



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL**

LARISSA DUARTE GALVÃO

**ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO: TEORIA E
APLICABILIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL NO
CARIRI CEARENSE**

CRATO-CE

2022

LARISSA DUARTE GALVÃO

ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO: TEORIA E
APLICABILIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL NO
CARIRI CEARENSE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável. Área de Concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável. Linha de Pesquisa: Meio Ambiente. Sublinha de Pesquisa: Hidrologia estocástica, sustentabilidade do ambiente construído e gestão ambiental.

Orientador: Profa. Dra. Celme Torres Ferreira da Costa.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé.

CRATO-CE

2022

LARISSA DUARTE GALVÃO

ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO: TEORIA E
APLICABILIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL SUSTENTÁVEL NO
CARIRI CEARENSE

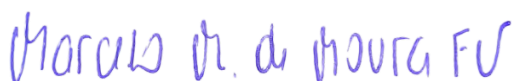
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, da Universidade Federal do Cariri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável. Área de Concentração: Desenvolvimento Regional Sustentável. Linha de Pesquisa: Meio Ambiente. Sublinha de Pesquisa: Hidrologia estocástica, sustentabilidade do ambiente construído e gestão ambiental.

Aprovada em 09/05/2022.

BANCA EXAMINADORA



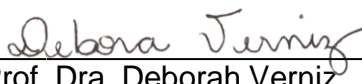
Profa. Dra. Celme Torres Ferreira da Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Cariri – UFCA / Presidente da banca



Prof. Dr. Marcelo Martins de Moura Fé (Coorientador)
Universidade Federal do Cariri – UFCA / Avaliador Interno



Prof. Dra. Deborah Macêdo dos Santos
Universidade Federal do Cariri – UFCA / Avaliadora externa



Prof. Dra. Deborah Verniz
University of Missouri System - UM System / Avaliadora externa

Cataloging in Publication
Universidade Federal do Cariri
Library System

G182a Galvão, Larissa Duarte.

Arquitetura sustentável e bioconstrução: teoria e aplicabilidade para o Desenvolvimento Regional Sustentável no Cariri cearense/Larissa Duarte Galvão. – 2022.
126 f.: il. color.30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2022.

Orientação: Profª. Dra. Celme Torres Ferreira da Costa
Coorientação: Dr. Marcelo Martins de Moura Fé

1. Projeto Arquitetônico. 2. Soluções Ecoeficientes Integradas. 3. Região Metropolitana do Cariri. 4. Construção Civil. 5. Sustentabilidade.

I. Costa, Celme Torres Ferreira da. II. Fé, Marcelo Martins de Moura. III. Título.

Índice para catálogo sistemático
Bibliotecário: João Bosco Dumont do Nascimento - CRB 3/1355

CDD 720
CDD 338.927

Esse trabalho é dedicado à memória dos meus avós Luiz Segundo Duarte e Maria Madalena de Miranda Duarte. Pelo legado de educação, formação, trabalho e justiça.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Camila Osugi, Cintia Lins e Valdo Figueiredo por terem valorizado minha experiência profissional e serem os primeiros a me concederem a oportunidade de estar em sala de aula. Separar referências para apresentar uma aula foi o primeiro passo para concluir essa dissertação. Agradeço aos meus alunos, com quem tive a oportunidade de ensinar e de aprender.

Num segundo momento gostaria de agradecer a Marilia Oliveira, por me apresentar às pessoas mais preparadas dessa região, por ter me apresentado o Programa de Desenvolvimento Regional Sustentável e junto com ela agradecer ao meu colega arquiteto André Luiz Pinheiro que me confiou a disciplina de arquitetura sustentável na extinta Faculdade de Juazeiro do Norte; ambos por terem me orientado e me oferecido ferramentas na trajetória para ser aprovada neste programa de pós graduação.

Meu muito obrigada à minha orientadora Celme Torres e ao meu coorientador Marcelo Martins que juntos aceitaram o desafio de orientar uma pesquisa no campo da arquitetura. Obrigada pela paciência, pelo rigor e pela orientação fundamental para que esse trabalho fosse concluído. Agradeço também à prof^a Laudeci Martins por ter me amparado no momento de maior dificuldade, quando perdi a coragem exigida pelos desafios da escrita científica, por não me deixando desistir.

Muito obrigada à minha parceira de vida, Elis, à minha amiga Fernanda Rocha, por terem me ajudado na escrita do texto e me ensinado tanto; por terem estado comigo nos momentos de angústias e inseguranças – que foram muitos.

Muito obrigada, meu Deus, por essa concessão e muito obrigada, Nossa Senhora de Fátima, pela tua intercessão. Obrigada à minha família, que tolera minha ausência para me ver crescer e à minha companheira pelo afeto e cuidado dispendido especialmente no processo de conclusão dessa pesquisa de mestrado.

“Meu principal interesse foi sempre ficar receptivo à realidade ao meu redor, de forma criativa. Percebendo uma oportunidade, uma abertura, onde outros não vêem..”

(Johan Van Lengen)

RESUMO

A construção civil tem forte impacto na crise ambiental mundial que vivemos por trabalhar com formas de produção insustentáveis, nocivas em sua interferência no meio ambiente. As construções residenciais, por terem forte participação nesse setor, também são alvo de preocupação para mudanças de práticas necessárias. Diante dessa problemática, o presente estudo se debruça na análise de como projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares podem nortear o setor da construção civil de maneira mais sustentável. A partir de um objetivo geral que buscou investigar a relação de projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares com critérios ambientais, econômicos e sociais de sustentabilidade voltados à construção civil, teve como objetos empíricos de estudo duas residências unifamiliares localizadas no Cariri cearense (municípios de Crato e Missão Velha), projetadas e cujas execuções foram gerenciadas pela autora da pesquisa. O estudo teve naturezas qualitativa e exploratória, e acionou diversos procedimentos metodológicos, dentre os quais se destacam: a revisão bibliográfica, que deu embasamento teórico para discussões e para a criação de um método de análise; e estudos de caso, que serviram para avaliar a aplicabilidade da teoria na prática. Dentre os principais resultados alcançados tem-se: a demonstração de como Soluções Ecoeficientes Integradas podem favorecer construções menos agressivas ao meio ambiente, sem deixar a desejar na qualidade construtiva e de habitabilidade para seus usuários; a correlação dessas soluções não apenas com as três dimensões da sustentabilidade, mas com as intersecções existentes entre elas; a necessidade de pensar o projeto arquitetônico articulado com a sua execução e com toda a cadeia produtiva da construção; e a ratificação da viabilidade ambiental, econômica e social da bioconstrução frente a outras construções convencionais, seguindo tendência apresentada em estudos que vêm sendo realizados na área. Nas conclusões do trabalho são relatadas as metas alcançadas, as limitações da pesquisa, suas principais contribuições acadêmicas, sociais e para um desenvolvimento regional sustentável, bem como as perspectivas futuras esperadas frente a sua apresentação à comunidade.

Palavras-chave: Projeto Arquitetônico; Soluções Ecoeficientes Integradas; Região Metropolitana do Cariri; Construção Civil; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Civil construction has a strong impact on the global environmental crisis that we are experiencing by working with unsustainable forms of production, harmful in their interference in the natural environment. Residential constructions, due to their strong participation in this sector, are also a matter of concern for necessary changes in practices. Faced with this problem, the present study leans over on the analysis of how single-family residential architectural projects can guide the construction sector in a more sustainable way. From a general objective that sought to investigate the relationship of single-family residential architectural projects in Cariri Cearense with environmental, economic and social sustainability criterias focused at civil construction, had as empirical study objects two single-family homes located in Cariri Cearense (municipalities of Crato and Missão Velha), projected and whose executions were managed by the research author. The study had a qualitative and exploratory nature, and triggered several methodological procedures, among them stand out: the bibliographic review, which provided the theoretical basis for discussions and for the creation of an analysis method; and case studies, which were used to assess the applicability of theory in practice. Among the mainly results achieved are: the demonstration of how Integrated Eco-Efficient Solutions can favor constructions that are less aggressive to the environment, without leaving anything to be desired in terms of construction and habitability for their users; the correlation of these solutions not only with the three dimensions of sustainability, but with the intersections between them; the need to think about the architectural project articulated with its execution and with the entire production chain of construction; and the ratification of the environmental, economic and social viability of bioconstruction faced to other conventional constructions, following a trend presented in studies that have been carried out in the area. In the conclusions of the work are reported the goals achieved, the limitations of the research, its main academic and social contributions and for a sustainable regional development, as well as the future perspectives expected in front of its presentation to the community.

