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>. Acesso em: 11 fev. 2025.

brasileiros habitando áreas do bioma²⁵, em sua maioria, vivendo em áreas urbanas. E, embora tenham passado por um processo mútuo de transformação e adaptação convivendo com o ambiente, continuam a ser condicionados pelas características naturais do bioma.

Em meio a esse quantitativo populacional que habita o Cerrado, se destacam as conexões entre a comunidade e sua cultura, seu cotidiano e suas práticas sociais (Pelá; Castilho, 2010). O bioma está presente na alimentação com o consumo de frutos nativos, como o pequi e o baru; nas práticas tradicionais de medicina baseadas em espécies locais, comum entre raizeiras e benzedadeiras; e nas manifestações culturais como e festas e rituais que celebram a biodiversidade regional.

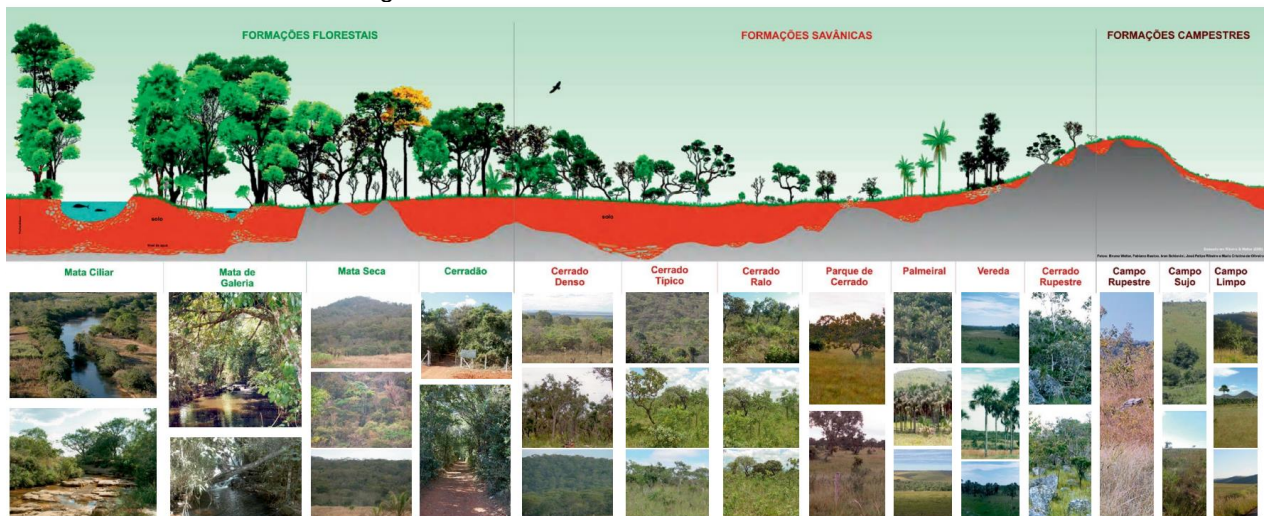
O Cerrado possui uma rica diversidade de espécies de seres vivos²⁶ distribuída em uma paisagem que possui formações que variam entre vegetações florestais, savânicas e campestres. Segundo Ribeiro e Walter (2008), essas formações compreendem diferentes fitofisionomias (Figura 14), classificadas em onze categorias: mata ciliar, mata de galeria, mata seca, cerradão, cerrado *sensu stricto*, parque de cerrado, palmeiral, vereda, campo sujo, campo limpo e campo rupestre. Com toda essa diversidade de formações, o clima no Cerrado também não é único e varia a depender de fatores como posição, altitude, precipitação, incidência solar, entre outros. Por conta disso, inclusive, há sobreposição de outras Zonas Bioclimáticas em áreas de domínio do bioma (ABNT, 2024a).

De acordo com Klink e Machado (2005), o bioma possui tropical sazonal com duas estações climáticas bem definidas, sendo um período de seca entre abril e setembro e um período chuvoso que acontece entre outubro e março. As temperaturas variam entre moderadas a quentes, com médias anuais em torno de 22°C a 26°C. Essa condição climática específica requer soluções construtivas adaptadas, que proporcionem maior conforto e eficiência energética das edificações (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016).

²⁵ DIA do Cerrado: Governo Federal reforça combate ao desmatamento e proteção das bacias hidrográficas. **Secretaria de Comunicação Social**, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/09/dia-do-cerrado-governo-federal-reforca-combate-ao-desmatamento-e-protecao-das-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 22 nov. 2024.

²⁶ CERRADO. **World Wide Fund for Nature**. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/biomas/cerrado/>. Acesso em: 7 set. 2025.

Figura 14 — Fitofisionomias do bioma Cerrado



Fonte: VALDEZ, Silvia (2022).

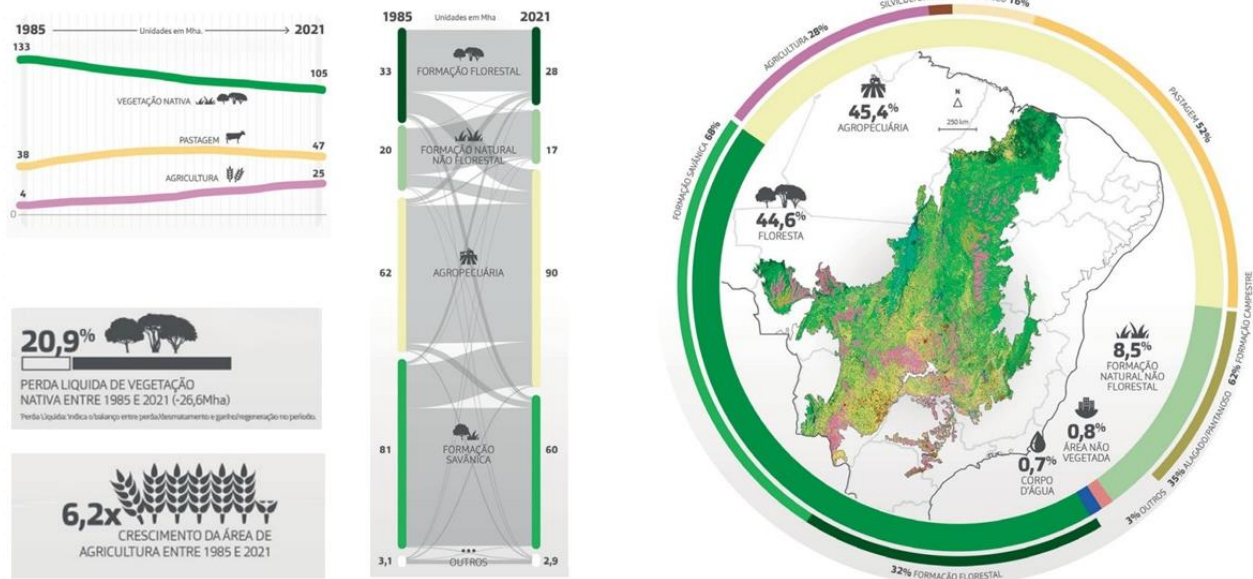
Muitas vezes considerado secundário em relação aos demais biomas brasileiros, o Cerrado sofre com a falta de reconhecimento de sua importância ecológica e da riqueza de sua biodiversidade (Pelá; Castilho, 2010). Conforme destaca a associação A Vida no Cerrado²⁷, a desvalorização do Cerrado também é reflexo das políticas públicas, uma vez que o bioma não está listado simbolicamente como patrimônio nacional na Constituição Federal (Brasil, 1988, cap. VI, art. 225). Essa visão reducionista, por vezes enxerga o Cerrado apenas como vazio ou fronteira agrícola e ignora sua função estratégica na regulação hídrica nacional e na manutenção dos serviços ecossistêmicos vitais para o país.

Levando em conta o cenário global de emergência ambiental, o Cerrado também tem enfrentado imensos desafios, com a ocupação de novas áreas pelo setor agropecuário e pela expansão urbana, colocando em risco o papel vital que o bioma desempenha na manutenção do equilíbrio ecológico no país. Segundo Klink e Machado (2005), os danos ambientais incluem a fragmentação de habitats, redução da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e alterações climáticas na região.

²⁷ BRITO, Natalia. Os desafios de um Bioma em disputa. Desmatamento e luta pela terra acirram os conflitos no coração do Brasil. **A vida no Cerrado**, 2024. Disponível em: <https://www.avidanocerrado.com/post/os-desafios-de-um-bioma-em-disputa>. Acesso em: 2 set. 2025.

A destruição de florestas, matas e savanas do Cerrado continua em ritmo acelerado. Utilizando dados de imagens do MODIS de 2002, um levantamento recente mostrou que 55% do Cerrado já foi desmatado ou transformado para uso humano (Machado *et al.* 2004b). Isso corresponde a aproximadamente 880.000km² — três vezes a área desmatada na Amazônia brasileira (Klink; Machado, 2005, p. 708, tradução própria)²⁸.

Figura 15 — Cerrado - Evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2021)



Fonte: VALDEZ, Silvia (2022). Adaptado pelo autor.

O avanço desmatamento no Cerrado²⁹ tem intensificando os problemas ambientais ao remover a cobertura vegetal, responsável pela regulação do clima local e pela proteção dos solos. A supressão de grandes áreas florestais observada nas últimas décadas (Figura 15), compromete a capacidade de regeneração natural dos ecossistemas e aumenta a emissão de GEEs. Comprometendo assim, o potencial presente na particularidade de a vegetação possuir raízes profundas que “formam uma

²⁸ The destruction of the forest, woodlands, and savannas of the Cerrado continues at a fast pace. Using MODIS imagery data from 2002, a recent survey showed that 55% of Cerrado has already been cleared or transformed for human uses (Machado *et al.* 2004b). This is about 880,000km² — three times the deforested area in the Brazilian Amazon (Klink; Machado, 2005, p. 708).

²⁹ ADELLE, Giovanna. Desmatamento do Cerrado ultrapassa o da Amazônia pela 1ª vez, aponta MapBiomas. **Portal G1**, 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/terra-da-gente/noticia/2024/05/28/desmatamento-no-cerrado-ultrapassa-o-da-amazonia-pela-1a-vez-aponta-relatorio-do-mapbiomas.ghtml>. Acesso em: 12 jun. 2025.

imensa ‘floresta subterrânea’, que torna significativa a contribuição do Cerrado em termos de absorção de carbono na atmosfera terrestre” (Santos *et. al.*, 2010, p. 4).

Em síntese, as particularidades específicas da ZB4B impõem desafios e oportunidades para os projetos a serem desenvolvidos na região, exigindo a aplicação de princípios bioclimáticos a fim de reduzir o consumo energético e minimizar os impactos ambientais. A aplicação de políticas públicas e o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas que valorizem a regionalização das soluções sustentáveis contribuem com uma construção civil mais consciente, eficiente e integrada aos condicionantes naturais. De acordo com Klink e Machado (2005), iniciativas dessa natureza aplicadas em áreas de Cerrado representam uma quebra de paradigma em relação ao histórico de desatenção aos problemas ambientais do bioma.

Dessa forma, compreender as especificidades da ZB4B torna-se imprescindível para profissionais, pesquisadores e gestores públicos envolvidos com o planejamento e execução de edificações e espaços urbanos na região. Ao respeitar as características climáticas locais e aplicar estratégias bioclimáticas adequadas, é possível avançar na consolidação de um ambiente construído que dialoga com a natureza, respeitando os limites ecológicos e atendendo às necessidades sociais. Essa perspectiva está alinhada aos tratados e documentos assinados pelo Brasil como a Agenda 21, os ODS e a NDC nacional, na busca por um futuro mais resiliente, saudável e sustentável.

4.4 FERRAMENTAS DE ADAPTAÇÃO

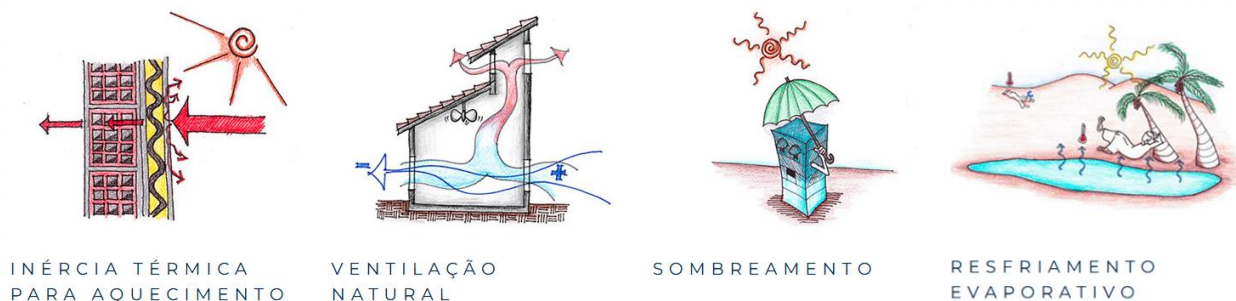
A integração da arquitetura com o ambiente representa uma das formas mais relevantes para a construção de espaços sustentáveis e resilientes. De acordo com Corbella e Yannas (2009), a adoção de práticas alinhadas ao clima local permite a redução dos impactos ambientais negativos e promoção de mais qualidade de vida aos usuários. Assim, a arquitetura deixa de ser apenas um instrumento de ocupação do território para tornar-se também um vetor de preservação e valorização da natureza, respondendo de forma equilibrada às demandas contemporâneas e dialogando com as singularidades do território.