Keywords: Architectural Design; Integrated Eco-Efficient Solutions; Metropolitan Region of Cariri; Construction; Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Grupos de produtos com maior participação no setor da construção civil, em 2019 (valores em percentual)..... | 13 |
| Figura 2 – Infográfico com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável..... | 23 |
| Figura 3 – Dimensões da Sustentabilidade e suas inter-relações | 24 |
| Figura 4 – Evolução da abrangência das problemáticas desde Arquitetura Solar até a Arquitetura Sustentável..... | 28 |
| Figura 5 – Arg-e Bam, edifício construído com tijolos de terra crua entre os séculos VI a.C. e IV a.C, na região do Irã | 29 |
| Figura 6 – Edifício de taipa de pilão localizado na cidade de Weilburg, Alemanha ... | 30 |
| Figura 7 – Esquema representativo das técnicas construtivas aplicadas em edificações monumentais do Peru, envolvendo madeira e técnicas em terra..... | 31 |
| Figura 8 – Exemplos de técnicas que reintroduzem a quincha na arquitetura chilena, por meio da apropriação de novos materiais, como cimento e metal. | 31 |
| Figura 9 – Exemplo de casa contemporânea chilena que emprega técnicas de terra. Casa “Munita González” (Patricio Arias e escritório Surtierra Arquitectura)..... | 32 |
| Figura 10 – Mestre bovedeiro Andrés Flores iniciando a marcação dos tijolos da abóbada..... | 33 |
| Figura 11 – Assentamento dos tijolos da abóbada | 33 |
| Figura 12 – Coberta com abóboda finalizada..... | 33 |
| Figura 13 – Grande Maloca com as paredes inteiras construídas com painéis de casca de árvore pintada..... | 36 |
| Figura 14 – Infográfico conhecido como “Flor da Permacultura”, inspirado em Holmgreen (2013) | 38 |
| Figura 15 – Categorias de soluções ecoeficientes a serem consideradas para projetos mais sustentáveis | 42 |
| Figura 16 – Etapas da pesquisa..... | 52 |
| Figura 17 – Localização e municípios da Região Metropolitana do Cariri..... | 53 |
| Figura 18 – imagem de satélite localizando a casa JHP na malha urbana do Crato | 62 |
| Figura 19 – Montagem com imagens 3D do projeto elaborado (imagens acima e à esquerda) e com a foto da residência construída (à direita, abaixo)..... | 64 |
| Figura 20 – Implantação da edificação no terreno contendo algumas soluções projetuais adotadas..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| Figura 21 – Planta do pavimento térreo | 67 |
| Figura 22 – Planta do pavimento superior | 68 |
| Figura 23 – planta de localização do lote no bairro do Grangeiro, com destaque para a mata ciliar do Riacho Saco Lobo | 70 |
| Figura 24 – corte da edificação da casa JHP, mostrando a ventilação pelas aberturas leste-oeste | 72 |
| Figura 25 – Experiências de trocas de conhecimentos no canteiro de obra com a comunidade local | 80 |
| Figura 26 – elaboração de matérias primas utilizadas na obra por parte de fornecedores da região | 82 |
| Figura 27 – foto de "Seu Jaime", como é conhecido o mestre de ofício que mantém a tradição de fabricação de ladrilhos hidráulicos na região do cariri cearense | 82 |
| Figura 28 – Localização da casa JC entre as malhas urbanas de Juazeiro do Norte, Missão Velha e Barbalha..... | 87 |
| Figura 29 – Imagem 3D do projeto elaborado para a residência | 89 |
| Figura 30 – fotografia da construção da residência em andamento | 89 |
| Figura 31 – Planta de pavimento da residência JC | 90 |
| Figura 32 – Corte esquemático da residência JC..... | 90 |
| Figura 33 – Imagem de satélite contendo a implantação da edificação no lote e seu entorno..... | 92 |
| Figura 34 – Croqui esquemático da implantação do projeto da residência | 92 |
| Figura 35 – Palestra ministrada por um dos trabalhadores da construção para estudantes do curso de arquitetura e urbanismo de uma instituição privada de Juazeiro do Norte..... | 100 |
| Figura 36 – Gráfico da série história que mostra a transformação do custo médio do metro quadrado da construção civil no Brasil ao longo de décadas | 106 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Técnicas de Bioconstrução..... | 34 |
| Quadro 2 – Relação da arquitetura sustentável e da bioconstrução com as três dimensões da sustentabilidade (social, ambiental e econômica)..... | 39 |
| Quadro 3 – Soluções ecoeficientes por categoria | 43 |
| Quadro 4 – Estratégias Bioclimáticas adaptadas aos projetos | 44 |
| Quadro 5 – Tipos de materiais sustentáveis e reciclados | 45 |
| Quadro 6 – Soluções para geração de energia | 47 |
| Quadro 7 – Soluções para o uso do paisagismo produtivo no projeto arquitetônico. | 47 |
| Quadro 8 – Certificações de construção sustentável (nacionais e internacionais).... | 49 |
| Quadro 9 – Classificação dos critérios adotados nos sistemas de certificação de construção sustentável existentes no mercado, de acordo com as três dimensões da sustentabilidade | 56 |
| Quadro 10 – Critérios de avaliação da sustentabilidade nas dimensões ambiental e econômica | 59 |
| Quadro 11 – Critérios de avaliação da sustentabilidade na dimensão social..... | 60 |
| Quadro 12 – Ficha técnica do estudo de caso 1 – casa JHP | 63 |
| Quadro 13 – Ficha técnica do estudo de caso 2 - casa JC | 88 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| AQUA | Alta Qualidade Ambiental |
| BET | Bacia de Evapotranspiração |
| BIM | <i>Building Information Modeling</i> |
| BREEAM | <i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i> |
| CAU | Conselho de Arquitetura e Urbanismo |
| CMMAD | Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento |
| CNUMAD | Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento |
| CO2 | Dióxido de Carbono |
| COVs | Compostos Orgânicos Voláteis |
| CSP | Companhia Siderúrgica do Pecém |
| CUB | Custo Unitário Básico |
| DGNB | Certificação do Conselho de Construção Sustentável da Alemanha |
| EPIs | Equipamentos de Proteção Individual |
| ESA | Econômica, Social e Ambiental (método de análise das três dimensões de sustentabilidade) |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDH | Índice de Desenvolvimento Humano |
| IPCC | Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas |
| IPEC | Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado |
| LED | <i>Light Emitting Diode</i> |
| LEED | <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i> (Liderança em Energia e Design Ambiental) |
| MDF | Fibras de Média Densidade |
| ODS | Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PET | Poli Tereftalato de Etila |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PNUMA | Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente |
| PROCEL | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica |

- PRODER Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável
- RM Cariri Região Metropolitana do Cariri
- SAAEC Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato
- SINAPI Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
- WCED *World Commission on Environment and Development* (Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento)
- WASP *World's Advanced Saving Project*

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 2.1 | A ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO COMO ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DOS IMPACTOS DO HOMEM NO MEIO AMBIENTE | 19 |
| 2.1.1 | <i>Do movimento ecológico ao “tripé da sustentabilidade”: uma breve contextualização</i> | 19 |
| 2.1.2 | <i>Sustentabilidade x arquitetura: marcos conceituais.....</i> | 25 |
| 2.2 | POSSIBILIDADES PARA UMA ARQUITETURA MAIS SUSTENTÁVEL .. | 40 |
| 2.2.1 | <i>Soluções Ecoeficientes Integradas</i> | 42 |
| 2.2.2 | <i>Parâmetros de avaliação de viabilidade e eficiência.....</i> | 48 |
| 3 | METODOLOGIA DA PESQUISA..... | 51 |
| 3.1 | DELIMITAÇÃO DO CAMPO | 52 |
| 3.2 | ESTUDOS DE CASO | 54 |
| 3.3 | CRIAÇÃO DE MÉTODO DE ANÁLISE | 55 |
| 3.4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS | 61 |
| 3.5 | RESULTADOS..... | 61 |
| 4 | ESTUDOS DE CASO | 62 |
| 4.1 | ESTUDO DE CASO 01 - CASA JHP, CRATO-CE | 62 |
| 4.1.1 | <i>Ficha Técnica.....</i> | 63 |
| 4.1.2 | <i>Imagens da edificação e do projeto arquitetônico</i> | 63 |
| 4.1.3 | <i>Análise das dimensões ambiental e econômica.....</i> | 68 |
| 4.1.3.1 | <i>Implantação e integração com o Entorno</i> | 68 |
| 4.1.3.2 | <i>Projeto e Meio Ambiente</i> | 70 |
| 4.1.3.3 | <i>Eficiência na utilização/gestão de recursos:.....</i> | 72 |
| 4.1.3.4 | <i>Inovação:</i> | 77 |
| 4.1.3.5 | <i>Gerenciamento:</i> | 78 |
| 4.1.4 | <i>Análise da dimensão social</i> | 79 |
| 4.1.4.1 | <i>Responsabilidade social (meio ambiente, comunidade, governo e sociedade).....</i> | 79 |
| 4.1.4.2 | <i>Valores e transparência, fornecedores</i> | 81 |
| 4.1.4.3 | <i>Público interno.....</i> | 84 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 4.1.4.4 | <i>Relação com os funcionários</i> | 84 |
| 4.2 | ESTUDO DE CASO 02 - CASA JC, MISSÃO VELHA-CE..... | 87 |
| 4.2.1 | <i>Ficha Técnica</i> | 88 |
| 4.2.2 | <i>Imagens da edificação e do projeto arquitetônico</i> | 88 |
| 4.2.3 | <i>Análise das dimensões ambiental e econômica</i> | 91 |
| 4.2.3.1 | <i>Implantação e integração com o Entorno</i> | 91 |
| 4.2.3.2 | <i>Projeto e Meio Ambiente</i> | 93 |
| 4.2.3.3 | <i>Eficiência na utilização/gestão de recursos</i> | 95 |
| 4.2.3.4 | <i>Inovação</i> | 98 |
| 4.2.3.5 | <i>Gerenciamento</i> | 98 |
| 4.2.4 | <i>Análise da dimensão social</i> | 99 |
| 4.2.4.1 | <i>Responsabilidade social (meio ambiente, comunidade, governo e sociedade)</i> | 99 |
| 4.2.4.2 | <i>Valores e transparência, fornecedores</i> | 101 |
| 4.2.4.3 | <i>Público interno</i> | 101 |
| 4.2.4.4 | <i>Relação com os funcionários</i> | 102 |
| 5 | DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 105 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 109 |
| | REFERÊNCIAS | 112 |
| | ANEXO A – CRITÉRIOS DA SUSTENTABILIDADE | 121 |

1 INTRODUÇÃO

Vivemos uma crise ambiental – que vem sendo agravada nos últimos anos – decorrente de formas de exploração e produção insustentáveis, tendo o setor da construção civil um papel significativo nessas formas nocivas de interferência no meio ambiente. São exemplos dos principais impactos da indústria da construção¹:

Entre os principais impactos da indústria da construção citam-se: 30% das emissões globais de gases de efeito estufa são atribuídos aos edifícios; o setor da construção é o maior consumidor de recursos e de matérias-primas, consumindo cerca de 50% da produção global de aço e, a cada ano, 3 bilhões de toneladas de matérias-primas são usadas para fabricar produtos de construção em todo o mundo¹¹; entre 40% a 60% do volume de resíduos em centros urbanos maiores que 500.000 habitantes são oriundos de processos construtivos; os edifícios são responsáveis por 25% a 40% do uso de energia global, o que contribui com as emissões de CO₂. Além disso, o inchaço dos centros urbanos demanda o uso de água, infraestruturas de saneamento, mobilidade e de informação digital (CNI, 2017, p. 39).

Embora o estudo da história da humanidade demonstre que os materiais mais utilizados para construir habitações eram os naturais, encontrados com abundância nas regiões onde eram erguidas as construções (MINKE, 2015), com os avanços industriais trazidos pela modernidade (incluindo o concreto armado), os materiais naturais passaram a ser vistos com desdém e como símbolo de pobreza (OLENDER, 2006). O que poderia ser considerado um avanço (pelo aumento da capacidade de vencer maiores vãos com mais resistência), acabou se convertendo em um modelo hegemônico que “[...] colocou a construção civil como uma das indústrias mais poluentes, responsável por consumir mais da metade da matéria-prima produzida no planeta” (LACERDA, 2021).

Dito modelo têm ainda mais impacto nas ações de insustentabilidade ambiental devido a, pelo menos, dois fatores associados entre si. O primeiro é que a demanda por moradias apresenta forte expressividade na construção civil – setor que representa cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016). Como mostra a Figura 1, de acordo com dados coletados em 2019 e publicados em 2021, as obras residenciais foram os produtos de maior participação no setor.

¹ O termo indústria da construção, a construção civil e o setor da construção são considerados sinônimos que compreendem uma cadeia produtiva composta pelos segmentos de extração, suprimentos, comércio e serviços e construção (CNI, 2017).

O segundo fator relaciona-se ao modelo de atendimento das demandas de moradias. Em grandes cidades passou-se a priorizar a verticalização das construções, potencializando a adoção do ferro e do concreto em muitas localidades.

Contudo, o que parece ser desconsiderado em muitos casos é que podem ser adotadas estratégias menos agressivas para o atendimento das necessidades habitacionais, inclusive do ponto de vista da adequação do edifício às condições climáticas do contexto onde é inserido. Essas ações podem ser ainda mais eficientes em cidades de pequeno e médio porte, uma vez que nestas a demanda por verticalização ainda não é tão forte, sendo mais fácil a construção de pequenas unidades habitacionais, mais favoráveis à criação de construções com terra.

Figura 1 – Grupos de produtos com maior participação no setor da construção civil, em 2019 (valores em percentual)



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Serviços e Comércio, Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2019 (IBGE, 2021, p. 4).

Como aponta Zambrano (2008), é preciso considerar as limitações do meio ambiente:

Admitindo-se que o ecossistema não suporta indefinidamente os impactos e as pressões que agem sobre ele, existe um limite até o qual ambiente é capaz de suprir as necessidades do homem ao longo do tempo, sem seu esgotamento, bem como de se recompor de danos que sobre ele venham a incidir. A partir desse limite, os

recursos podem esgotar-se e os danos são irreversíveis, modificando definitivamente tal ecossistema (ZAMBRANO, 2008, p. 76).

Sabe-se que a escolha das técnicas construtivas e dos materiais adotados é fundamental para garantir a qualidade de vida das pessoas para as gerações atuais e futuras. E para isso são desejáveis diretrizes como o planejamento sustentável das obras, o aproveitamento passivo dos recursos naturais, o uso racional e eficiente de energia, água e outros materiais, bem como gestão dos resíduos na edificação e fornecimento de qualidade dos ambientes nos quesitos ar, temperatura e som (ARAÚJO, s/d). Por isso, entende-se que o campo da arquitetura deve estar diretamente envolvido na busca por um desenvolvimento sustentável, uma vez que é parte fundamental do planejamento de construções.

O exercício dessa profissão, realidade cotidiana da autora do presente texto, implica constantes intervenções no meio ambiente para satisfazer determinadas demandas/expectativas de indivíduos e/ou grupos de indivíduos da sociedade. A depender das escolhas realizadas, pode-se impactar negativamente as mais diversas dimensões da vida humana: desde a ambiental (quando os dejetos da construção civil não possuem maneiras de serem reciclados e acabam em algum aterro municipal), passando pela econômica (quando as escolhas feitas geram maior gasto de recursos financeiros e da natureza), indo até a social, no tocante às condições de vida e de saúde dos moradores das construções erguidas. Um exemplo dessa última é quando as soluções espaciais adotadas não promovem um adequado conforto térmico e/ou são adotados materiais nocivos em revestimento (“[...] como tintas frescas, colas, adesivos para aglomerados de madeira, cera de chão, desinfetantes, carpetes [...]”) ou mesmo quando os produtos são feitos com esses compostos danosos (“[...] como móveis feitos de madeiras prensadas, agentes de limpeza, tintas, solventes e fotocopiadoras, que exalam compostos orgânicos voláteis (COV's²), como o formaldeído”) (DILGUERIAN, 2005, p. 32).

Compreende-se que os projetos arquitetônicos, enquanto instrumentos de planejamento de construções residenciais, podem e devem ser utilizados como estratégia de desenvolvimento sustentável, corroborando o necessário enfrentamento da citada crise ambiental. É por isso que a arquitetura bioclimática ganhou importância dentro do conceito de sustentabilidade, devido à “[...] estreita

2 São substâncias químicas cuja base é o carbono. Evaporam à temperatura e à pressão ambiente, originando partículas voláteis prejudiciais não só para a saúde das pessoas, mas, principalmente, para o meio ambiente (GUÍO, 2013).

relação entre o conforto ambiental e o consumo de energia, que está presente na utilização dos sistemas de condicionamento ambiental artificial e de iluminação artificial” (GONÇALVES; DUARTE, 2006, p. 52).

Diante da problemática apresentada, o presente estudo se debruça na análise de como projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares podem nortear o setor da construção civil de maneira mais sustentável, demonstrando-se como novas construções respondem a questões como eficiência em gastos de recursos naturais, impacto no meio ambiente e rebatimentos em questões sociais (identitárias, de qualidade de vida, etc.) relativas aos usuários finais de edificações.

A pesquisa justifica-se, pois, por constituir um benefício para a sociedade, como um todo e especificamente para a comunidade acadêmica, que terá em mãos estratégias práticas de operacionalização de conceitos tão caros à humanidade. Afinal, nas áreas acadêmicas e profissionais ainda é extremamente baixa a inserção das práticas ambientais e ecológicas, tanto na grade dos cursos de Arquitetura e Urbanismo quanto nas práticas projetuais de arquitetos e escritórios no país (D'ÁVILA, 2008).

Apesar dessa lacuna, alguns documentos e autores de relevâncias nacional e internacional já trouxeram contribuições para o avanço sobre a temática. O relatório da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991) – conhecido como Relatório Brundtland, de 1987 –, embora lançado há pouco mais de três décadas, segue sendo uma referência no tema por apresentar conceituações e pautas local e globalmente importantes. Nele a “arquitetura sustentável” é associada ao termo desenvolvimento sustentável, cuja premissa “é atender às necessidades das gerações atuais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas necessidades e aspirações” (CMMAD, 1991, p. 46).

A preocupação da comunidade internacional com a temática da sustentabilidade precedeu e sucedeu o supracitado relatório, cabendo destacar avanços como os: da Agenda 21 (elaborada em evento ocorrido no Rio de Janeiro, em 1992), que ampliou o escopo do debate para abarcar os padrões insustentáveis de produção e consumo e as pressões demográficas; e dos novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), elaborados no âmbito da Cúpula de Desenvolvimento Sustentável – ocorrida em 2015, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) –, conformando a Agenda 2030, que atualiza o debate (ONU BRASIL, 2020).

Diante da ampliação dos diálogos sobre o tema, a arquitetura ganhou importância como estratégia pró-sustentabilidade, gerando diversos estudos que vêm investigando e valorizando materiais, técnicas e tecnologias de construção de edifícios que sejam menos danosas ao meio ambiente. Zambrano (2008), em sua tese, mostrou as gradativas preocupações incorporadas no campo da Arquitetura do ponto de vista da sua relação com o meio ambiente, caracterizando diferentes tipos de arquitetura: Solar (em resposta à crise energética); Bioclimática (valorizando o conforto interior das edificações); Ambiental, Verde ou Eco-eficiente (preocupando-se com a redução dos impactos ambientais) e Sustentável (sintonizada com as dimensões ambiental, sociocultural e econômica da sustentabilidade).

No bojo dos temas contemplados por pesquisas e práticas que envolvem materiais e técnicas menos danosos ao meio ambiente está a chamada bioconstrução. Mônica Olender (2006), que aprofundou estudo sobre o “pau-a-pique”, afirma que embora o termo bioconstrução seja contemporâneo em sua conceituação³, remonta às construções vernaculares e milenares, uma vez que “foi na natureza que este homem pré-histórico, há cerca de dez mil anos, encontrou os elementos necessários para construir seus abrigos: pedra, madeira, barro” (OLENDER, 2006, p.17).

Outros pesquisadores têm se debruçado nas tecnologias mais industrializadas, como Rafael Loschiavo Miranda (2015; 2017). Ele vem desenvolvendo estudos e práticas de projeto mais sustentáveis a partir de um conceito básico: Sistema Ecoeficiente. Segundo o autor, dito sistema é “aquele que consegue produzir mais e melhor, com menores recursos e menores resíduos” (MIRANDA, 2015, p. 04). Assim, o autor lançou um guia de soluções ecoeficientes integradas que constituem uma associação de diversas estratégias sustentáveis aplicadas à construção.

Nessa linha de análise de eficiências, há ainda pesquisas que contemplam parâmetros de avaliação de viabilidade e eficiência nas construções. São exemplos: Mello e Vieira (2020) compararam as viabilidades técnica, econômica e ambiental de edificações projetadas pelo método tradicional de construção e pelo uso de técnicas de bioconstrução; Sérgio Tavares (2006) analisou o ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras; Jéssica Cechella (2015) e Daniel Kovalechucki

³ Possuindo o prefixo bio (vida), traz a concepção de construções de edificações com vida (MINKE, 2015).

(2016) se debruçaram sobre critérios de certificação ambiental das construções; Lisiane Librelotto (2005) criou um modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil nas dimensões econômica, social e ambiental.

Diante do exposto, vê-se que todas as soluções voltadas a minimizar o impacto da construção civil no meio ambiente – com destaque para a demanda habitacional – são bem vindas. E considerando que algumas localidades podem, inclusive, trazer condições climáticas desafiadoras, urge que os projetos arquitetônicos de residências traduzam práticas sintonizadas com pensamentos mais sustentáveis.

Nesse contexto, a presente pesquisa busca responder a seguinte questão: **como projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares caririenses (sul do Ceará) podem se adequar a critérios ambientais, econômicos e sociais de sustentabilidade voltados à construção civil?**

Assim, o **Objetivo Geral** é investigar a relação de projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares caririenses (sul do Ceará) com critérios ambientais, econômicos e sociais de sustentabilidade voltados à construção civil, tendo como objetos empíricos de estudo duas residências unifamiliares localizadas no Cariri cearense.

Para alcançá-lo, os **Objetivos Específicos** foram:

- a) Compreender os discursos e avanços técnicos e políticos entorno do conceito da sustentabilidade aplicado ao campo da arquitetura (com rebatimentos na construção civil), tendo como enfoque a arquitetura sustentável, a bioconstrução e as soluções ecoeficientes integradas;
- b) Apresentar uma metodologia de análise para verificar, em estudos de caso selecionados, possibilidades projetuais arquitetônicas para residências unifamiliares mais sustentáveis;
- c) Avaliar como projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares, elaborados com Soluções Ecoeficientes Integradas, podem se adequar a critérios ambientais, econômicos e sociais de sustentabilidade.

A pesquisa, portanto, está inserida nos campos da arquitetura e da construção civil, tendo por objeto de análise a relação desses campos com o desenvolvimento regional sustentável a partir das dimensões social, ambiental e econômica. Inserida no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável –

PRODER (oferecido pela Universidade Federal do Cariri), incrementa um leque de pesquisas que vêm sendo desenvolvidas na escala do desenvolvimento econômico, social e ambiental da região do Cariri, fomentando técnicas e soluções sustentáveis para a arquitetura e a construção civil.

Em linhas gerais, a pesquisa tem naturezas qualitativa e exploratória, e acionou diversos procedimentos metodológicos a partir da questão central já mencionada.