A adaptação de construções ao clima é um caminho fundamental para garantir

conforto térmico, eficiência energética e preservação ambiental. No Brasil, o ZBB, normatizado pela NBR 15220: Desempenho térmico de edificações, oferece parâmetros técnicos para orientar o desenvolvimento de projetos arquitetônicos ajustados às características de cada região. Essa norma foi base para o desenvolvimento da plataforma *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes* (*Projeteeee*), fruto de uma parceria entre o MMA do Governo Federal e a ONU, via PNUD.

Com o objetivo de influenciar e desenvolver o mercado de eficiência energética em edificações³⁰, o *Projeteeee* é uma das principais plataformas nacionais no tema. A plataforma oferece um banco de soluções bioclimáticas personalizadas para diferentes cidades, de acordo com as características da Zona Bioclimática em que está inserida. Para fins de demonstração do potencial de uso da plataforma, tomou-se como referência neste ponto da pesquisa a cidade de Goiânia/GO por ser, segundo a ABNT (2024a), a cidade representativa da ZB4B. Assim, as estratégias de adaptação para a área propostas pelo *Projeteeee* (Figura 16), serão apresentadas ao longo deste subitem com a exemplificação de ferramentas que contribuem para sua implementação.

Figura 16 — Estratégias bioclimáticas (*Projeteeee*)



Fonte: *Projeteeee*. Estratégias bioclimáticas. Adaptado pelo autor. Disponível em: <https://projeteeee.mme.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

Definida como levemente quente e seca, a ZB4B abrange áreas predominantemente de Cerrado, marcadas pela sazonalidade bem definida do bioma (Walsh; Cóstola; Labaki, 2023). Com um período seco prolongado, de baixa umidade e forte amplitude térmica diária, e um período chuvoso, de precipitações intensas e maior

³⁰ **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. Disponível em: <https://projeteeee.mme.gov.br/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

umidade relativa (Klink; Machado, 2005). Essas variações impactam diretamente o desempenho das edificações, exigindo soluções arquitetônicas capazes de responder tanto ao excesso de calor e baixa umidade quanto à umidade alta e chuvas intensas.

A primeira ferramenta de adaptação ao clima do Cerrado apresentada, trata sobre a inércia térmica para aquecimento, isso se deve a grande amplitude térmica diária na região. No período de seca é comum que os dias alcancem altas temperaturas e, durante a noite, a temperatura tende a cair devido a elevada altitude e a baixa concentração de nuvens na atmosfera (Ribeiro; Walter, 2008), provocando variações desconfortáveis dentro das edificações. Para reduzir esse efeito, recomenda-se o emprego de materiais e sistemas construtivos com maior inércia térmica para equilibrar a temperatura interna. Dessa forma, o calor leva mais tempo para ser absorvido durante o dia e, durante a noite, o libera lentamente.

O uso de isolamento térmico em coberturas e a instalação de equipamentos que aproveitam o potencial energético solar também se destaca como uma ferramenta de aproveitamento bioclimático (Silva; Góes, 2022). Os altos índices de insolação ao longo do ano no Cerrado tornam viável a instalação de painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade e, também, a instalação de equipamentos para o aquecimento solar da água. Essa prática reduz a dependência de fontes energéticas convencionais e fortalece a autonomia energética das edificações.

A ventilação natural, segunda ferramenta de adaptação proposta pela Projeteer, é uma importante estratégia para a integração do projeto com o clima cerratense presente na ZB4B. De acordo com Silva e Góes (2022), a implantação do projeto arquitetônico no terreno é fundamental para garantir o conforto ambiental na edificação. É a partir da conformação espacial do projeto que se compreende a influência que os ventos e o sol terão na edificação, buscando reduzir a necessidade de ventilação e iluminação artificial.

Durante o período chuvoso, o aumento da umidade relativa do ar exige medidas de ventilação para controle da umidade interna garantindo salubridade aos ambientes. E, uma ferramenta fundamental para renovação do ar é a ventilação cruzada (Figura 17), possibilitando a troca eficiente do ar interno e evitando proliferação de fungos e mofo. Além de contribuir para a saúde e bem-estar dos ocupantes, a circulação natural do ar auxilia no resfriamento dos ambientes, diminuindo a necessidade de equipamentos

mecânicos de climatização (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016). Para isso, é essencial o posicionamento estratégico de aberturas, respeitando a direção dos ventos dominantes e garantindo fluxos de ar eficientes.

Figura 17 — Exemplificação de ventilação cruzada



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2016). Adaptado pelo autor.

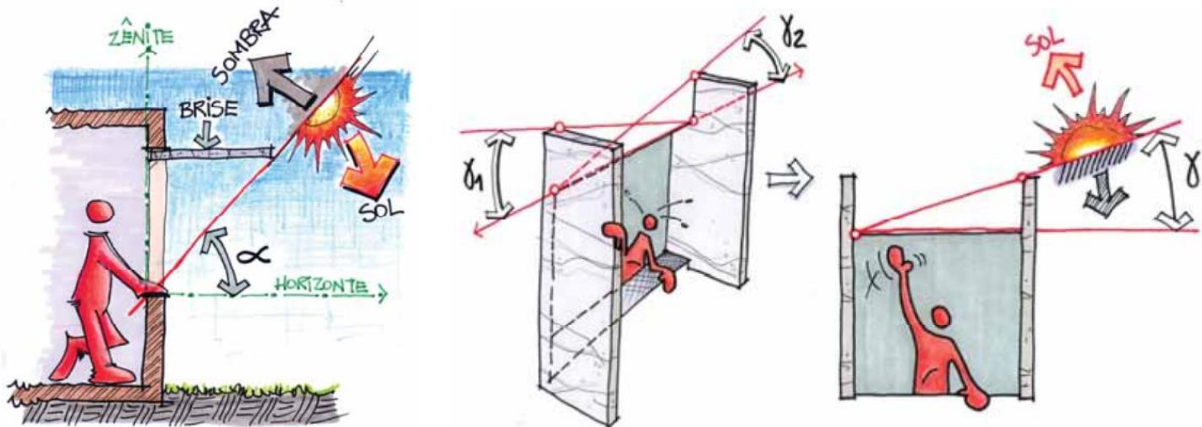
A terceira estratégia bioclimática de adaptação ao clima trata sobre o sombreamento, matéria importante na ZB4B devido às temperaturas médias elevadas (ABNT, 2024a). Assim, deve-se atentar à proteção solar para proteger a edificação do excesso de calor nos períodos mais quentes a fim de equilibrar ganhos e perdas térmicas. Elementos arquitetônicos como *brises* (Figura 18), beirais, cobogós e varandas são ferramentas de sombreamento que podem ser úteis nos períodos quentes e permitir a entrada de radiação solar nos meses mais amenos (Lamberts; Dutra; Pereira, 2016). Essa flexibilidade de adaptação presente em algumas ferramentas reforça a possibilidade de resiliência das construções diante das variações climáticas anuais no Cerrado.

O sombreamento natural proporcionado pela arborização pode, também, atuar no controle do conforto térmico das edificações, reduzindo a incidência solar em períodos de maior intensidade e favorecendo a manutenção de temperaturas mais amenas. E, além do sombreamento direto, a vegetação auxilia na absorção da radiação solar pois “grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico,

enquanto em outros materiais toda a energia absorvida é transformada em calor” (Romero, 2013, p. 13).

Entretanto, o êxito dessa articulação está diretamente ligado à escolha das espécies com características compatíveis com as condições que o clima do Cerrado oferece. Devido às diferentes fitofisionomias existentes no bioma (Ribeiro; Walter, 2008), deve-se depreender uma maior atenção à escolha das espécies em função da área em que serão alocadas. Espécies que suportam a sazonalidade ao longo do ano, tendem a ter melhor desenvolvimento, sobretudo as nativas como o mulungu, o ipê, o pequizeiro e o jatobá.

Figura 18 — Exemplificação de proteção solar horizontal e vertical



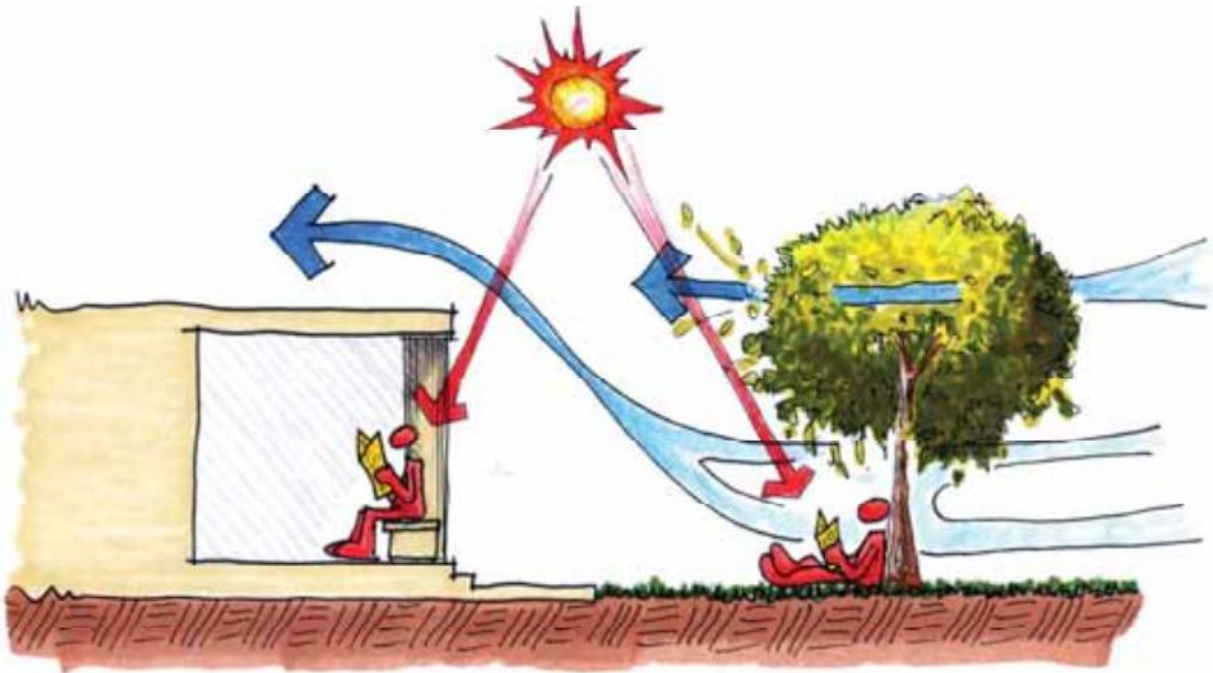
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2016). Adaptado pelo autor.

O aproveitamento da iluminação natural deve ser visto como um recurso de grande valor arquitetônico e ambiental, tornando os ambientes mais agradáveis. Quando integradas ao paisagismo externo e ao uso de materiais adequados, essas soluções ampliam a sensação de conforto e estabelecem uma conexão direta com o ambiente externo. De acordo com Romero (2013), janelas bem dimensionadas, claraboias e superfícies refletoras internas possibilitam maior entrada de luz sem excessiva exposição ao calor, favorecendo a redução do uso de climatização artificial e consumo de energia elétrica.

[...] é possível identificar as fachadas que recebem maiores radiações durante o dia e consequentemente definir a orientação adequada dos espaços internos dependendo do seu uso e os ângulos que dimensionam as proteções solares das aberturas, de acordo com os horários críticos durante o ano, nos quais não deve haver a radiação direta (Santos, 2012, p. 20).

A criação de microclimas (Figura 19) tem o potencial para incentivar o uso de espaços externos, como praças, varandas e jardins (Corbella; Yannas, 2009). Fortalecendo, assim, a relação entre as pessoas e a natureza e possibilitando o reforço da identidade regional no contexto do Cerrado. Nesse processo, a conservação da biodiversidade é assegurada, uma vez que a vegetação nativa serve de abrigo e alimento para outras espécies locais, ampliando as conexões entre o espaço construído e o natural. Segundo Romero (2013), o plantio planejado em torno das edificações pode, também, aumentar os níveis de umidade e atuar como barreira natural contra ventos intensos e como redutor de poeira e poluição atmosférica.

Figura 19 — Exemplificação de microclima



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2016).