Destrinchando os métodos adotados de acordo com os objetivos específicos traçados, temos que: para o primeiro objetivo foi realizada uma revisão bibliográfica para subsidiar a elaboração de um referencial teórico, onde foram sintetizados alguns discursos e avanços técnicos e políticos relacionados à sustentabilidade e a seu reatamento no campo da arquitetura; para o segundo objetivo, também partindo de uma revisão bibliográfica, tomou-se como base duas referências que contribuíam na busca por responder a questão central da pesquisa, possibilitando a criação de um método de análise; para o terceiro e último objetivo foram utilizados dois objetos empíricos (duas edificações residenciais unifamiliares localizadas nos municípios de Missão Velha e de Crato, no cariri cearense) para trazer o debate teórico para uma situação real, tendo como procedimentos metodológicos a realização de estudos de caso envolvendo a aplicação do método de análise elaborado pelo segundo objetivo específico. É nessa última parte do trabalho que reside sua maior contribuição.

A estrutura da dissertação sintoniza-se com os objetivos específicos: após o capítulo da introdução, o capítulo 2 é dedicado ao referencial teórico, tratando da arquitetura sustentável e da bioconstrução como estratégias para a redução dos impactos do homem no meio ambiente, e das possibilidades para uma arquitetura mais sustentável (objetivo específico **a**); o capítulo 3 é destinado ao caminho metodológico percorrido, destrinchando o método de análise criado (objetivo específico **b**); e nos capítulos 4 e 5 quais foram apresentados, respectivamente, os estudos de caso e as discussões dos resultados obtidos sobre como os projetos e suas execuções se adequam ao tripé da sustentabilidade (objetivo específico **c**). Ao final foram tecidas considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo encontra-se dividido em duas etapas. Na primeira foi elaborada uma breve contextualização em torno do conceito da sustentabilidade, indo dos primeiros movimentos oriundos do campo da Ecologia, passando por marcos políticos internacionais e conceituais sobre o tema, chegando ao entendimento das três dimensões da sustentabilidade (social, ambiental e econômica) como estratégia importante para lidarmos com as crises ambientais que vivemos. Nesse ínterim, a bioconstrução foi enfatizada enquanto processo que precede, mas sintoniza-se com os preceitos de uma arquitetura mais sustentável.

Na segunda etapa do capítulo foram apresentadas possibilidades para arquiteturas mais sustentáveis, partindo do papel e das possibilidades das diretrizes nos projetos arquitetônicos (com enfoque nas soluções ecoeficientes integradas), mas também abarcando parâmetros de avaliação de viabilidade e eficiência das edificações (sejam eles apresentados por meio de estudos ou de certificações de construções, existentes no mercado) como instrumentos de auxílio aos projetistas e mesmo às diversas sociedades (enquanto mecanismos de controle, para verificação do modelo de desenvolvimento adotado nas suas respectivas localidades).

2.1 A ARQUITETURA SUSTENTÁVEL E BIOCONSTRUÇÃO COMO ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DOS IMPACTOS DO HOMEM NO MEIO AMBIENTE

2.1.1 Do movimento ecológico ao “tripé da sustentabilidade”: uma breve contextualização

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” (IAQUINTO, 2011, p. 29). Essa conhecida máxima, atribuída ao químico francês Antoine Laurent de Lavoisier, que viveu durante o século XVIII, foi título de um artigo de Kalinka Iaquinto (2011) no qual enfatizou como essa expressão nos traz, ainda hoje, reflexões pertinentes. Segundo a autora, num mundo globalizado e com cada vez mais consumidores como o nosso, o excesso de lixo tem sido um problema preocupante.

Aplicando essa célebre frase para um exemplo prático, podemos dizer que as coisas não podem ser simplesmente descartadas do planeta. Os resíduos vão para

algum local: um aterro, para ser incinerado ou enterrado; um centro de reciclagem, para ser reutilizado; ou para uma compostagem, onde os resíduos orgânicos podem voltar para a natureza e adubá-la. Então, quanto maior for a nossa preocupação com os destinos dos dejetos das nossas produções e consumos cotidianos, mais responsável será nossa existência junto à natureza.

Como o histórico do nosso modo de intervir na natureza, sobretudo a partir das estratégias de desenvolvimento urbano e econômico adotado em muitas localidades, temos vivenciado diversas mudanças climáticas e crises ambientais. A crise hídrica, alimentar e de recursos renováveis está cada vez mais próxima do cotidiano de toda a população; os desastres naturais estão ocorrendo com mais frequência; os novos vírus surgindo com maior intensidade.

Diante desse cenário, a sustentabilidade aparece como um possível ponto de inflexão para descontinuar a linha com crescimento vertiginoso rumo à destruição do meio ambiente e, conseqüentemente, da espécie humana. O termo está relacionado, primeiramente, com conceitos da ecologia, que tratam sobre a capacidade de sustentação ou conservação de processos biológicos, de forma a garantir a vida (VEIGA, 2010a).

Embora possamos considerar a Revolução Industrial como um divisor de águas para o início de uma alteração mais profunda no modo de vida adotado por diversas sociedades ao logo do planeta, as conseqüências do modo de crescimento desordenado da população na saúde do meio ambiente começam a ser sentidas depois. São exemplos disso os eventos de poluição atmosférica registrados em meados da Segunda Guerra Mundial e de contaminação de águas, nos anos 1950 (POTT; ESTRELA, 2017).

No livro “Primavera Silenciosa”, publicado primeiramente em 1962, a autora Rachel Carson traz à tona relatos sobre a alteração dos ciclos de vida nos ecossistemas, da fauna e da flora. Como bióloga marinha atuante nos Estados Unidos, ela compilou, desde a década de 1940, o relato de diversos fazendeiros sobre o que vinha afetando todo o ciclo biológico dos animais e da flora, bem como sobre os efeitos deletérios dos pesticidas (desenvolvidos, sobremaneira, após o encerramento da segunda guerra mundial) no meio ambiente, particularmente nas aves (CARSON, 2010). E essa preocupação da autora com o futuro do planeta reverberou por todo o mundo, sendo um pontapé para o movimento ecológico (BONZI, 2013).

Não é objetivo, da presente tese, apontar todos os marcos históricos em torno do conceito da sustentabilidade, mas trazer algumas contextualizações que permitam entender desdobramentos oriundos desse modo de ver e lidar com o mundo. É sabido, por exemplo, que a Conferência Intergovernamental para o Uso Racional e a Conservação da Biosfera, ocorrida em Paris (1968) e a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo (1972) foram eventos importantes para o debate sobre o uso sustentável da biosfera: no primeiro, enfatizou-se a necessidade de novas formas de desenvolvimento ecologicamente sustentáveis, já que o conceito de desenvolvimento, até então, estava relacionado apenas com a evolução sistemática de produção e às ideias de acumulação (de bens materiais, dinheiro e poder) ou com o grau de satisfação das necessidades humanas no âmbito individual (UNESCO, 1969; SACHS, 2002); no segundo foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e elaborada declaração que trata do direito de diferentes gerações ao uso criterioso dos recursos naturais para evitar o esgotamento ambiental. Cabe destacar que, dentre as prioridades do PNUMA esteve: os aspectos ambientais das catástrofes e conflitos; a gestão dos ecossistemas; a governança ambiental; o desenvolvimento sustentável; a eficiência dos recursos e as mudanças climáticas nos níveis nacional e global (ONU, 1972).

No âmbito das pesquisas e produções bibliográficas sobre o tema também cabem alguns destaques. Nos anos 1970 foi publicado o livro “Limites do Crescimento”, comissionado pelo Clube de Roma – uma organização internacional que discute problemas ambientais. Seus autores utilizaram-se de um sistema computacional para simular as consequências das interações entre os sistemas naturais do planeta e os sistemas humanos. Dentre as conclusões por eles apresentadas está a indicação de que, para que não se atinja o limite de crescimento do planeta, é preciso que se modifique as tendências de crescimento e se forme uma condição de estabilidade ecológica e econômica; quanto antes isso ocorrer, maiores são as chances de êxito (MEADOWNS et al., 1973).

Dentro da linha de pensamento sobre os limites do nosso planeta, a *Global Footprint Network* adaptou o conceito da “Pegada Ecológica” (criado por Mathis Wackernagel e William Rees no início de 1990) para analisar o impacto da ação humana na natureza. Junto ao *New Economics Foundation*, instituto independente britânico de pesquisas, estipularam cálculos para saber o “dia de sobrecarga da

terra”: é dizer, quando nosso planeta já não poderá mais sustentar nossa alta demanda por recursos ecológicos renováveis e os serviços que eles fornecem. De acordo com os dados e cálculos já realizados, é possível que atinjamos, bem antes da metade do século XXI, uma demanda de recursos equivalentes à produção de dois planetas (MUSEU DO AMANHÃ, 2016; FOOTPRINT NETWORK, 2021).

Do ponto de vista de um novo modelo de desenvolvimento desejável, ainda nos anos 1980, o economista polonês Ignacy Sachs sugere uma “ecologização” do sistema de produção de riquezas, denominado ecodesenvolvimento, articulando o desenvolvimento com a racionalidade no uso dos recursos ambientais. É importante frisar que sua teoria se baseia em três pilares: eficiência econômica, justiça social e prudência ecológica (SACHS, 1986), demonstrando a necessidade de pensarmos a sustentabilidade sob diversas óticas/dimensões.

Corroborando a importância de não apenas debater e disseminar esses conceitos em nível global, mas de criar instrumentos de orientação à criação de políticas sobre o tema, a ONU encabeçou diversas ações a respeito, dentre as quais podem ser citadas:

- a) Em 1983 criou a Comissão Mundial sobre o Ambiente e Desenvolvimento (WCED) para discutir estratégias para o desenvolvimento sustentável. Dita comissão publicou relatório contendo uma série de medidas deveriam ser tomadas pelos países para buscarem a harmonia entre o ser humano e a natureza (ou seja, o desenvolvimento sustentável), bem como para alarmar a população sobre os graves problemas ambientais que o planeta já vinha passando. (CMMAD, 1991; WCED, 1987);
- b) Em 1988 lançou o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), cujo objetivo central foi o de produzir relatórios periódicos a partir da revisão da literatura científica especializada nas mudanças climáticas, de modo a produzir informações úteis às tomadas de decisões políticas (DUARTE, 2019);
- c) Em 1992 realizou, no Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD). Mais conhecida como “Rio 92” ou “Cúpula da Terra”, a conferência reuniu mais de 179 países e teve como um dos principais frutos a Agenda 21, “um instrumento de planejamento para a construção de sociedades

sustentáveis [...] que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica”. (MMA, s/d, s/p);

- d) Em 2015 foi realizada a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, em Nova Iorque. No encontro foi elaborada uma agenda – acordada pelos 193 Estados-membros da ONU – intitulada “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. Além dos já conhecidos “17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (Figura 2), na declaração constam “169 metas, uma seção sobre meios de implementação e uma renovada parceria mundial, além de um mecanismo para avaliação e acompanhamento”. (ONU MULHERES, 2015, s/p). O Brasil está entre os países que estão sendo apoiados pela ONU na busca por avanços no alcance desses objetivos (ONU BRASIL, 2015?).

Figura 2 – Infográfico com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU BRASIL (s/d).