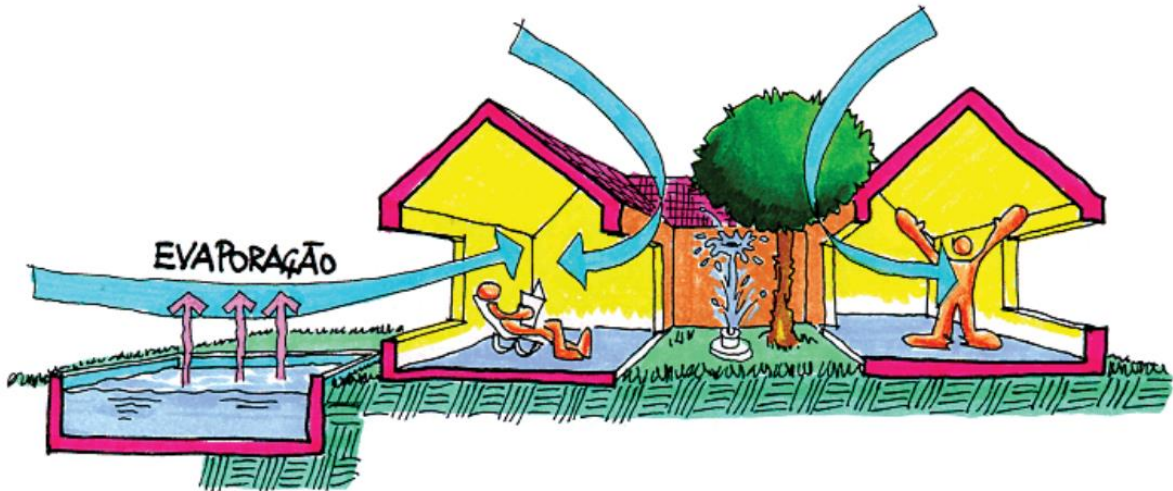
A quarta estratégia de adaptação ao clima do Cerrado na ZB4B apresentada pelo Projeteer é o esfriamento evaporativo, especialmente eficaz em períodos secos. Essa técnica se vale da evaporação da água para reduzir a temperatura do ar, podendo ser aplicada por meio de fontes, canais e superfícies úmidas posicionadas estrategicamente próximas a aberturas e áreas de circulação de ar (Santos, 2012). Quando combinada com a ventilação natural, essa ferramenta promove um resfriamento eficiente,

dispensando o uso intensivo de energia elétrica.

Quando há diferença de temperatura, o ar aquecido, mais leve, tende a subir deixando o espaço livre para ser ocupado por ar com temperatura mais baixa, que por sua vez também será aquecido e ascenderá, determinando o chamado "efeito chaminé". A intensidade do deslocamento do ar, neste caso, depende da diferença de altura das entradas e saídas de ar e da diferença de temperatura entre o exterior e o interior (Santos, 2012, p. 28).

Segundo Romero *et al.* (2021), a umidificação natural dos ambientes por meio da paisagem (Figura 20), pode ser alcançada com a previsão de jardins internos, espelhos d'água, superfícies vegetadas e uso de materiais permeáveis e acabamentos naturais. A integração de sistemas de paisagismo interno e externo, com espécies adaptadas, também pode atenuar os impactos da seca sobre o microclima imediato da edificação. Dessa forma, se contribui tanto para o desempenho ambiental nos períodos de calor quanto para a valorização estética dos espaços.

Figura 20 — Exemplificação de resfriamento evaporativo



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2016).

Entretanto, deve-se utilizar as ferramentas que usam recursos hídricos de forma consciente pois, apesar de ser um dos principais pontos da integração entre o ambiente construído e o natural na região, seu uso intensivo e a degradação de nascentes têm colocado o recurso sob pressão. De acordo com Santos *et al.* (2010), essas ameaças ao bioma vêm, principalmente, do setor agropecuário que segue em expansão territorial.

Segundo levantamento da Agência Senado³¹, já se identifica uma redução no volume de água de rios que nascem no Cerrado, colocando, assim, os aquíferos e o abastecimento geral em sinal de alerta.

A maior escassez de água no período seco torna a captação e o armazenamento de águas pluviais uma solução positiva que permite o aproveitamento da precipitação para fins como a irrigação de jardins e a limpeza de áreas externas (Romero *et al.*, 2021). Essa prática contribui para a redução da demanda sobre sistemas públicos de abastecimento e para a mitigação de problemas de drenagem urbana. Além disso, a adoção de sistemas de reuso de águas cinzas completam esse conjunto de ferramentas de gestão da água, favorecendo o gerenciamento integrado e responsável (Lamberts *et al.*, 2010).

A drenagem adequada das águas pluviais é igualmente imprescindível para evitar alagamentos e erosões, podendo lançar mão da integração com sistemas naturais como biovaletas, jardins de chuva e áreas permeáveis. Sistemas de calhas, condutores verticais e reservatórios de retenção devem ser projetados para armazenar e direcionar a água, permitindo sua posterior utilização ou infiltração controlada no solo. Essa prática tem potencial de proteger a edificação e contribuir para a recarga do lençol freático e mitigação de problemas urbanos.

A integração da arquitetura ao bioma do Cerrado exige um olhar atento às particularidades ambientais, climáticas e culturais dessa região. Ao adotar ferramentas e estratégias pautadas em princípios bioclimáticos e em práticas de respeito ao território, torna-se possível atenuar os impactos ambientais negativos da construção. Dessa forma, o bioma passa a ser mais que apenas um cenário sobre o qual se erguem as construções e suas características climáticas adquirem maior destaque na concepção de projetos arquitetônicos na ZB4B.

³¹ PIMENTA, Paula. Berço das águas, Cerrado tem recursos hídricos pressionados pelo desmatamento. **Agência Senado**, 2024. PressWorks. Disponível em: <https://valor.globo.com/patrocinado/pressworks/noticia/2025/06/17/construcao-civil-deixa-de-reciclar-412-milhoes-de-m3-de-residuos-por-ano.ghtml>. Acesso em: 11 ago. 2025.

5 ANÁLISE DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Este Capítulo dedica-se à análise dos sistemas construtivos selecionados na metodologia do trabalho, expondo a natureza complexa da decisão projetual na ZB4B. Cada sistema será analisado a partir dos critérios de: impacto ambiental, que considera a energia incorporada, a extração de recursos e os resíduos gerados; desempenho técnico, focado na resposta da edificação às demandas do clima local para garantir conforto ambiental e eficiência; viabilidade socioeconômica, que abrange a adequação das cadeias produtivas locais, mão de obra disponível, custos de implementação e à sua aceitação cultural no contexto brasileiro. Por fim, será apresentado um quadro com a sistematização dos potenciais, limitações e conflitos resultantes da análise realizada.

5.1 ALVENARIA DE VEDAÇÃO

De acordo com Walsh, Cóstola e Labaki (2023), a alvenaria de vedação é o sistema construtivo mais difundido na atualidade, sendo amplamente utilizado em todas as regiões do país. Nesse sistema, a alvenaria desempenha a função de vedação e compartimentação dos ambientes, enquanto a sustentação estrutural da edificação é assegurada por elementos de concreto armado, como fundações, pilares, vigas e lajes. Entre os diferentes tipos de blocos empregados nesse sistema construtivo, destacam-se o bloco cerâmico e o bloco de solo-cimento, que figuram entre as alternativas mais adotadas.

5.1.1 Impacto ambiental

A argila é a principal matéria-prima utilizada para a fabricação de blocos cerâmicos, apresenta composição mineral rica em silicato de alumínio e óxidos, o que lhe confere plasticidade e resistência após o beneficiamento. Seu processo de produção demanda extensas áreas e envolve etapas como a extração do recurso natural do solo, o beneficiamento e a queima do bloco após a modelagem em grandes fornos que consomem grandes quantidades de energia (Gomes e Lacerda, 2014). O processo de

queima pode durar várias horas até que seja atingido o cozimento ideal e, assim, libera na atmosfera gases que contribuem para o Efeito Estufa.

A retirada indiscriminada de argila, sem o atendimento às regulamentações ambientais tem potencial de comprometer a regeneração natural do solo e afetar cursos d'água, tornando-se um problema ambiental crítico. Esses pontos tornam-se mais críticos em olarias clandestinas “que utilizam mão-de-obra informal e madeira nativa extraída irregularmente como combustível, causando desmatamento e diminuição da biodiversidade” (John; Oliveira; Lima, 2007, p. 26).

Além disso, devido à natureza dessa técnica construtiva, ocorre uma considerável geração de resíduos devido às perdas e à quebra de materiais necessários para as instalações prediais. Parte dos materiais ao chegarem ao local da construção de uma obra, após passarem por todo o processo de beneficiamento e transporte, são perdidos e transformados em resíduos durante as etapas do processo construtivo. De acordo com Santos (2012), cerca de 30% desses materiais são desperdiçados por conta do método utilizado pelo sistema construtivo. O autor ainda ressalta que as perdas relacionadas com o transporte, manuseio nos canteiros de obra e demolições podem elevar esse percentual de desperdício para mais de 50% anualmente.

Já o bloco de solo-cimento (Figura 21), também usado como alvenaria de vedação, se difere por possuir um passivo ambiental consideravelmente menor. Produzido a partir da mistura de solo, cimento e água, compactado em prensas manuais ou hidráulicas, com baixo impacto ambiental por dispensar o processo de queima, reduzindo as emissões de CO² (Motta *et al.*, 2014). Além disso, o bloco não necessita da aplicação de argamassa tradicional para seu assentamento e permite que sejam embutidas as instalações elétricas e hidráulicas em seus furos, contribuindo com uma maior racionalização da construção ao reduzir o desperdício.

Entretanto, o uso do cimento em sua composição chama atenção nesta análise de impacto ambiental, uma vez que, o material contribui com a geração de altas emissões em seu processo de produção conforme aponta Pedroso (2009). Portanto, em relação ao critério de impacto ambiental, classifica-se o uso do sistema de alvenaria de vedação com bloco cerâmico como alto e, com bloco de solo-cimento como médio.

Figura 21 — Construção com bloco de solo-cimento



Fonte: Jump Hub, Jakub Cigler Architekti + Unlimited Jakub Cigler Architekti, 2024. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/1013227/o-futuro-sob-nossos-pes-tijolos-de-solo-cimento-e-o-caminho-para-uma-construcao-sustentavel>. Acesso em: 3 set. 2025. Adaptado pelo autor.

5.1.2 Desempenho técnico

O comportamento técnico da alvenaria de vedação, seja com bloco cerâmico ou com bloco de solo-cimento, é respaldada através de normativas que tratam de diferentes temas. Em relação a interação do sistema construtivo com o ambiente e o clima da ZB4B, é possível lançar mão das estratégias de conforto ambiental, assim como a simulação a elaboração de cálculos, uma vez que as normativas existentes já oferecem os dados para isso. O sistema pode ainda ser adaptado por meio de adaptações que possam melhorar sua eficiência térmica e higroscópica, características relevantes diante da amplitude térmica e da alternância entre períodos úmidos e secos.

Os indicadores presentes na ferramenta Programas Setoriais da Qualidade (PSQ), do PBQP-H, apontam que cerca de 32,6% dos blocos cerâmicos no final do ano de 2025 não estavam em conformidade com normas técnicas. Além dos blocos, outro material importante para esse sistema construtivo é a argamassa que, de acordo com a mesma

ferramenta³², possui cerca de 12,5% de sua comercialização fora de conformidade.

O bloco solo-cimento, tende a oferecer maior inércia térmica para a edificação aplicada devido a sua maior densidade, esse atributo contribui para a amenização da amplitude térmica diária que pode comprometer o conforto interno das edificações e que é muito presente na ZB4B. O bloco apresenta ainda, boa resistência mecânica e durabilidade devido a introdução de técnicas de compactação e estabilização contemporâneas. Além disso, possui capacidade de regulação térmica e higroscópica, características importantes para o clima da área de estudo. Portanto, em relação ao critério de desempenho técnico, classifica-se o uso do sistema de alvenaria de vedação com bloco cerâmico como médio e, com bloco de solo-cimento como alto.

5.1.3 Viabilidade socioeconômica

O sistema construtivo de alvenaria de vedação com bloco cerâmico possui forte viabilidade socioeconômica pois já é bastante difundido em relação aos demais sistemas construtivos. Entre os principais fatores para isso estão a disponibilidade de materiais para sua execução no mercado e a oferta de mão de obra para sua execução, por possuir mais profissionais que trabalham com este sistema, o que torna o esse serviço menos custoso em comparação aos demais. O sistema ainda possui boa aceitação na sociedade e no mercado da construção civil devido a sua difusão em relação aos demais sistemas construtivos.

Já o sistema construtivo de alvenaria de vedação com bloco de solo-cimento, possui mais dificuldades neste critério, pois não dispõe da mesma oferta de mão de obra e nem da mesma disponibilidade de materiais para compra. Entretanto, existe um potencial nesse sistema relacionado a sua produção, que pode fazer uso de recursos naturais provenientes da própria região a fim de diminuir os custos logísticos e fortalecer as economias locais. Portanto, em relação ao critério de viabilidade socioeconômica, classifica-se o uso do sistema de alvenaria de vedação com bloco cerâmico como alta e, com bloco de solo-cimento como média.