O recorte aqui apresentado (de algumas das ações desenvolvidas pela ONU sobre o tema) dá uma pequena dimensão do alcance, da importância e da complexidade dados às discussões sobre a sustentabilidade em nível internacional, que passou a incluir diversas nuances em torno do conceito. Sachs (2002), por exemplo, considera que o desenvolvimento sustentável só é alcançado quando são contempladas todas as suas dimensões (social; cultural; ambiental; econômica; espacial; psicológica; política nacional e internacional)⁴.

⁴ A pormenorização dessas categorias foi sistematizada no Apêndice A do presente trabalho.

Já a divisão conceitual trazida por John Elkington (1999) consiste numa tríplice dimensão: social, ambiental e financeira. Esse que ficou conhecido como tripé da sustentabilidade (ou, do inglês, *Triple Bottom Line*), representaria a expansão do modelo de negócio tradicional para um modelo que passa a considerar os aspectos ambientais e sociais de empresas e organizações, para além do financeiro. Motta e Aguilár (2009) apresentaram, em artigo sobre sustentabilidade e processos de projetos de edificações, uma representação sobre essas três dimensões e sobre as inter-relações entre elas (ver Figura 3):

Figura 3 – Dimensões da Sustentabilidade e suas inter-relações



Fonte: Motta e Aguilár (2009, p. 89).

Conforme se pode observar na figura 3, a busca por um desenvolvimento sustentável deve envolver, de modo equilibrado, as três dimensões (ambiental, sociocultural e econômica), de modo que, como metas, sejam planejadas ações “ambientalmente responsáveis, socialmente justas, economicamente viáveis” (MOTTA; AGUILAR, 2009, p. 88).

Tais estratégias são necessárias para os diversos campos do saber (dentre eles, o da arquitetura, o do urbanismo e o da construção civil), tanto no âmbito privado quanto no da administração pública. Contudo, frente aos diversos avanços conceituais e políticos já obtidos até o momento (e resumidamente apontados aqui), ainda não é possível sentir um reflexo expressivo dessa tendência na produção da

maioria dos arquitetos em atividade no país (VASCONCELLOS; PIRRÓ; NUDEL, 2006), tampouco na construção civil. Conforme afirma D'Ávila (2008), o conceito desenvolvimento sustentável ainda não vai além da superficialidade.

Considerando dados mais recentes apresentados pelo “Mapeamento de incentivos econômicos para a construção sustentável” (DANTAS et al., 2017), embora se reconheça, no país e no mundo, uma preocupação geral em relação ao meio ambiente e a interferência do ser humano no ecossistema do planeta, a participação do poder público mostra-se um tanto quanto tímida em relação ao seu papel neste novo cenário, sendo desejável que sociedade e empreendedores atuem para um maior investimento em uma política socioambiental eficiente.

No futuro, o que é universalmente considerado como uma edificação “boa”, “econômica” ou “eficiente em custo” também inclua o conceito de que ela é ecológica – mas ainda não chegamos lá (KWOK; GRONDZIK, 2013, p.9).

Se no presente ainda não percebemos uma sintonia entre os avanços do pensamento sustentável e a prática da construção civil, é válido refletirmos de que formas as dimensões da sustentabilidade se relacionam o campo da arquitetura e do urbanismo, no âmbito do qual são planejadas as edificações e seus diversos modos de agrupamentos.

2.1.2 Sustentabilidade x arquitetura: marcos conceituais

A relação da palavra sustentabilidade com a arquitetura é recente, tendo surgido com os debates acerca do necessário cuidado com o ambiente e o planeta, a nível mundial.

Historicamente, as questões ambientais sempre estiveram presentes na arquitetura, pois “o ambiente construído nasceu a partir da interação do homem com o meio ambiente” (ZAMBRANO, 2008, p. 50). Pela necessidade de proteção contra as intempéries climáticas, o ser humano acabou se refugiando em abrigos primitivos, o que se tornou a primeira função de uma edificação. Essas, então, acabaram evoluindo para oferecer conforto, segurança contra animais e espaço para realização de atividades laborais:

A necessidade do homem em construir abrigos surgiu quando ele percebeu que os alimentos poderiam ser obtidos a partir do cultivo da terra e da criação de animais. Nesse momento, a sua vida nômade torna-se sedentária e a proteção contra as intempéries e os ataques

de animais predadores passou a ter uma importância nunca antes pensada (OLENDER, 2006, p. 17).

Desde a época em que a figura do arquiteto projetista não existia – ou era restrita apenas à alta elite –, uma das principais habilidades dos construtores era a de conhecer as condições ambientais e climáticas, bem como os materiais disponíveis no local para melhor executar uma edificação:

Primeiramente, erguidos os esteios e interpostas as vergôntes, cobriam as paredes com barro. Outros construía paredes fazendo secar terras lamacentas ligando-as com peças transversais de madeira e, para evitar a chuva e o calor, cobriam-nas com caniços e folhagens. E depois que, por ocasião do inverno, as coberturas não puderam conter as chuvas, fizeram conduzir as águas pluviais por tetos inclinados instalando cumeeiras revestidas de barro (VITRÚVIO, 2002, p. 70).

A evolução da arquitetura está estritamente conectada às mudanças das várias sociedades ao longo da história (ZAMBRANO, 2008). Foram empregados, nas construções, os métodos construtivos e os materiais possíveis de serem encontrados em cada região, havendo incorporação de novas técnicas e tecnologias (para dar maior durabilidade e segurança aos edifícios) sempre que existentes. E um marco histórico que contribuiu no avanço de técnicas e na incorporação de novos materiais às construções foi a Revolução Industrial:

[...] a Revolução Industrial modifica a técnica das construções, embora possa fazê-lo de maneira menos visível do que em outros setores. Os materiais tradicionais, pedra, tijolos e telhas, madeira, são trabalhados de modo racional e são distribuídos de maneira mais liberal; a eles, juntam-se novos materiais, tais como o ferro gusa, o vidro e mais tarde o concreto; os progressos da ciência permitem que os materiais sejam empregados de maneira mais conveniente e que sua resistência seja medida; melhora-se o aparelhamento dos canteiros de obras e difunde-se o uso das máquinas de construir (BENEVOLO, 2001, p. 35).

A expressão destes novos materiais se refletiu fortemente na arquitetura e no urbanismo modernos. Mas como aponta Letícia Zambrano (2008), foi nesse período (iniciado por volta de princípios do século XX) que se iniciou um processo de ruptura da arquitetura com o meio ambiente. Segundo a autora, isso ocorreu porque negava o “velho”, antigo e histórico para voltar-se ao “novo” e suas respectivas possibilidades – decorrentes dos avanços tecnológicos. “De uma forma geral, mas não unânime, a arquitetura rompe com as referências históricas e o objeto arquitetônico passa a ser uma espécie de analogia à máquina” (ZAMBRANO, 2008, p. 50).

Como a arquitetura, nesse contexto, transformou-se numa espécie de instrumento de medida do progresso (STEELE, 2005) que rompia com referências históricas locais, o regionalismo passou a ser renegado, uma vez que não correspondia à visão de progresso da época. (ZAMBRANO, 2008). Essa realidade influenciou a construção em diversos países, neles incluído o Brasil.

Uma das vertentes da arquitetura moderna que não apenas representou essa quebra com historicismos, mas teve forte impacto nas condições de conforto das edificações foi o chamado Estilo Internacional.

Os edifícios das fachadas envidraçadas, que se espalharam pelo mundo, pelos mais diferentes contextos climáticos, ignoraram as diversidades climáticas e se ampararam indiscriminadamente no uso de sistemas artificiais para a criação de condições de conforto em seu interior (para iluminação, aquecimento, refrigeração, etc.). Foi uma arquitetura que, em grande parte dos casos, dispensou a exploração dos recursos naturais gratuitos (aquecimento solar, iluminação natural, ventilação natural, etc.), contribuindo fortemente para que a construção civil passasse a se configurar como um dos setores da sociedade de maior consumo energético (ZAMBRANO, 2008, p. 53).

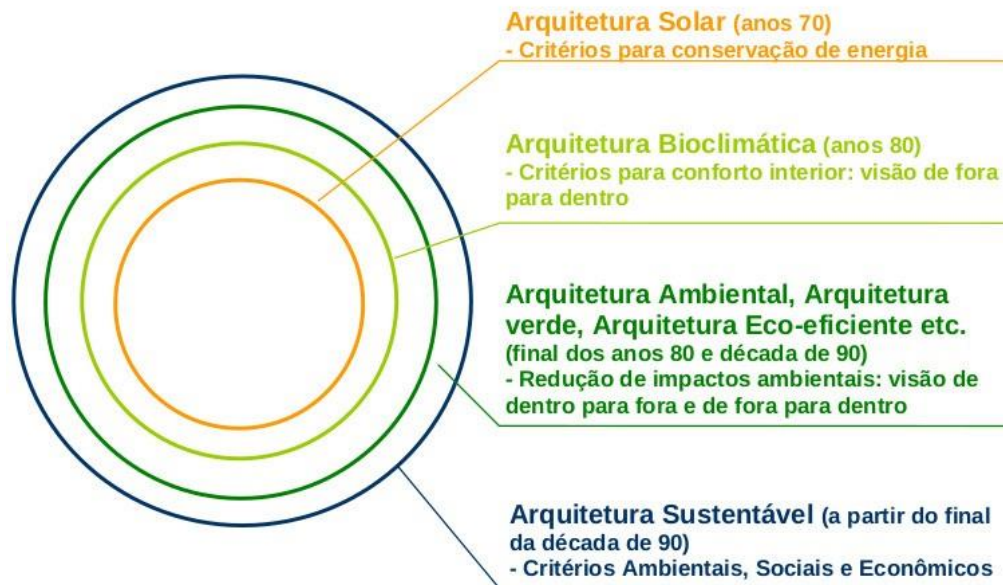
Como colocado no tópico anterior, as discussões sobre sustentabilidade começam a se intensificar após a segunda guerra mundial. O reconhecimento das crises humanitárias, ambientais e energéticas – essa última resultante da crise do petróleo, durante a década de 1970 (ZAMBRANO, 2008) –, bem como do aumento dos gases do efeito estufa para o aquecimento global, levou grupos internacionais (incluindo a ONU) a criarem soluções e diretrizes para instaurar possibilidades sustentáveis, aí incluindo o papel da arquitetura e da construção civil.

Em sua tese, Zambrano (2008) mostra que a arquitetura, entre as décadas de 1970 e 1990, ampliou a abrangência das problemáticas relacionadas ao meio ambiente e à qualidade da vida humana, passando de uma preocupação mais focada na crise energética a um pensamento pautado no tripé da sustentabilidade (Figura 4).

Em breves linhas, a **arquitetura solar** surgiu para dar respostas à crise energética, de modo que adotou critérios para **conservar energia**, tais como redução ou supressão da dependência em relação às formas de energia não renováveis e a valorização da iluminação natural. Contudo, as soluções adotadas frequentemente traziam desconfortos porque, em alguns casos, as medidas adotadas (de estímulo ao ganho ou à perda de calor, por exemplo) não eram

acompanhadas de sistemas de controle que permitissem o equilíbrio da temperatura interna. (ZAMBRANO, 2008).

Figura 4 – Evolução da abrangência das problemáticas desde Arquitetura Solar até a Arquitetura Sustentável



Fonte: Zambrano (2008).

Avançando nas lacunas deixadas pela arquitetura solar, surge a **arquitetura bioclimática**. Etimologicamente ligada à ecologia (quanto ao estudo das relações entre seres vivos e o clima), seguia atentando para a problemática da dependência de recursos não renováveis, mas dava especial atenção para as relações dos edifícios com o clima e com o microclima que o rodeavam, valorizando os aportes naturais. (ZAMBRANO, 2008). Desse modo, cuidava do **conforto interior** considerando os impactos **de fora** da edificação (ocasionados pelo clima, em suas variações) **para dentro** delas.

No contexto da já citada convenção Rio 92, percebeu-se que não bastaria que a arquitetura se preocupasse com a sua relação com o meio ambiente, explorando recursos naturais e climáticos para promoção de conforto interno. Era necessário considerar uma problemática mais ampla: o impacto do ambiente construído (em escalas de edifício e urbana) na degradação do meio ambiente, sendo o setor da construção considerado responsável por boa parte das parcelas de consumo das matrizes energéticas dos países. (ZAMBRANO, 2008). Com isso, a **arquitetura ecológica** passou a considerar não apenas o impacto **de fora para dentro**, mas o **de dentro para fora**, de modo a fomentar a **redução dos impactos ambientais**.

Por fim surge a **arquitetura sustentável**, sintonizada com o tripé da sustentabilidade (contextualizado no tópico anterior). Tomando por base o exposto por Zambrano (2008), é possível ver a “arquitetura sustentável” como uma revisão das conceituações atribuídas à arquitetura, em resposta aos novos interesses contemporâneos de grupos sociais que buscaram mudanças frente aos efeitos das atividades humanas no planeta.

Cabe salientar que, por ser um conceito mais amplo, a arquitetura sustentável envolve diversos tipos de práticas, como o uso de materiais e fontes de energias disponíveis no local da construção, hoje denominado **bioconstrução**. Oliveira et al. (2016) apontam que a bioconstrução vinha sendo desenvolvida paralela ou anteriormente à arquitetura bioclimática. Mas Minke (2015) registra que a construção com terra e materiais naturais data dos primórdios da humanidade. A Figura 5, por exemplo, mostra uma grande fortaleza construída em terra crua (especificamente, com uso do adobe, técnica que será pormenorizada no quadro 1⁵), feita entre os séculos VI e IV a.C, na região do sudeste do Irã, denominada Arg-e Bam.

Figura 5 – Arg-e Bam, edifício construído com tijolos de terra crua entre os séculos VI a.C. e IV a.C, na região do Irã



Fonte: Minke (2015, p. 12).

A terra tem sido utilizada como material de construção ao redor de todo o mundo porque é uma matéria-prima com grande abundância. São exemplos de construções erguidas com o uso desse material: o templo de Ramsés II, localizado

⁵ Ver página 34.

no Egito, que foi construído há cerca de 3.200 anos utilizando a técnica do adobe; a parte central da Pirâmide do Sol em Teotihuacan, localizada México, que foi construída entre 300 e 900 d.C. e possui uma base de 225m² e 63m de altura, constituída por, aproximadamente, 2 milhões de toneladas de terra (PINTO, 2007).

Muitos países da Europa utilizaram as técnicas conhecidas, atualmente, como pau a pique e taipa de pilão. Na Alemanha foram encontrados edifícios em que a terra foi usada como revestimento em casas com estruturas de madeira. O prédio mais alto feito de terra da Europa, inclusive, está localizado na cidade de Weilburg. Ele foi concluído em 1828, tendo todos os tetos e a estrutura do telhado sido feitos de terra batida. Com 0,75 metros de espessura, as paredes foram feitas com a técnica de taipa de pilão (MINKE, 2015), como pode ser visto na Figura 6:

Figura 6 – Edifício de taipa de pilão localizado na cidade de Weilburg, Alemanha

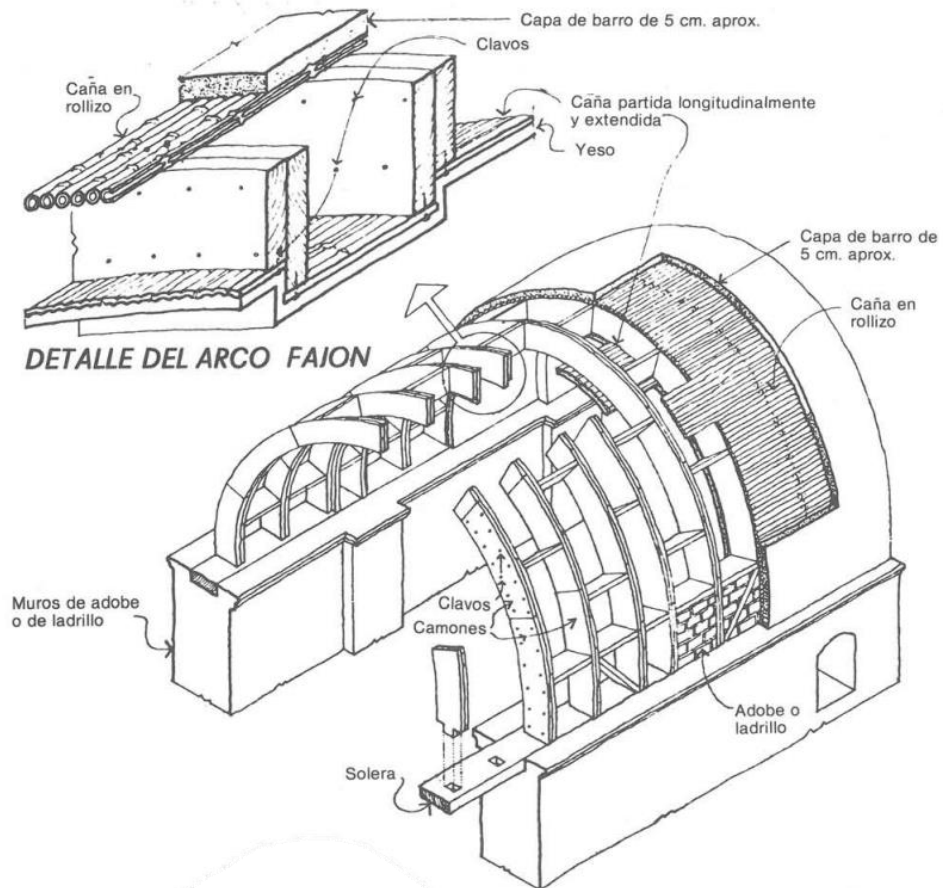


Fonte: Minke, 2015.

Além da terra crua, em regiões com clima seco e com escassez de madeira – como na civilização egípcia –, foram desenvolvidas técnicas de construção onde os edifícios eram cobertos com abóbadas de berço, feitas com tijolos de barro. (ROCHA, 20--). Como mostra o trabalho de Ferruccio Castellani (1986), cobertas em abóbadas com uso de terra (mas em locais com oferta de madeira) também

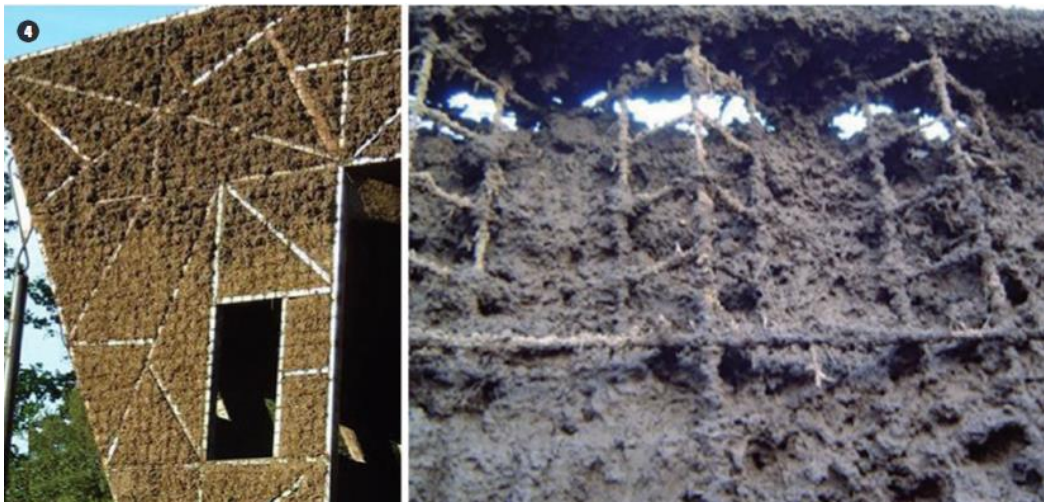
ocorreram, a longa data, no Peru. Foram utilizadas em edificações monumentais, conforme o esquema apresentado na Figura 7:

Figura 7 – Esquema representativo das técnicas construtivas aplicadas em edificações monumentais do Peru, envolvendo madeira e técnicas em terra



Fonte: Castellan (1986, p. 62).

Figura 8 – Exemplos de técnicas que reintroduzem a *quincha* na arquitetura chilena, por meio da apropriação de novos materiais, como cimento e metal. À esquerda “Quincha metálica”, e à direita o “Tecnobarro”, conforme denominações do arquiteto Marcelo Cortés



Fonte: Foto de Marcelo Cortés (SILVA, 2015, p. 8).

Ditas técnicas não ficaram apenas no passado. Por seus benefícios à construção, a arquitetura em terra segue sendo utilizada até os dias atuais. Natália Jorquera Silva (2015), por exemplo, destaca a reaparição da técnica denominada *quincha* (similar ao que denominamos, no Brasil, taipa de mão) na arquitetura residencial contemporânea chilena – as Figuras 8 e 9 ilustram exemplos.

Figura 9 – Exemplo de casa contemporânea chilena que emprega técnicas de terra. Casa “Munita González”, do arquiteto Patricio Arias e escritório Surtierra Arquitectura



Fonte: Foto de Surtierra Arquitectura (SILVA, 2015, p. 9).

No Brasil é possível ter acesso a cursos de construção de abóbadas sem cofragem⁶, apenas com o uso dos tijolos e argamassas. Nas Figuras 10, 11 e 12 são apresentados registros feitos pela autora da presente pesquisa, no âmbito de um curso de abóbodas mexicanas realizado no estado de Goiás, em 2019⁷:

⁶ Popularmente, o termo pode significar “forma”, mas segundo o Dicionário Priberam da Língua Portuguesa (PRIBERAM, 2021, s/p), trata-se de um “dispositivo para sustentar e moldar o concreto até à sua completa solidificação (ex.: cofragem de madeira; cofragem metálica)”.