³² PROGRAMAS Setoriais da Qualidade (PSQ). **Programas Setoriais da Qualidade (PSQ)**. PressWorks. Disponível em: <https://pbqp-h.mdr.gov.br/sistemas/simac/programas-setoriais-da-qualidade-psq/>. Acesso em: 19 dez. 2025.

5.1.4 Síntese crítica

A análise conjunta dos três critérios analisados no sistema construtivo de alvenaria de vedação com bloco cerâmico expõe o paradoxo da sustentabilidade no setor da construção civil brasileira. O papel de hegemonia que o sistema ocupa não se sustenta por um desempenho ambiental superior ou por uma adequação climática muito alta, mas sim por sua excepcional viabilidade produtiva e sociocultural. Esta viabilidade se manifesta na capilaridade de sua cadeia de suprimentos, materiais disponíveis em todo o território nacional e na existência de uma vasta mão de obra familiarizada com suas técnicas.

O sistema se perpetua, assim, por uma lógica de mercado, que prioriza a previsibilidade de custos e cronogramas, a segurança dos agentes financeiros, que veem menor risco em financiar o que é padronizado, e a familiaridade de construtores e trabalhadores, em detrimento dos passivos ambientais de longo prazo. Passivos esses que poderiam ser minimizados com a adoção de sistemas construtivos diferentes, como a própria alvenaria de vedação, mas com o uso de bloco de solo-cimento.

5.2 CONCRETO

O sistema construtivo em concreto, seja pré-moldado, moldado *in loco* ou em bloco estrutural, tem forte presença na construção contemporânea, impulsionado pela disponibilidade de insumos, pela padronização dos processos e pela alta capacidade estrutural. No entanto, quando inseridos em um bioma marcado por forte sazonalidade climática, altos níveis de insolação e variações térmicas significativas, esse sistema demanda uma avaliação crítica que vá além de sua eficiência estrutural imediata. A análise da adequação ambiental do sistema é fundamental para compreender em que medida o concreto continua sendo uma solução viável, considerando o contexto de emergência ambiental.

5.2.1 Impacto ambiental

A cadeia produtiva do concreto armado é caracterizada pelo alto consumo de energia e pela emissão massiva de GEEs, principalmente na produção do cimento. O calcário, composto predominantemente por carbonato de cálcio, é um elemento chave na construção civil devido a sua utilização na produção de cimento. De acordo com John (2017), seu processo de produção, especialmente a etapa de calcinação, libera grandes quantidades de CO₂, o que faz da indústria cimenteira uma das maiores emissoras globais de GEEs. Além disso, a mineração de calcário provoca degradação de áreas naturais, afetando a biodiversidade e os recursos hídricos locais. No Cerrado, essas atividades podem agravar processos de erosão e comprometer o equilíbrio ecológico da região.

No entanto, a adaptação do uso do calcário pode ocorrer por meio da incorporação de adições outros minerais ou resíduos industriais, que reduzem a quantidade de clínquer³³ no cimento e, conseqüentemente, suas emissões (John; Oliveira; Lima, 2007). Do ponto de vista climático, a abundância regional do calcário, sobretudo nas áreas de Cerrado, favorece seu uso, mas torna imperativo o desenvolvimento de práticas de mineração controlada e tecnologias de baixo carbono.

As pedras naturais são um dos materiais naturais mais utilizados na construção civil por serem empregadas como agregados para concreto e em revestimentos, apresentando composição e formas variadas (John; Oliveira; Lima, 2007). Entretanto, a extração está associada a processos de lavra e britagem que modificam paisagens, geram poeira e ruídos, além de demandarem grandes volumes de energia.

No Cerrado, a exploração de pedreiras pode levar à supressão da vegetação nativa e à contaminação de corpos d'água, somando-se a outros impactos ambientais já intensos na região. Sua disponibilidade regional favorece o uso, mas requer políticas de extração controlada e incentivo ao uso racional, com reaproveitamento de resíduos de corte e beneficiamento a fim de evitar desperdícios e reduzir impactos ambientais. Portanto, classifica-se como alto o impacto ambiental causado pelo sistema construtivo

³³ Composto em pó utilizado na composição do cimento que, confere mais durabilidade e resistência. Produzido a partir da mistura de matérias como rocha calcária, argila e óxidos de ferro e alumínio submetidos a fornos de alta temperatura que, contribui diretamente na emissão de gases poluentes na atmosfera (Machado, 2010).

em concreto e suas variantes analisadas.

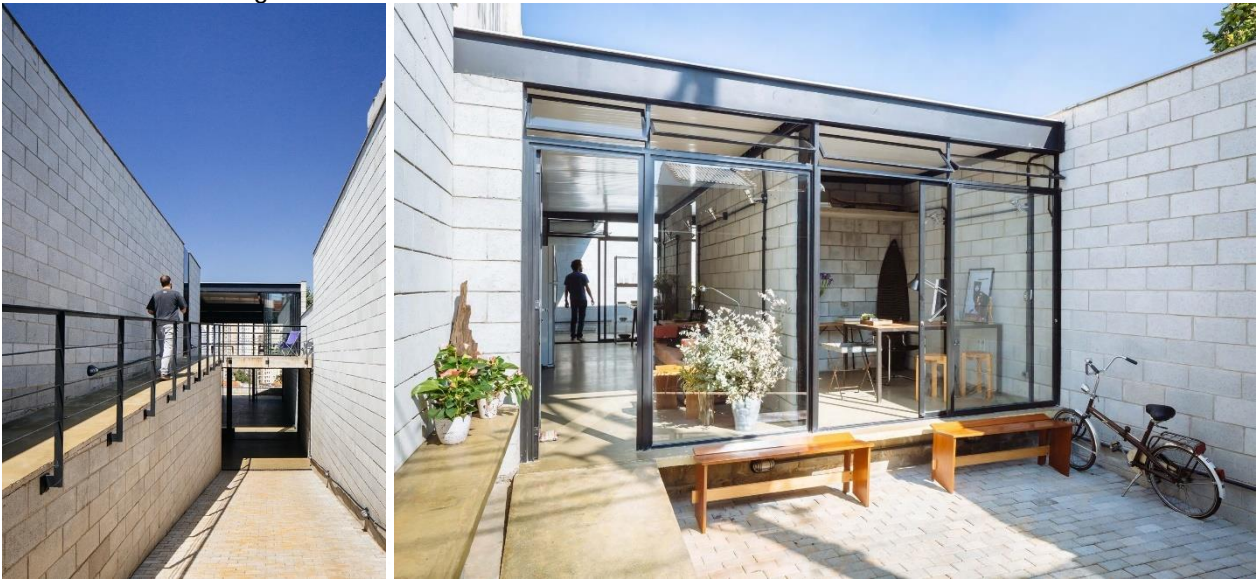
5.2.2 Desempenho técnico

O concreto pré-moldado apresenta significativo desempenho quando considerado sob a ótica da resistência mecânica e da capacidade de vencer grandes vãos, favorecendo empreendimentos industriais, comerciais e residenciais de médio e grande porte. A precisão geométrica dos elementos pré-moldados contribui para a estanqueidade e para a durabilidade da edificação, fatores relevantes diante do regime intenso de chuvas concentradas característico do Cerrado. Contudo, sua baixa inércia térmica associada à elevada condutividade térmica, exige a aplicação de ferramentas complementares de adaptação para atenuar o ganho de calor durante os períodos de forte insolação, comuns na região.

No caso do concreto moldado *in loco*, o comportamento térmico tende a ser mais consistente quando utilizados elementos espessos, capazes de atuar como massa térmica. Essa característica pode suavizar o efeito das amplitudes térmicas diárias, estabilizando a temperatura interna e reduzindo a necessidade de climatização artificial (ABNT, 2024b). Entretanto, essa vantagem depende diretamente da correta especificação do sistema, já que paredes finas, lajes não isoladas e superfícies expostas sem proteção solar podem resultar no efeito oposto, gerando ambientes sujeitos a perda de conforto térmico.

Outro fator de relevância técnica é a impermeabilidade do sistema pois, a combinação de períodos de estiagem prolongada alternando com períodos de chuvas torrenciais (Klink; Machado, 2005), exige soluções eficazes de drenagem e proteção da superfície do concreto. Peças e blocos pré-moldados em concreto (Figura 22) tendem a apresentar juntas mais vulneráveis, que requerem tratamentos específicos para evitar infiltrações, enquanto o concreto moldado *in loco* reduz a presença de pontos críticos, embora dependa amplamente da mão de obra qualificada para evitar patologias como fissuras por retração e falhas de cura. Assim, ambos os sistemas possuem bom desempenho quando executados sob rigor técnico, mas são suscetíveis a problemas quando esse rigor é negligenciado.

Figura 22 — Residência edificada com bloco estrutural de concreto



Fonte: Casa + Estúdio, Terra e Tuma Arquitetos Associados, 2014. Disponível em: <https://terraetuma.com/casaestudio/>. Acesso em: 26 out. 2025.

No que diz respeito à eficiência energética, o uso de sistemas de sombreamento, ventilação cruzada, *brises* e coberturas isoladas torna-se indispensável para que construções em concreto alcancem níveis satisfatórios de conforto passivo. Questão causada pela tendência do concreto a uma alta inércia térmica (Lamberts *et al*, 2010), fator que contribui para o ganho de temperatura da edificação. Os sistemas baseados no concreto, por si só, não oferecem resposta adequada às exigências climáticas regionais e necessitam ser complementados por soluções arquitetônicas que ampliem sua resiliência térmica. Portanto, em relação ao critério de desempenho técnico, classifica-se a performance do sistema em concreto e suas variantes como médio.

5.2.3 Viabilidade socioeconômica

A viabilidade do bloco estrutural em concreto na área analisada é elevada devido à presença de cadeias produtivas já consolidadas, mão de obra abundante e familiarizada com o sistema. O concreto pré-moldado e o moldado *in loco*, embora mais dependente de indústrias especializadas, acompanha o avanço urbano e tende a se concentrar próximos a polos regionais, facilitando a execução de obras de médio e

grande porte. Em termos culturais, tanto o concreto moldado *in loco* quanto o pré-moldado possuem boa aceitação e são percebidos como soluções duráveis, sólidas e atuais. Os custos, apesar de variáveis, costumam ser competitivos, especialmente quando comparados a sistemas alternativos ainda pouco difundidos. Portanto, em relação ao critério de viabilidade socioeconômica, classifica-se o uso do sistema de concreto de bloco estrutural como alto e, o moldado *in loco* e o pré-moldado como média.

5.2.4 Síntese crítica

Em síntese, o sistema construtivo de concreto e suas variantes analisadas tem como conflito central o destaque em agilidade e eficiência estrutural devido a sua padronização produtiva, mas mantém-se atrelado a um passivo ambiental elevado e a limitações no desempenho térmico, que exigem soluções complementares para atender às demandas climáticas regionais. A dominância do concreto reflete mais a força de sua cadeia produtiva e sua aceitação cultural do que sua adequação ambiental plena. Portanto, a adoção desse sistema coloca em evidência o conflito entre a busca por racionalidade construtiva e a necessidade de se reduzir os impactos ambientais, sobretudo em um bioma cuja conservação é essencial e cuja vulnerabilidade exige abordagens construtivas mais compatíveis com seus limites ecológicos.

5.3 STEEL FRAME E DRYWALL

O sistema construtivo *steel frame*, associado ao *drywall* como solução para fechamento interno, vem ganhando espaço no nacional devido sua rapidez de montagem, precisão executiva e leveza. Em um bioma marcado por sazonalidade climática, a adoção de sistemas industrializados leves exige uma análise cuidadosa de seu comportamento técnico e ambiental. Embora amplamente reconhecido por sua racionalidade e previsibilidade construtiva, o *steel frame* ainda enfrenta resistência cultural e limitações na cadeia de suprimentos, o que torna necessária uma avaliação crítica que contemple seus limites e potencialidades.

5.3.1 Impacto ambiental

No que diz respeito ao impacto ambiental, esse sistema possui um perfil ambíguo, como a fabricação do aço demanda elevado consumo energético e emite grandes quantidades de CO² acaba refletindo em um alto nível de energia incorporada no material. Além disso, sua cadeia produtiva depende de mineração de minério de ferro e processos industriais de grande escala, o que contribui para impactos ambientais significativos. Os metais utilizados na construção civil são produtos da indústria siderúrgica e chegam ao canteiro de obras de diversas formas e seu uso "já é apontado como uma das alternativas para a construção civil sustentável por aliar velocidade, qualidade e racionalização, diminuindo desperdícios" (Machado, 2010, p. 8).

Além disso, um aspecto importante da utilização dos metais pela construção é a possibilidade de se reciclar elementos, ou mesmo toda a edificação, após o término da sua vida útil. Em vez de ser descartado em aterros sanitários uma parcela significativa dos resíduos é direcionada para ferros-velhos, facilitando assim o fluxo reverso do material (Machado, 2010). A indústria de sucata de metais atinge volumes expressivos de reciclagem por meio do direcionada do descarte para ferros-velhos e indústrias de reciclagem. Esse procedimento minimiza o impacto ambiental e promove a reutilização e reciclagem dos metais, contribuindo para a economia circular e para a sustentabilidade no setor siderúrgico.

No entanto, RCD decorrentes do *steel frame* e do *drywall* são problemáticos quando descartados de forma inadequada, especialmente em aterros sanitários, onde podem liberar sulfetos e gerar contaminações. A multiplicidade de componentes desse sistema, como membranas, isolantes, chapas cimentícias e selantes, faz com que a infraestrutura de reciclagem se limite apenas às peças metálicas, o que limita a efetividade do fluxo reverso. Portanto, em relação ao critério de impacto ambiental, classifica-se o uso do sistema construtivo em *steel frame e drywall* de como médio.

5.3.2 Desempenho técnico

Do ponto de vista do desempenho técnico os sistemas construtivos compostos por

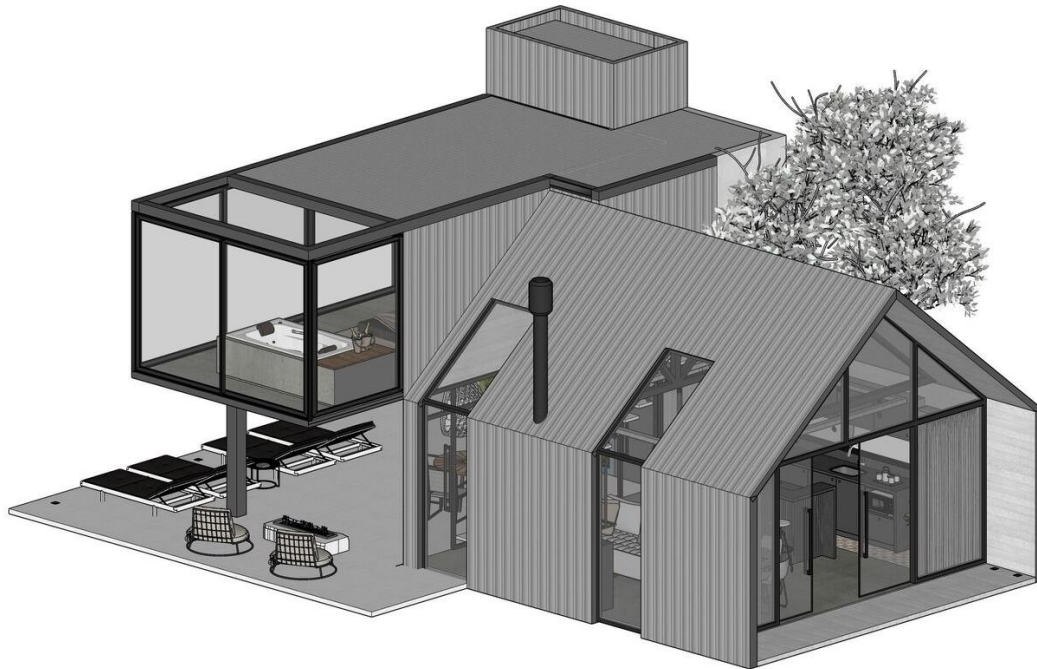
elementos metálicos de estruturação apresentam vantagens em relação ao controle térmico, desde que associado a camadas adequadas de isolamento e proteção solar. Muito comuns na construção civil, os metais passaram a ser mais utilizados após a Revolução Industrial, no século XVIII, devido ao desenvolvimento de novas tecnologias para a sua produção. O ferro foi especialmente empregado de forma intensiva durante esse período, impulsionando o progresso da sociedade ao ser utilizado na fabricação de máquinas, ferrovias e grandes estruturas. Na Segunda Revolução Industrial, ocorrida em meados do século XIX, a introdução de ligas metálicas de aço ampliou ainda mais o uso de metais na construção civil, abrindo novas possibilidades e aplicações.

Os produtores passaram a tentar provar a viabilidade do novo produto, impondo o uso deste material para inspirar uma revolução gradual dos métodos construtivos, contrapondo-se a todo um processo de construção até então desenvolvido. O aperfeiçoamento das técnicas industriais aplicadas ao ferro permitiu a criação de uma infinidade de sistemas construtivos ao longo do século. Com o aumento da produção do ferro fundido, seu conseqüente barateamento e a constatação de seu poder de resistência aos esforços de compressão, houve um aumento da sua utilização na produção de edifícios (Machado, 2010, p. 69).

No Cerrado, onde o calor intenso durante boa parte do ano pode comprometer o conforto interno, o sistema se mostra eficiente quando combinado com mantas termoacústicas, painéis OSB, lã mineral e ventilação adequada da fachada. Diferentemente de sistemas massivos, sua baixa inércia térmica exige uma abordagem projetual que minimize a entrada de radiação solar direta e controle a transferência rápida de calor entre exterior e interior.

A leveza do sistema (Figura 23) contribui também para desempenho durante o período chuvoso, já que permite fundações mais superficiais e menos suscetíveis à saturação dos solos, frequente em meses de chuva intensa. Contudo, o aço galvanizado presente na estrutura demanda proteção rigorosa contra umidade e pontos de infiltração, pois falhas na estanqueidade podem levar à corrosão das peças. Isso torna indispensável uma execução cuidadosa das membranas hidrófugas, junções e encontros entre painéis, exigindo maior qualificação da mão de obra do que aquela típica de sistemas tradicionais, amplamente difundidos na região.

Figura 23 — Vista axonométrica, Casa Asolo



Fonte: Estúdio Saymon Dall Alba, 2021. Disponível em:

<https://www.saymondallalba.arq.br/projetos/cabanadeluxo/villamontegrappa>. Acesso em: 30 out. 2025.

Outro aspecto técnico relevante é o desempenho acústico. Em áreas urbanas do Cerrado, com crescimento acelerado e adensamento progressivo, o *steel frame* e o *drywall* podem atender a requisitos acústicos com a especificação de camadas de preenchimento interno. Sem tais medidas, porém, o ruído pode ser transmitido com facilidade pela estrutura metálica, comprometendo o conforto interno.

Dessa forma, observa-se que o desempenho positivo do sistema não é inerente ao material desse sistema construtivo e sim a combinação de outros elementos complementares. Portanto, seu desempenho técnico é satisfatório, mas altamente dependente da compatibilidade entre projeto, execução e manutenção preventiva. E, em relação ao critério de desempenho técnico, classifica-se o uso do sistema construtivo em *steel frame* e *drywall* de como médio.

5.3.3 Viabilidade socioeconômica

Quanto à viabilidade socioeconômica, esse sistema tem crescido na ZB4B, mas a região ainda carece de maior disponibilidade de fornecedores locais de componentes, o

que leva a um aumento dos custos com transporte devido a dependência de centros industriais distantes. A mão de obra qualificada é outro ponto de atenção pois, embora o sistema seja rápido e eficiente, exige capacitação técnica para garantir estanqueidade, precisão e atendimento aos requisitos de desempenho.

Culturalmente, o sistema enfrenta certa resistência, pois parte dos consumidores associa construções leves à menor durabilidade, apesar de evidências contrárias. Embora tecnicamente viável, sua adoção depende de investimentos em capacitação, divulgação e expansão das cadeias produtivas regionais. Portanto, em relação a este critério, a viabilidade socioeconômica do uso do sistema construtivo em *steel frame* e *drywall* pode ser classificado como médio.

5.3.4 Síntese crítica

Em síntese, o *steel frame* e o *drywall* configuram sistemas tecnicamente eficientes, capazes de oferecer desempenho satisfatório no clima do Cerrado, desde que detalhados e executados com rigor. Entretanto, a elevada energia incorporada do aço, a dependência de cadeias produtivas complexas e as limitações na reciclagem efetiva dos componentes se conflitam, evidenciando assim que a eficiência e racionalidade construtiva do sistema contrasta com um passivo ambiental ainda significativo. Assim, sua adoção generalizada no Cerrado deve ser acompanhada de estratégias para reduzir impactos ambientais, fortalecer cadeias de reciclagem e aprimorar a capacitação técnica.

5.4 MADEIRA ENGENHEIRADA

A madeira engenheirada, ou *wood frame*, tem ganhado visibilidade no Brasil como alternativa leve, industrializada e energeticamente eficiente, posicionando-se como solução promissora para edificações com maior adequação ambiental. Ao mesmo tempo em que se apresenta como uma tecnologia de baixo impacto e construção a seco, sua adaptação às condições climáticas e à cadeia produtiva regional demanda uma ponderação de seu desempenho técnico e implicações ambientais e socioeconômicas.

5.4.1 Impacto ambiental

A madeira é um dos materiais mais utilizados na construção ao longo da história mundial, permanecendo presente até os dias atuais em diferentes usos e formas (John; Oliveira; Lima, 2007). A madeira é a base para o sistema construtivo em *wood frame*, tradicionalmente empregado em climas temperados, mas que pode ser ajustado às condições da ZB4B por meio de técnicas de proteção contra umidade e reforço térmico. De acordo com John, Oliveira e Lima (2007), sua principal vantagem está na rapidez de execução, leveza e menor desperdício.

Em relação ao impacto ambiental, o *wood frame* destaca-se por utilizar como principal elemento um material renovável, quando proveniente de florestas plantadas e certificadas. A madeira apresenta baixa energia incorporada quando comparada ao aço e ao concreto, o que favorece sua adoção como estratégia de mitigação de impactos ambientais da construção civil. Além disso, o processo de industrialização da madeira engenheirada permite alto aproveitamento de matéria-prima, reduzindo desperdícios e ampliando a eficiência na cadeia produtiva. Entretanto, a disponibilidade de madeira certificada ainda se concentra em regiões sul e sudeste do Brasil, exigindo transporte de longas distâncias para a ZB4B, o que pode elevar sua pegada de carbono (Santos, 2012).

a utilização de materiais considerados alternativas sustentáveis como [...] a madeira e a terra, podem só ser viáveis quando retirados do próprio terreno ou de locais muito próximos à obra, pois os materiais que percorrem longas distâncias causam os impactos ambientais decorrentes do transporte. Nestes casos, também é importante considerar o impacto negativo causado ao meio em que forem extraídos (Machado, 2010, p. 55).

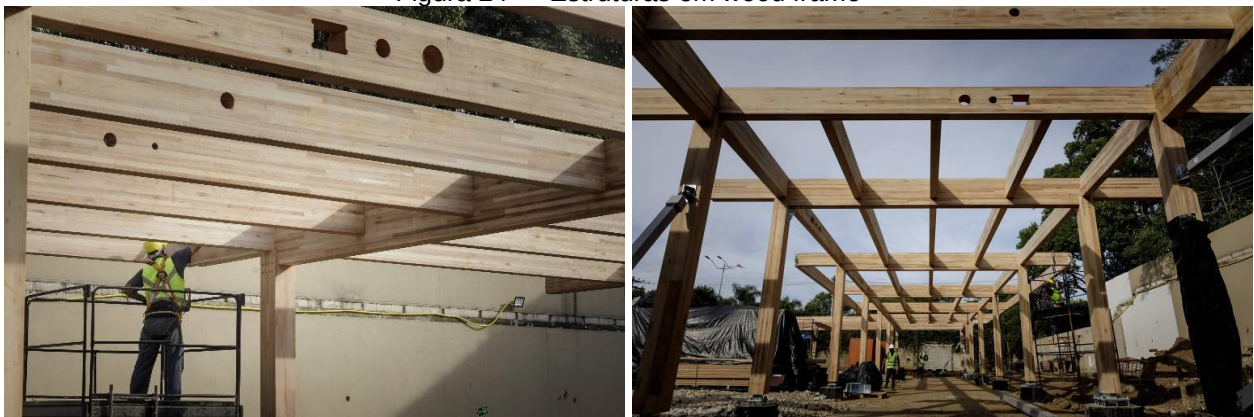
Outro ponto ambiental relevante é a capacidade da madeira de sequestrar carbono ao longo de sua vida útil. Isso torna o *wood frame* especialmente atrativo para políticas e diretrizes de construção sustentável, pois contribui diretamente para a redução das emissões líquidas do setor. No entanto, o sistema depende de insumos complementares que possuem maior energia incorporada e cuja produção envolve processos petroquímicos. Dessa forma, o balanço ambiental positivo do sistema está fortemente condicionado à origem dos materiais e à eficiência da cadeia de suprimentos complementares.