⁷ Trata-se de um curso organizado pelo bioconstrutor Cobi Shalev e ministrado pelo mestre bovedeiro André Flores. Para mais informações sobre suas produções desses profissionais, consultar seus respectivos perfis em redes sociais: <https://instagram.com/cobishalev?utm_medium=copy_link>; <https://instagram.com/bovedas_andres_flores?utm_medium=copy_link>.

Figura 10 – Mestre bovedeiro Andrés Flores iniciando a marcação dos tijolos da abóboda



Fonte: Arquivo da autora (2019).

Figura 11 – Assentamento dos tijolos da abóboda



Fonte: Arquivo da autora (2019).

Figura 12 – Coberta com abóboda finalizada



Fonte: Arquivo da autora (2019).

Como se pode ver, há registros da larga utilização de técnicas construtivas provenientes da terra em diversas localidades. Dependendo da região, da estratificação, da rocha de origem e das condições climáticas, a terra aparece com uma infinidade de formas e variedade de características.

Ao longo da história, diversas técnicas foram empregadas, variando pela região e disponibilidade de materiais e agregados. A escolha da técnica construtiva

dependerá das características do solo⁸, do clima local e dos condicionantes físicos existentes (LOPES, 1998).

Dada a diversidade de técnicas construtivas, Soares (2007) e Minke (2015) dividem as técnicas de bioconstrução conforme ilustra o quadro 1:

Quadro 1 – Técnicas de Bioconstrução

| | |
|----------------|--|
| Adobe | <p>Um dos antecedentes históricos do tijolo de barro e seu processo construtivo é uma forma rudimentar de alvenaria. Adobes são tijolos de terra crua, água e palha e algumas vezes outras fibras naturais, moldados em formas de madeira por processo artesanal ou semi-industrial.</p> <p>Geralmente utiliza o barro com composição entre 60 a 70% de areia e 30 a 40% de argila, com água suficiente para uma massa plástica.</p> <p>Pode ser utilizada como apenas como vedação ou como autoportante, a depender da espessura dos tijolos.</p> |
| Super adobe | <p>Também chamada de terra ensacada, essa técnica foi desenvolvida pelo arquiteto iraniano Nader Khalili, cuja ideia surgiu a partir de um simpósio promovido pela Nasa, em 1984, para serem debatidas construções possíveis de serem feitas na Lua e em Marte.</p> <p>Diferente do adobe, o superadobe utiliza de uma sacaria com malha fechada, onde a terra entra por um dos lados e as paredes se tornam rígidas com o apiloamento das camadas.</p> <p>Geralmente, utiliza-se o barro argiloso umedecido nesta técnica.</p> <p>Utilizada como estrutura autoportante, uma vez que as paredes ficam com cerca de 40cm de espessura.</p> |
| Hiper adobe | <p>Evolução da técnica anterior, o hiperadobe é uma proposta do engenheiro brasileiro Fernando Pacheco, cuja principal diferença está na sacaria utilizada. Enquanto que no superadobe utiliza-se a sacaria fechada (posteriormente sendo necessária a queima da mesma para que as paredes possam ser rebocadas), esta utiliza de uma sacaria com malha raschel, que lembra saco de batatas e laranjas dos mercados.</p> <p>Com a mesma proposta que a anterior, exige o cuidado com as chuvas, mas ganha-se agilidade na etapa do acabamento.</p> |
| Taipa de pilão | <p>Técnica utilizada em grandes casarões, castelos e fortificações. São feitas paredes com espessura que variam entre 30 e 50cm, com uma forma de madeira em cada lado. São adicionados baldes de terra estabilizados na forma e compactados (manualmente ou com compressores) a cada 20 cm de altura de terra. Conforme as paredes vão subindo, a forma é retirada e montada acima, para completar a altura do pé direito.</p> <p>Muitos construtores utilizam cal, gesso e cimento nas proporções de 1:15, 1:10 e 1:8 com a terra estabilizada, para dar maior resistências às paredes.</p> <p>As paredes que utilizam de proporção de cimento na mistura podem ter contato com a chuva, mas não constantemente. O ideal é criar uma cobertura que proteja as paredes.</p> |
| Taipa de mão | <p>Conhecida popularmente como taipa de sopapo, <i>quincha</i> (Chile) ou <i>bahareque</i> (Colômbia e Venezuela), essa é uma das técnicas mais utilizadas no Brasil. Trata-se da construção das paredes com estruturas de madeira, criando uma trama com madeiras finas onde sera incorporado a mistura de terra com água, criando a vedação das paredes. Geralmente utiliza-se uma terra mais argilosa. No final, reboca-se as paredes, tampando quaisquer fissuras, para evitar o alojamento de insetos.</p> <p>Estas paredes não podem ter contato com água, a não ser que sejam utilizados rebocos estabilizados (baba de palma; amido de mandioca; óleo de mamona).</p> |

⁸ Houben e Guillaud (1994) definem o solo como um processo longo de deteriorização da rocha-mãe e evolução físico-química, sendo um sistema polifásico, formado por fases sólidas, líquidas e gasosas.

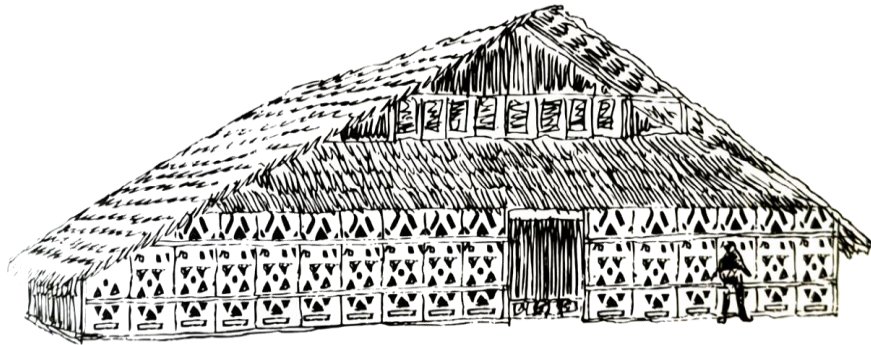
| | |
|------------------------|---|
| Cob | Parecida com a técnica anterior, no cob não há a utilização de estruturas de madeiras, as paredes são feitas com a terra crua, utilizando de paredes espessas, sem formas ou moldes. É uma técnica utilizada amplamente para criar esculturas de barro, bancos, nichos nas paredes. É possível subir cerca de 20 a 40cm de parede por dia com essa técnica. |
| Cordwood | Com a mesma massa da técnica anterior, neste caso são utilizados pedaços de tocos de árvore aparentes, com o mesmo papel de tijolos de vedação, criando desenhos e diminuindo a quantidade de barro utilizado. |
| Tijolo de solo-cimento | Conhecido também como Bloco de Terra Compactado (BTC), o tijolo de solo-cimento é a primeira técnica de bioconstrução normatizada no Brasil. Utilizando-se de uma mistura entre 20 a 25% de argila e 70% a 75% de areia, a proporção estabilizada usa de uma parte de cimento para nove de terra (1:9). Essa mistura levemente umedecida é inserida em uma prensa, manual ou hidráulica, e retirada do molde. Molha-se os tijolos nos primeiros dias de cura e, entre 4 a 9 dias, é possível utilizá-los em construções. O tijolo de solo-cimento pode estar em contato com chuva e água, quando completamente curado. |
| Taipa leve | Esta técnica utiliza de uma moldura de madeira em tamanhos da parede (por exemplo, uma parede de três metros de altura e dois metros de comprimento, faz-se duas molduras com três metros, com pelo menos três divisórias internas); coloca-se a moldura deitada em uma lona, prende-se uma tela de metal fina no meio da moldura com pregos e faz-se o preenchimento desta moldura com uma mistura de barro e palha ou serragem. Quando seca, é possível dar acabamento e um reboco fino. É utilizada como divisória interna de espaços. |

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de Soares (2007) e Minke (2015).

Especificamente quanto à realidade brasileira, diversas são as técnicas que já foram empregadas no país ao longo de sua história, variando de região para região e pela facilidade em encontrar determinado tipo de material. Utilizando-se desde de madeiras, troncos e palha, para estrutura da edificação e vedação de paredes como é o caso da representação da Figura 13, da Grande Maloca da etnia amazônica Taulipang (LENGEN, 2013, p.82); até o uso de pedras e rochas brutas ou roliças e, na maior parte delas, da terra crua em diferentes granulometrias⁹, juntamente com os outros elementos agregados. Para cada técnica é dado um nome, especificando o método construtivo.

9 A granulometria trata sobre a especificação dos diâmetros do material que compõe o solo ou os depósitos sedimentares. Atualmente é possível fazer os ensaios granulométricos em laboratórios técnicos, determinando em peso quanto cada faixa especificada representa na massa total, obtendo as porcentagens de argila, silte, areia e pedregulhos para cada solo, sendo essencial esse conhecimento para execução de construções com terra.

Figura 13 – Grande Maloca com as paredes inteiras construídas com painéis de casca de árvore pintada



Fonte: LENGEN, 2013, p. 83.

É importante ressaltar que, por conta da miscigenação entre diversos povos no Brasil, existem técnicas trazidas e mescladas entre si:

Desde o início da colonização portuguesa no Brasil, quando práticas de construção lusitana somaram-se a costumes indígenas e africanos, um dos materiais mais empregados para erguer edifícios foi a terra, mais precisamente a terra crua (OLENDER, 2006, p. 28).

Segundo Mauricio (2017), o termo *bioconstrução* pode ser utilizado para definir as técnicas naturais de construção no Brasil. Baseando-se no trabalho de André Soares – permacultor e fundador do Ecocentro IPEC (Instituto de Permacultura e Ecovilas do Cerrado) –, Mauricio (2017) informa que essas técnicas são métodos de construção que buscam a integração entre o ser humano e a natureza através da:

Análise do ciclo de vida de cada material utilizado; Análise da procedência e destino de cada material; não utilização de materiais tóxicos e descartáveis;
 Valorização dos materiais e técnicas locais; Racionalização do uso da água e promoção de tratamentos naturais dos efluentes (esgoto); Reciclagem e reuso de resíduos líquidos orgânicos e sólidos; Busca pela utilização de fontes de energias renováveis; trabalhar com eficiência energética através do desenho bioclimático (MAURICIO, 2017, p. 6).