Embora a construção a seco minimize resíduos gerados durante a obra, o *wood frame* enfrenta desafios no fim do ciclo de vida. A presença de múltiplos materiais sobrepostos dificulta a desmontagem e a separação para reciclagem, especialmente em regiões onde a infraestrutura de reaproveitamento ainda é limitada. Enquanto a madeira em si é reciclável ou biodegradável, os componentes industrializados associados ao têm menor capacidade de reinserção em ciclos produtivos. Apesar disso, em relação ao critério de impacto ambiental, classifica-se o uso do sistema de madeira engenheira de como baixo.

5.4.2 Desempenho técnico

Do ponto de vista do desempenho técnico, o sistema construtivo em madeira engenheirada, ou *wood frame* (Figura 24), possui a vantagem de permitir controle térmico quando associado a camadas adequadas de isolamento e ventilação. Em um clima levemente quente e seco como o da ZB4B (ABNT, 2024a), a baixa inércia térmica do sistema pode ser um problema, o que torna indispensável o uso de isolantes como lã mineral, celulose projetada ou mantas reflexivas, além de barreiras radiantes que reduzam a transferência de calor provocado pela típica intensa insolação cerratense com objetivo de se obter um conforto térmico satisfatório.

Figura 24 — Estruturas em *wood frame*



Fonte: Folha de São Paulo, 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2024/05/madeira-de-reflorestamento-substitui-aco-e-concreto-em-construcoes-sustentaveis.shtml>. Acesso em: 31 ago. 2025.

É necessário, ao utilizar esse material na construção fazer um acompanhamento

do estado de conservação da madeira ao longo do tempo. A manutenção está intrinsecamente ligada à qualidade e durabilidade dos materiais utilizados, o que impacta diretamente na demanda por novos materiais. Em outras palavras, quanto maior a vida útil dos materiais, menor será a necessidade de substituição e, conseqüentemente, menor será o impacto na cadeia produtiva.

Segundo John, Oliveira e Lima (2007), a madeira é um material de alto desempenho ambiental quando proveniente de manejo sustentável ou de reaproveitamento. Quando não certificada, as características ambientais desses materiais são sobrepostas diante os danos possivelmente gerados pela “extração e processamento de madeira de forma manejada ou ilegal, e que não está somente relacionada à construção, mas também ao desmatamento para atividade agrícola ou pecuária” (Santos, 2012, p. 9). No Cerrado, espécies nativas como o ipê, o jatobá e o angelim podem ser opções de uso, desde que observados critérios de exploração responsável. A madeira de demolição também constitui alternativa interessante, pois prolonga o ciclo de vida do material e evita o descarte inadequado.

Em termos técnicos, esses materiais apresentam desempenho favorável na ventilação e na proteção solar, além de baixo impacto de produção. No entanto, é necessário aprimorar os processos de tratamento para aumentar sua durabilidade e resistência a fungos e insetos que podem comprometer a longevidade do sistema. O desempenho acústico do *wood frame* também demanda atenção pois sua baixa massa pode resultar em transmissões sonoras indesejadas caso o projeto não especifique soluções adequadas como o uso de isolantes e camadas múltiplas de fechamento. Portanto, em relação ao critério de desempenho técnico, classifica-se a performance do sistema em madeira engenheirada como médio.

5.4.3 Viabilidade socioeconômica

Quanto à viabilidade produtiva, o *wood frame* encontra barreiras significativas no Cerrado, principalmente relacionadas à falta de profissionais qualificados, à baixa familiaridade do setor com o sistema e à limitada disponibilidade regional de insumos certificados. O custo inicial tende a ser mais elevado que os sistemas tradicionais, embora

sua rapidez de execução reduza o tempo de obra e, conseqüentemente, parte dos custos indiretos. Dessa forma, ainda é baixa a viabilidade socioeconômica do uso desse sistema construtivo no contexto da ZB4B.

5.4.4 Síntese crítica

O sistema em madeira engenheirada representa uma alternativa eficiente e ambientalmente mais favorável do que sistemas convencionais, oferecendo soluções de conforto e desempenho adequadas ao clima do Cerrado. Contudo, sua adoção implica enfrentar desafios relacionados à durabilidade em ambiente com variações de umidade, à dependência de cadeias produtivas distantes e à presença de componentes industrializados que elevam o passivo ambiental do sistema.

Assim, a tensão central reside no contraste entre a eficiência ambiental por um lado, e a logística complexa para adoção do sistema e seus custos elevados por outro. Para que o *wood frame* se consolide como solução sustentável no Cerrado, é necessário fortalecer cadeias regionais, ampliar a capacitação técnica e investir em sistemas de reciclagem e reaproveitamento, de modo a harmonizar seu menor impacto ambiental a custos mais competitivos.

5.5 TERRA CRUA

A construção em terra crua, nas modalidades taipa e bloco de adobe, representa um dos sistemas mais antigos e, simultaneamente, mais sustentáveis utilizados em diferentes regiões do mundo. No Cerrado, onde as condições climáticas combinam forte insolação, elevada amplitude térmica diária, longos períodos de estiagem e chuvas intensas e concentradas, esse sistema construtivo assume relevância tanto por sua compatibilidade ambiental quanto por sua capacidade de responder às demandas bioclimáticas locais.

5.5.1 Impacto ambiental

Em relação ao impacto ambiental, o sistema construtivo em terra crua destaca-se como uma das soluções de menor energia incorporada, já que a matéria-prima é local, abundante e geralmente extraída sem grandes processos industriais. Diferente do concreto e da alvenaria convencional, a terra dispensa etapas que demandam queima, fornos, aditivos sintéticos ou transporte de longa distância, reduzindo significativamente as emissões de carbono associadas à construção. Essa característica coloca a terra crua em posição privilegiada dentro das estratégias de construção sustentável adaptadas ao Cerrado.

Além disso, a extração da terra pode ser realizada de maneira controlada e ambientalmente responsável, sobretudo quando associada ao reuso de solos provenientes de movimentação de terra do próprio sítio da obra. O sistema reduz a necessidade de insumos externos e evita o uso massivo de matérias-primas não renováveis, como cimento e agregados industriais. Ao mesmo tempo, o processo gera poucos resíduos, e os materiais construtivos são totalmente biodegradáveis, permitindo que a edificação retorne ao ciclo natural ao fim de sua vida útil. Portanto, em relação ao critério de impacto ambiental, classifica-se o uso do sistema com base em terra crua como baixo.

5.5.2 Desempenho técnico

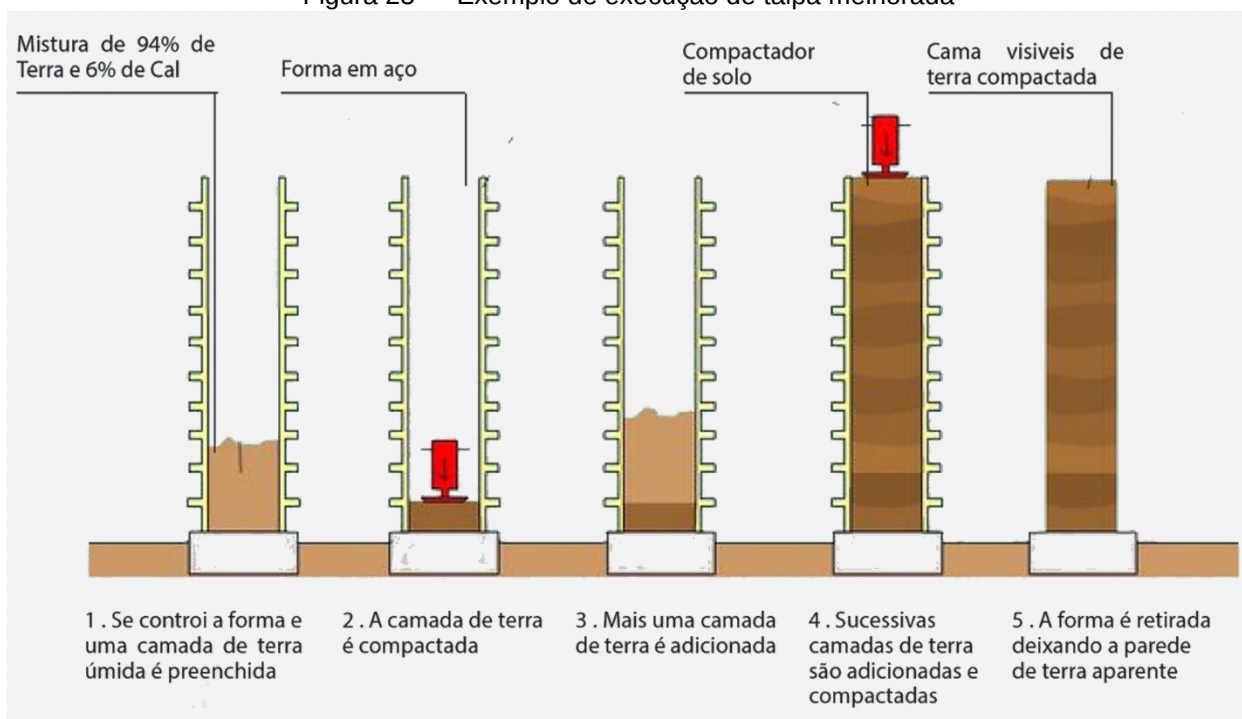
A terra crua, em suas variações como a taipa melhorada e os blocos de adobe, apresenta-se como uma solução eficiente em relação aos impactos causados ao meio ambiente. Sua composição baseia-se em solo local, eventualmente estabilizado com cal ou cimento, o que confere baixo custo energético de produção com menor dependência do uso de transportes de longas distâncias. De acordo com Feiber (2012), a composição da massa pode ainda receber aditivos de fibras vegetais para aumentar a resistência e evitar a formação de rachaduras.

Do ponto de vista técnico, a terra crua oferece elevada inércia térmica, qualidade essencial para o clima quente e seco predominante na ZB4B (2024b). Suas paredes espessas absorvem calor durante o dia e o liberam lentamente à noite, suavizando as variações térmicas e proporcionando ambientes internos mais estáveis. Tal característica

é especialmente relevante em regiões que apresentam grande amplitude térmica diária, permitindo que a edificação mantenha temperaturas internas mais confortáveis sem depender diretamente de sistemas artificiais de climatização.

Esses sistemas, quando bem dimensionados, apresentam desempenho bioclimático alinhado às necessidades do Cerrado. O procedimento de construção da taipa é realizado a partir do molde da massa de terra em formas de madeira com travamentos feitos por cunhas e posteriormente, a compactação por meio do apiloamento (Figura 25).

Figura 25 — Exemplo de execução de taipa melhorada



Fonte: Atelier O'Reilly Architecture & Partners (2016). Adaptado pelo autor. Disponível em: <https://atelieror.com/projeto/casa-terra/>. Acesso em: 31 ago. 2025.

Além disso, a terra crua possui comportamento higroscópico, regulando a umidade interna dos ambientes. A alternância entre períodos de seca e chuva intensa, característica marcante do Cerrado, intensifica a necessidade de materiais capazes de absorver e liberar umidade sem comprometer seu desempenho. Quando estabilizados com aditivos naturais ou cimentícios, os blocos de terra e as paredes de taipa são capazes de mitigar a sensação de ar seco durante a estação seca, contribuindo para o conforto ambiental do usuário. O uso de reboco adequado, como argamassas de cal ou

terra estabilizada, reforça esse comportamento.

Contudo, exige-se cuidado com a proteção contra chuvas, sobretudo as chuvas intensas características do Cerrado, por meio de recursos como beirais largos, revestimentos adequados e fundações elevadas. A durabilidade da taipa de pilão, quando corretamente protegida, pode superar décadas, tornando-se uma solução robusta frente às variações climáticas da região. Os sistemas mistos que combinam paredes de terra crua com estrutura de madeira ampliam as possibilidades construtivas (Cordeiro *et al.*, 2019), potencializando a resistência estrutural e reduzindo as limitações associadas à exposição da terra à umidade (Figura 26).

Figura 26 — Casa AA, projeto do arquiteto Argus Caruso



Fonte: Argus Caruso, 2019. Disponível em: <https://www.arguscaruso.com/>. Acesso em: 31 ago. 2025.

A resposta estrutural da terra crua também deve ser analisada criticamente. Embora apresente excelente comportamento em compressão, a resistência à tração e à flexão é baixa, exigindo reforços pontuais, modulação adequada das aberturas e, em alguns casos, elementos auxiliares como cintas ou estruturas mistas. Assim, a terra crua é tecnicamente viável, mas depende de soluções complementares, sobretudo de cobertura, que assegurem estabilidade sem descaracterizar suas propriedades naturais. Portanto, em relação ao critério de desempenho técnico, pode-se classificar a performance do sistema com base em terra crua como médio.

5.5.3 Viabilidade socioeconômica

Do ponto de vista produtivo, a construção em terra crua apresenta grande

vantagem ao se integrar facilmente às cadeias produtivas locais, dado que a matéria-prima é amplamente disponível no Cerrado e não exige logística complexa. Sua implementação, porém, depende da disponibilidade de mão de obra capacitada, já que a perda histórica de técnicas tradicionais limita a execução correta do sistema.

Os custos de implementação podem ser competitivos, especialmente em comunidades rurais ou em projetos que valorizam materiais locais, mas podem aumentar quando se aplicam técnicas industrializadas. Culturalmente, a aceitação da terra crua ainda enfrenta resistência associados à ideia de material de má qualidade, embora esse quadro venha mudando com o reconhecimento internacional de construções de alto desempenho baseadas em terra. Portanto, é média a viabilidade do sistema baseado em terra crua em relação a este critério.

5.5.4 Síntese crítica

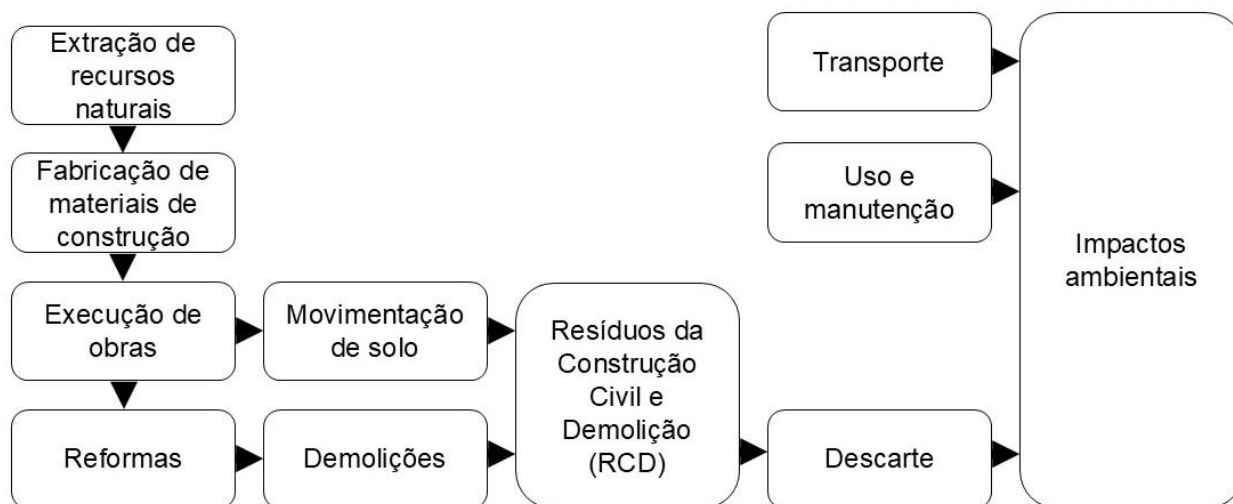
Em síntese, os sistemas construtivos que usam terra crua possuem alta eficiência bioclimática e baixo impacto ambiental, se mostrando adequado às condições do Cerrado. Entretanto, sua plena adoção depende da disponibilidade de conhecimento técnico, da correta proteção contra a água e da superação de barreiras culturais que ainda acompanham esse tipo de construção. O conflito central reside no fato de que, embora o sistema entregue desempenho térmico superior e baixo passivo ambiental, sua eficácia depende de investimentos em capacitação e de uma cultura construtiva que reconheça o valor técnico e ecológico da terra. Assim, a sustentabilidade do sistema não está apenas no material, mas na capacidade de estruturá-lo dentro de um processo construtivo consciente, bem detalhado e socialmente valorizado.

5.6 SISTEMATIZAÇÃO DA ANÁLISE

A escolha de materiais e componentes de construção adequadas ao contexto climático é um fator determinante para a eficiência ambiental das edificações, devido ao alcance da cadeia produtiva envolvida nesse processo (Figura 27). Uma edificação gera impactos desde a extração das matérias-primas, passando pelas etapas de produção e

transporte, até sua execução no canteiro de obras. Durante o uso e manutenção, esses impactos se prolongam, refletindo-se no consumo energético, na necessidade de reparos e na durabilidade dos sistemas adotados. E, ao final de seu ciclo de vida, o descarte de RCD constitui um dos maiores desafios ambientais, demandando estratégias de gestão e reaproveitamento que evitem a sobrecarga de aterros e a degradação ambiental.

Figura 27 — Esquema de fluxos dos impactos ambientais da construção civil



Fonte: Machado (2010). Adaptado pelo autor.

A adaptação de sistemas construtivos às características climáticas e ambientais da ZB4B é fundamental para garantir conforto térmico, eficiência energética e menor impacto ambiental. De acordo com Klink e Machado (2005), essa zona apresenta na estação seca condições como temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar, alta amplitude térmica diária e incidência solar intensa e, na estação chuvosa, precipitações intensas e maior umidade relativa. Dentro desse contexto, a seleção de sistemas construtivos sob a ótica dos princípios de sustentabilidade pode responder às exigências bioclimáticas das normativas.

A análise dos sistemas à luz das características da ZB4B demonstra que não existe uma solução única, mas um conjunto de possibilidades que, quando adaptadas às condições ambientais do Cerrado, oferecem caminhos consistentes para uma arquitetura sustentável. A sistematização dos critérios de adequação ambiental (Quadro 2), sintetiza o debate sobre desempenho técnico, impacto ambiental e viabilidade produtiva

empreendido pela pesquisa. Colocando assim, os conflitos encontrados no processo de análise crítica nas dimensões econômica, social e ambiental.

Quadro 2 — Sistematização dos potenciais, limitações e conflitos

Sistema construtivo	Impacto ambiental	Desempenho técnico	Viabilidade socioeconômica	Conflito central
Alvenaria de vedação (bloco cerâmico)	Alto	Médio	Alta	hegemonia X passivo ambiental
Alvenaria de vedação (bloco solo-cimento)	Médio	Alto	Média	eficiência X escalabilidade
Concreto (bloco estrutural)	Alto	Médio	Alta	eficiência X passivo ambiental
Concreto (moldado <i>in loco</i>)	Alto	Médio	Média	eficiência X passivo ambiental
Concreto (pré-moldado)	Alto	Médio	Média	agilidade X passivo ambiental
<i>Steel frame e drywall</i>	Médio	Médio	Média	eficiência X custo
Madeira engenheirada	Baixo	Médio	Baixa	eficiência X custo
Terra crua (taipa)	Baixo	Médio	Média	eficiência X escalabilidade
Terra crua (adobe)	Baixo	Médio	Média	eficiência X escalabilidade

Fonte: Autor (2025).

A escolha de um sistema sustentável no Cerrado é um ato de projeto que envolve uma ponderação equilibrada e consciente entre esses os critérios apresentados ao longo da análise desenvolvida na pesquisa. Os profissionais responsáveis pelo desenvolvimento do projeto e sua execução devem ir além da análise técnica isolada dos sistemas e avaliar a viabilidade das diferentes opções para a realidade local considerando estratégias bioclimáticas para diminuir os impactos do ambiente construído na natureza, sobretudo por conta do contexto atual de emergência ambiental no planeta. Portanto, projetar de forma sustentável no Cerrado exige a capacidade profissional de navegar entre os conflitos existentes de forma consciente, justificando suas escolhas a partir da ponderação clara dos pontos positivos e negativos presente em cada ponto de decisão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Capítulo apresenta as considerações finais da dissertação que buscou analisar criticamente sistemas construtivos para a Zona Bioclimática 4B. Neste capítulo são apresentados os objetivos alcançados e as contribuições do trabalho, com suas lacunas e recomendações para possíveis desdobramentos.

6.1 OBJETIVOS ALCANÇADOS

O percurso investigativo desta dissertação partiu da articulação entre a arquitetura e sustentabilidade no Cerrado, considerando a influência dessa relação para a escolha das soluções de projeto. Fato que resultou na elaboração da problemática da pesquisa a seguir: De que modo os critérios que definem a adequação ambiental na construção podem influenciar a seleção de sistemas construtivos para a ZB4B no contexto do Cerrado?

Estabelecida como unidade de análise da pesquisa, a ZB4B reúne uma série de particularidades que demandam a adoção de estratégias construtivas específicas e sensíveis às dinâmicas ambientais e climáticas do Cerrado, bioma predominante na zona. Considerando que o setor da construção civil figura entre os principais responsáveis pelos impactos ao ambiente natural, torna-se necessário direcionar suas práticas de modo a contribuir para a minimização dos danos à natureza. Nesse sentido, a compreensão das características próprias da área mostra-se fundamental para orientar escolhas construtivas mais adequadas sob a perspectiva da sustentabilidade.

A análise presente na pesquisa responde ao objetivo geral estabelecido para seu desenvolvimento, que consistia em analisar como a ponderação entre os critérios de adequação ambiental influenciam a seleção de sistemas construtivos para a ZB4B, a partir de uma perspectiva crítico-reflexiva. Assim, se demonstrou que o conjunto de critérios para análise da adequação formam um mecanismo interessante para a seleção de sistemas construtivos a serem adotados. Os ganhos positivos que a arquitetura tem ao não ser pensada de forma restritiva são inúmeros, ressaltando a importância da prática projetual integrada, articulando às especificidades ambientais, sociais e culturais de seu

contexto.

Em resposta ao objetivo específico de caracterização, a dissertação identificou e analisou as particularidades climáticas e ambientais da ZB4B, de clima levemente quente e seco. Abordando questões relacionadas às dinâmicas climáticas nacionais e o Zoneamento Bioclimático da NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Com implicações diretas para o projeto arquitetônico, esses temas demonstraram as adaptações possíveis para a aplicação em soluções projetuais para a região cerratense. Dessa forma, evidenciou-se que compreender os fatores climáticos e ambientais é requisito indispensável para orientar os agentes que atuam no setor da construção civil.

Buscando atingir ao objetivo específico analítico, diferentes sistemas construtivos foram investigados, identificando os potenciais, limitações e conflitos para a adequação às demandas bioclimáticas da ZB4B. Foram analisados sistemas de alvenaria de vedação (bloco cerâmico e bloco solo-cimento), concreto (bloco estrutural, moldado *in loco* e pré-moldado), *steel frame e drywall*, madeira engenheirada e terra crua (taipa e adobe). A análise foi realizada através da discussão dos critérios de adequação ambiental propostos na metodologia do trabalho, com base na revisão da literatura e na análise documental da pesquisa.

Em resposta ao último objetivo específico, o trabalho sistematizou em um quadro a síntese da análise dos sistemas construtivos, atribuindo valoração a performance de cada sistema em relação aos critérios de adequação ambiental. Assim, o percurso do trabalho permitiu identificar caminhos para a adequação da arquitetura à ZB4B, considerando as dimensões econômica, social e ambiental. Respondendo à questão de pesquisa, propõe-se um modo de pensar as decisões de projeto, onde os princípios de sustentabilidade orientam a seleção de soluções por meio de um raciocínio crítico sobre o impacto de cada escolha. Assim, o trabalho reforça o papel estratégico da arquitetura na mitigação dos impactos ambientais e na promoção de condições para uma vida mais digna em meio a atual emergência ambiental.

6.2 CONTRIBUIÇÕES, LACUNAS E RECOMENDAÇÕES

As contribuições teóricas da dissertação estão relacionadas à validação do

pressuposto levantado inicialmente que indicava que a aplicação de princípios da sustentabilidade na escolha de sistemas construtivos para a ZB4B no Cerrado não estava em uma solução única e otimizada, mas sim um conjunto de possibilidades. O método analítico desenvolvido para análise dessas possibilidades complexifica a tomada de decisão nos projetos e, oferece aos profissionais da construção civil um referencial teórico para uma escolha consciente e justificável.

Com o deslocamento do debate sobre o projeto, a pesquisa reforça a importância da habilidade de análise crítica dos agentes da construção para a realização de escolhas projetuais. Além disso, o trabalho aproxima essa discussão aos tratados e documentos assinados pelo Brasil, como a Agenda 21, os ODS e a NDC nacional, na busca por um futuro mais resiliente, saudável e sustentável. instrumento representa uma contribuição para a tomada de decisão em processos projetuais ao organizar, de forma clara e objetiva, as informações necessárias.

Entretanto, o desenvolvimento da pesquisa enfrentou questões que limitaram seu escopo e andamento. De natureza teórica, o trabalho baseou-se em uma revisão crítico-reflexiva para a construção da análise de sistemas construtivos. Dessa forma, a falta de uma normativa técnica com métodos e critérios de avaliação da adequação ambiental de edificações em vigor no país (ABNT, 2024b), apresentou-se como uma importante limitação. Essa lacuna motivou a elaboração de critérios próprios de avaliação com base nas referências presentes na revisão da literatura e na análise documental do trabalho. Entretanto, em uma próxima atualização da norma NBR 15575-1, métodos e critérios deveriam ser estabelecidos para assegurar a aplicação de soluções arquitetônicas eficientes, sustentáveis e integradas ao contexto ambiental local.

Outra lacuna presente na pesquisa diz respeito à supressão da aplicação prática das elaborações teóricas desenvolvidas ao longo do trabalho, ocasionada pelo tempo limitado para a elaboração de uma dissertação de mestrado. Aplicações como a aferição de características físicas por meio de medidores de desempenho *in loco* e o desenvolvimento de estudos de caso arquitetônicos específicos possuem potencial para contribuir com o avanço da investigação.

A partir dessas lacunas e dos resultados da pesquisa, recomendam-se trabalhos futuros que possam aprofundar as questões levantadas pela pesquisa. Sugerem-se

pesquisas de caráter quantitativo que busquem mensurar os obstáculos identificados, por meio de simulações computacionais e análises de custo de ciclo de vida de sistemas construtivos. Adicionalmente, estudos de caso de edificações desenvolvidas na ZB4B poderiam investigar como os projetistas, na prática, abordam essas ponderações.

Por fim, uma linha de pesquisa promissora poderia analisar de que forma o desenvolvimento e aplicação de normativas e políticas públicas poderiam contornar a resistência cultural da sociedade, inferida neste trabalho, a fim de popularizar a aplicação de sistemas construtivos com maior adequação ambiental no Brasil, com foco no Cerrado. Buscando, assim, identificar os entraves institucionais, econômicos e simbólicos que dificultam a incorporação dessas soluções no setor da construção civil. Contribuindo, assim, para o fortalecimento de um ambiente construído orientado por práticas sustentáveis integradas às especificidades ambientais regionais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático por desempenho. Rio de Janeiro, 2024a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho**. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024b.

ABYZOV, Vadim A.; PUSHKAROVA, Kateryna K.; KOCHERYKH, Maryana O.; HONCHAR, Olha A.; BAZELIUK, Natalia L. **Innovative building materials in creation an architectural environment**. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 907, Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). Kharkiv, Ukraine, 2020.

ACSELRAD, Henri. **Discursos da sustentabilidade urbana**. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, [S. l.], n. 1, p. 79, 1999. DOI: 10.22296/2317-1529.1999n1p79. Disponível em: <https://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/27>. Acesso em: 11 jul. 2024.

BORGES, Débora Adiane; SARMENTO, Antover Panazzolo; CARVALHO, Gabriel Bernardes de. **Projeto arquitetônico para a cidade de Catalão/GO: diretrizes para a zona bioclimática 6**. REEC: Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 14(1), 2017. Doi: 10.5216/REEC.V14I1.46976. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/46976>. Acesso em: 25 abr. 2024.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasil, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 21 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama Nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. [S. l.]: Conama, 1986. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745. Acesso em: 03 out. 2024.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Comitê Gestor de Índices e Níveis de Eficiência Energética. **Resolução CGIEE Nº 4, de 26 de setembro de 2025**. Fica aprovado o regulamento que define os índices mínimos de eficiência energética para as edificações residenciais, comerciais, de serviços e públicas. [S. l.]: CGIEE, 2025. Disponível em:

<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=30/09/2025&jornal=515&pagina=225&totalArquivos=511>. Acesso em: 09 out. 2025.

CORBELLA, Oscar Daniel; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: Conforto ambiental**. 2ª ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Revan, setembro de 2009.

CORDEIRO, Carol Cardoso Moura; BRANDÃO, Douglas Queiroz; DURANTE, Luciane Cleonice; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio. **Construções vernáculas em terra: Perspectiva histórica, técnica e contemporânea da taipa de mão**. PARC Pesq. em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 10, p. e019006, 2019, ISSN 1980-6809.

CZAPSKI, Silvia Virginia. **A implantação da educação ambiental no Brasil**. Brasília - DF, 1998.

ESPERIDIÃO, Aline Ramos; PENTEADO, Ana Paula Bonini; FONTOLAN, Beatrice Lorenz; DEL ROIO, Iolanda Geronimo; NETO, Alfredo Iarozinski. **Estudo dos fatores de desempenho e sustentabilidade do meio urbano a partir da percepção dos moradores**. In: XI ENSUS - Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Anais, 2023. Florianópolis: UFSC: 2016. p. 305-317. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/247080/artigo%2022%20-%20p.%20305-317.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. DOI: 10.29183/2596-237x.ensus2023.v11.n3.p305-317. Acesso em: 25 abr. 2024.

FEIBER, Silmara Dias. **Técnicas construtivas tradicionais: Os primórdios da sustentabilidade**. Revista Thêma et Scientia. V. 2, nº 1, 2012.

FONTOLAN, Beatrice Lorenz; ESPERIDIÃO, Aline Ramos; DEL ROIO, Iolanda Geronimo; NETO, Alfredo Iarozinski. **O que motiva os usuários a adquirir uma habitação sustentável?** Revista Jatobá, Goiânia, v. 5, 2023. DOI: 10.5216/revjat.v5.76001. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/76001>. Acesso em: 15 ago. 2025.

GASQUES, Ana Carla Fernandes; OKAWA, Cristhiane Michiko Passos; NETO, Generoso De Angelis; MIOTTO, José Luiz; CASTRO, Tainara Rigotti de. **Impactos ambientais dos materiais da construção civil: Breve revisão teórica**. Revista Tecnológica. Maringá, v. 23, p. 13-24, 2014.

GOMES, Jefferson de Oliveira; LACERDA, Juliana Ferreira Santos Bastos. **Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: Análise do estado da arte**. Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v. 7, n. 2, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Informações ambientais. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro, 2002. 1 mapa. Escala 1:5 000 000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html?edicao=15887&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 4 jun. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. In: **Climate change 2023: Synthesis report**. Contribution of working groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. Geneva, 2023.

JOHN, Vanderley Moacyr. **Materiais de Construção e Meio Ambiente**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2017, v. 1, p. 95-118.

JOHN, Vanderley Moacyr; OLIVEIRA, Daniel Pinho de; LIMA, José Antonio Ribeiro de. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**. Documento 2.4 - Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais. São Paulo, 2007.

KLINK, Carlos Augusto; MACHADO, Ricardo Bomfim. Conservation of the Brazilian **Cerrado**. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707-713, jun. 2005.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>. Disponível em:
<https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>. Acesso em: 25 abr. 2024.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2016.
 Disponível em:
https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 07 jul. 2025.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; PEREIRA, Cláudia Donald; BATISTA, Juliana Oliveira. (Orgs.). **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 2010.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; BANDINI, Verônica; LUZ, Eduarda Cardoso da; FERROLI, Paulo Cesar Machado. **Ferramentas para Avaliação da Sustentabilidade nas Edificações (FASEs): Uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL)**. *Revista Jatobá*, Goiânia, v. 5, 2023. DOI: 10.5216/revjat.v5.76768. Disponível em:
<https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/76768>. Acesso em: 15 ago. 2025.

LUKIENTCHUKI, Marieli Azoia; CARAM, Rosana Maria; LABAKI, Lucila Chebel. A arquitetura bioclimática e a obra de João Filgueiras Lima (Lelé). In: KOWALTOWSKI, Doris Catharine Cornelie Knatz; MOREIRA, Daniel de Carvalho; PETRECHE, João Roberto Diego; FABRÍCIO, Marcio Minto. (Orgs.). **O processo de projeto em arquitetura: Da teoria à tecnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MACHADO, Roberta Carvalho. **Aspectos da sustentabilidade ambiental nos edifícios estruturados em aço**. Dissertação. Ouro Preto, 2010.

MARCATTO, Celso. **Educação ambiental: conceitos e princípios**. Belo Horizonte: FEAM, 2002.

MARQUES, Luiz. **Capitalismo e colapso ambiental**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2015.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lucía. **O Custo das Decisões Arquitetônicas**. 4. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2005.

MOORE, Jason W. (Org.). **Antropoceno ou Capitaloceno**. Natureza, história e crise do capitalismo. 1ª Ed. São Paulo: Editora Elefante, 2022.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva; MORAIS, Paola Waleska Pereira; ROCHA, Glayce Nayara; TAVARES, Joicimara da Costa; GONÇALVES, Gabrielle Cristina; CHAGAS, Marcela Aleixo; MAGESTE, Jalson Luiz; LUCAS, Taiza de Pinho Barroso. **Tijolo de solo-cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Revista e-xacta. Editora UniBH: Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p. 13-26, 2014.

PEDROSO, Fábio Luís. **Concreto**: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. Concreto & Construções, São Paulo, ano XXXVII, Nº 53, p. 14-19, 2009.

PELÁ, Márcia; CASTILHO, Denis. (Orgs.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. 1ª Ed. Goiânia: Editora Vieira, 2010.

PEREIRA, Alessandro Guimarães. **Técnicas de construção**. Brasil, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. Brasília, 2007.

PEREIRA, Márcio da Costa. **Habitação e meio ambiente**: Uma abordagem crítica para o projeto sustentável. Dissertação. Curitiba, 2003.

PIERRO, Bruno de. Raízes do ambientalismo Exploração no período colonial e contracultura marcaram a trajetória dos estudos e a defesa do meio ambiente no Brasil. **Revista Pesquisa FAPESP**. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/raizes-do-ambientalismo/>. Acesso em: 01 nov. 2025.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**. Métodos e Técnicas de Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2ª Ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. **As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe. (Orgs.). Cerrado: ecologia e flora. V. 2. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS, 2008. P. 151-212.

RODRIGUES, Antônio Rony da Silva Pereira. **Sustentabilidade aplicada à construção civil**: Uma revisão de literatura. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental. v. 11, n. 4, p. 198-211, dez. 2022. DOI:

<https://doi.org/10.59306/rgsa.v11e42022198-211>. Disponível em:
https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/12472. Acesso em: 22 jul. 2023.

ROMERO, Marcelo de Andrade. Apresentação. In: GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. (Orgs.). **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 7-10, 2015.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 3 ed. 128 p. Editora da UnB. Brasília, 2013.

ROMERO, Marta Adriana Bustos; SILVA, Caio Frederico e; TEIXEIRA, Ederson Oliveira. (Orgs.). **Reabilitação ambiental sustentável arquitetônica e urbanística**. Registro de curso de especialização à distância. 3. ed. Brasília, DF: LaSUS FAU: Editora da UnB. Brasília, 2021.

RORIZ, Maurício. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, 2012.

SANTOS, Mauro Augusto dos; BARBIERI, Alisson Flávio; CARVALHO, José Alberto Magno de; MACHADO, Carla Jorge. **O cerrado brasileiro: notas para estudo**. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2010. Disponível em:
<https://jbb.ibict.br/bitstream/1/350/1/Santos%2c%202010%20Cerrado.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2024.

SANTOS, Simone Souza. **Arquitetura e gestão ambiental**: Um projeto como instrumento para a promoção da sustentabilidade. Monografia. São Caetano do Sul, 2012.

SCHERER-WARREN, Ilse. **Das mobilizações às redes de movimentos sociais**. Sociedade e Estado, v. 21, n. 1. p. 109-130. Brasília, 2006.

SILVA, Caio Frederico e; GÓES, Thiago Montenegro. (Orgs.). **Dicas bioclimáticas para um projeto mais sustentável**. ed. 1. LaSUS FAU: Editora UnB. Brasília, 2022.

SILVA, Dweison Nunes Souza da; GOMES, Edvânia Tôrres Aguiar. O Uso da Sustentabilidade como Argumento Legitimador da Artificialização da Natureza e do Social no Capitalismo Contemporâneo. **Revista Pesquisa em Educação Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 26-42, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.18675/2177-580X.2019-13461>.

SILVA, Vanessa Gomes; SILVA, Maristela Gomes da. Seleção de materiais e edifícios de alto desempenho ambiental. In: GONÇALVES, Joana Carla Soares; BODE, Klaus. (Orgs.). **Edifício ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, p. 129-147, 2015.

TAVARES, Simone Fernandes. **Conceituação e caracterização de Tecnologia Construtiva de Baixo Carbono - TCBC**: arquitetura e construção sustentável em discussão. 2022. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2022.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-06122022-120020/>. Acesso em: 20 dez. 2025.

TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; LIMA, Ricardo Arcanjo de. **O solo modificado pelo homem (solo antrópico) como artefato arqueológico**. IV Seminário de Preservação de Patrimônio Arqueológico, p. 123-142. Rio de Janeiro, 2016.

VALDEZ, Silvia. (Coord.). **Manual de boas práticas para recuperação da vegetação nativa em terras indígenas**: bioma cerrado. 1ª ed. Brasília: Funai, 2022.

VECCHIA, Francisco Arthur da Silva; TECH, Adriano Rogério Bruno; NEVES, Gustavo Zen de Figueiredo. (Orgs.). **Climatologia dinâmica**: conceitos, técnicas e aplicações. São Carlos: RiMa Editora, 2020.

WALSH, Angélica; CÓSTOLA, Daniel; LABAKI, Lucila. **Proposta de zoneamento climático brasileiro para edificações residenciais**. São Paulo: Angélica Walsh, 2023, 1º ed. 102 p. ISBN: 978-65-00-62282-9.