As buscas por soluções sustentáveis ao planeta, em todos os âmbitos da humanidade, que possam ser economicamente viáveis e socialmente justas, têm tido uma progressiva procura desde meados da década de 1960 e 1970, por meio dos movimentos sociais, comitês internacionais criados pela ONU, governos e até mesmo empresas privadas, como pôde ser visto no subtópico anterior do presente capítulo. Essa busca reverbera em todos os campos de conhecimento humano, sendo um dos focos nesta pesquisa, correlacionando-a com as discussões sobre a

necessidade dos projetos arquitetônicos terem, como uma das bases, os princípios sustentáveis e a incorporação dos sistemas ambientais, como o ciclo d'água; a produção de energia e materiais menos danosos à natureza. Como escrito por Alison Kwok e Walter Grondzik (2013, p. 8):

Os termos “verde ou ecológico” e “sustentável” são empregados como se fossem sinônimos por muitos dos envolvidos com o projeto de arquitetura e engenharia. Isso não é uma boa ideia. Ser “sustentável” é mais abrangente do que ser “ecológico” ou “verde”, pois aborda os impactos de longo prazo do ambiente construído para as futuras gerações e exige o exame das relações entre a ecologia, a economia e o bem estar social (...). O conceito de edificação verde ou ecológica talvez um dia se torne obsoleto. No futuro, o que é universalmente considerado como uma edificação “boa”, “econômica” ou “eficiente em custo” também inclua o conceito de que ela é ecológica – mas ainda não chegamos lá.

A bioconstrução, termo que toma fôlego juntamente com as demandas globais autossuficientes nas últimas décadas, também bebe de fontes próximas da arquitetura e da sustentabilidade. É necessário, todavia, apresentar sucintamente o campo de atuação em que a bioconstrução está mais propriamente inserida, que é o da Permacultura.

Também conhecida como “cultura sustentável” ou “cultura durável” (MOLLISON; HOLMGREEN, 1978), o termo Permacultura, cunhado pelos australianos Bill Mollison e David Holmgren no início da década de 70, nasce primeiramente para satisfazer demandas da área da agricultura, com cultivos naturais e orgânicos, buscando compreender e replicar a abundância que a natureza é geradora. As três éticas da Permacultura são: cuidar da terra; cuidar das pessoas; e cuidar do futuro, incentivando limites ao crescimento e ao consumo, bem como a partilha justa (SANTOS; VENTURI, s/d).

Em um curto período de tempo, seus fundadores passam a articular demais áreas de conhecimento no planejamento sustentável, tais como: educação e cultura; posse da terra e governo comunitário; economia e finanças; saúde e bem estar, etc. – como pode ser visto na Flor da Permacultura (Figura 14).

Cada pétala da flor possui subtópicos a serem trabalhados, como por exemplo dentro do espaço construído, há “bioarquitetura”; “captação e reuso de águas”; “materiais de construção naturais”; “auto-construção”; “design passivo para energia solar” e “reuso de resíduos”. Cada subtópico busca auxiliar no planejamento e na

execução de cada uma das áreas de forma que seu funcionamento ocorra em harmonia com os ciclos naturais, causando o menor impacto possível.

Figura 14 – Infográfico conhecido como “Flor da Permacultura”, inspirado em Holmgreen (2013)



Fonte: Zero Desperdício (2010).

Atualmente, os princípios da permacultura buscam desde a compreensão da ecologia; da leitura da paisagem; do uso de energias, até a boa utilização e uso dos recursos naturais, com o intuito de planejar e criar ambientes humanos sustentáveis e produtivos em equilíbrio e harmonia com a natureza. É considerada “[...] uma ciência holística e de cunho socioambiental, que congrega o saber científico com o tradicional, visando a permanência da nossa espécie na Terra” (SANTOS; VENTURI, s/d, s/p).

É partindo desta visão que a bioconstrução ganha força, incrementando as técnicas e conhecimentos vernaculares com pesquisas contemporâneas relacionadas ao conforto ambiental, à economia de recursos (financeiros e ambientais), a novas tecnologias aplicadas à construção civil, às técnicas de baixo custo e agilidade na execução, ao reuso de materiais, entre tantos outros.

Além dos exemplos já citados relacionados a abóbadas e atualizações em técnicas como a taipa de mão, é um exemplo de novas tecnologias aplicadas à construção civil a impressora 3D, criada pela empresa italiana *World's Advanced Saving Project* (WASP), em 2017. A máquina tem como matéria-prima barro e palha. Assim como nas construções tradicionais, esses são os itens básicos para imprimir rapidamente uma casa sustentável. O funcionamento do sistema ocorre com a ajuda de uma espécie de betoneira, em que o barro e a palha são misturados até chegarem na textura ideal para a construção. Depois disso, o material é direcionado a um aplicador gigante, semelhante aos usados em confeitarias, que vai dispondo a massa no formato desejado até que a casa tome forma (WASP, s/d).

Uma vez apresentadas as discussões acerca da arquitetura sustentável e da bioconstrução, no Quadro 2 essas abordagens arquitetônicas foram correlacionadas com as dimensões social, ambiental e econômica, articulando os pontos que se cruzam e os que possam se distanciar:

Quadro 2 – Relação da arquitetura sustentável e da bioconstrução com as três dimensões da sustentabilidade (social, ambiental e econômica)

| | ARQUITETURA SUSTENTÁVEL | BIOCONSTRUÇÃO |
|-----------------|---|---|
| DIMENSÃO SOCIAL | <ul style="list-style-type: none"> • Marketing Verde (grandes empresas); • Projetos de mitigação ambiental de grandes obras por meio de projetos que integrem as comunidades locais; • Formalização dos empregos (carteira de trabalhos e impostos para os trabalhadores; legalização de funções); • Busca por eficiência de serviços prestados (especialização de serviços; equipes interdisciplinares com saberes integrados à informática através de simuladores de consumo energético dos edifícios; índices de avaliação da cadeia produtiva); • Oferecer uma transição para a construção civil e o processo de resiliência de cidades (como exemplo o retrofit e os edifícios com certificações LEED). | <ul style="list-style-type: none"> • Mais presente em ações comunitárias, com valorização e troca de saberes locais; • Projetos com princípios de cuidado com a terra, comunidades locais e povos originários (tais como centros comunitários; centros culturais; casas de reza, etc) que beneficiem o grupo; • Menor escala de produção, criando maior integração entre os pares, desde engenheiros e arquitetos, mestres de obra, pedreiros e ajudantes na obra, buscando a horizontalidade no canteiro; • Busca disseminar a técnica para o maior número de pessoas envolvidas no processo, criando diálogo entre escolas, universidades, e demais interessados; |

| | | |
|-------------------------|---|---|
| D. SOCIAL (continuação) | | <ul style="list-style-type: none"> • Por se tratar de técnicas pouco padronizadas, infelizmente, acabam existindo poucas empresas que tenham funcionários com carteira assinada e garantia trabalhista voltadas para bioconstrução, demandando que para cada obra uma nova equipe tenha que ser treinada e aperfeiçoada; |
| DIMENSÃO ECONÔMICA | <ul style="list-style-type: none"> • Busca sair do sistema de produção e consumo linear para um sistema cíclico, onde se busca reduzir o consumo e pensa na cadeia do descarte como matéria-prima para novos produtos (do inglês <i>cradle to cradle</i>, do berço ao berço); • Cria novos mercado em busca de controle e eficiência do uso de recursos, desenvolvendo programas de computador e celular que simulem os benefícios das tecnologias empregadas; • Implantação passiva dos edifícios e o máximo aproveitamento das infraestruturas urbanas existentes (utilização de diretrizes do bioclimatismo). | <ul style="list-style-type: none"> • Emprego de matéria-prima com baixa pegada de carbono, uma vez que devem ser utilizadas técnicas com materiais abundantes no local; • Não há geração de entulho, uma vez que o material (terra, barro, palha, pedra) podem voltar a ser utilizados nas construções; • Considera os ciclos naturais para implantar soluções de racionalização de água e equilíbrio da umidade do ar, buscando integrar a construção e a produção alimentar; • Geração de energia por meio de biomassa, biodigestores e compostagem, tratando os resíduos orgânicos e o esgoto do edifício de forma a não poluir o lençol freático. |
| DIMENSÃO AMBIENTAL | <ul style="list-style-type: none"> • Inclui as indústrias que compõem a cadeia da construção civil, buscando uma transição para o emprego de soluções menos degradantes ao meio ambiente, desenvolvendo novos produtos (exemplo: torneiras aeradoras que economizam água; argamassa polimérica para assentamento de tijolos; biodigestores para tratamento de esgotos; lâmpadas LED - <i>Light Emitting Diode</i>; etc.) • Fomenta a cadeia de empresas de serviços voltados para certificação; de simulação para eficiência energética (Building Information Modeling – BIM) e consultorias especializadas (tratamento de esgotos; estruturas verdes; geração de energia, etc.) • Possibilidade de crédito e financiamentos mais atrativos por meio de bancos (públicos e privados) para a execução de edificações certificadas; • Redução de impostos territoriais em alguns municípios, por meio de selos de construção locais; • Racionalização de canteiro de obra. | <ul style="list-style-type: none"> • Pode ser até 30% mais barata que a construção convencional, de acordo com as técnicas empregadas • Por possuir aspectos manufaturados e possibilidade de autoconstrução, replicando conhecimento, torna-se uma opção para solucionar o déficit habitacional da população brasileira; • Tem redução de custos voltados à saúde ao longo do tempo, por não possuir COVs em sua composição, não causando dano aos habitantes da residência (diminuindo problemas respiratórios e alergias); • Como as técnicas interagem melhor com o ambiente ao longo dos anos, colabora com a capacidade de carga do planeta, sendo grande aliada no combate ao aquecimento global; • Exige poucos recursos tecnológicos, sendo possível de ser executado em locais de difícil acesso; • Fomento a economia local com grande intensidade, pois busca passar as técnicas para pedreiros e mestres locais. |

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de: Dutra e Pereira (1997); Olender (2006); Soares (2007); Zambrano (2008); Veiga (2010a; 2010b); Prompt (2012); Grupo De Sustentabilidade - Asbea (2012); Lamberts, Kwok e Grondzik (2013); Andrade (2014).

2.2 POSSIBILIDADES PARA UMA ARQUITETURA MAIS SUSTENTÁVEL

Como se pôde observar no tópico anterior, a cada nova demanda/problemática verificada pela sociedade, houve rebatimentos de ordem prática e teórica no âmbito arquitetônico. Para que a arquitetura contribua na

geração de mudanças no modo de produção da construção civil e para o aumento da qualidade de vida das pessoas e do meio ambiente em que vivem, as diretrizes projetuais adotadas por arquitetas e arquitetos precisam refletir uma visão mais sustentável.

Conforme aponta o grupo de trabalho de sustentabilidade da Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (GRUPO DE SUSTENTABILIDADE ASBEA, 2012), diretrizes projetuais são as informações a serem trabalhadas no desenvolvimento do projeto. Devem considerar os dados de entrada e as diretrizes específicas para o desenvolvimento dos projetos. Quanto aos primeiros, devem ser obtidos pelos projetistas (aí incluindo arquitetos), seja a partir de seus clientes, seja pelos interesses do próprio projetista.

Disso podemos inferir que, se o que norteia as diretrizes projetuais não se limita aos interesses dos clientes, mas à condução dada pelo projetista (e seus valores éticos), é importante que arquitetos incorporem, em seu exercício profissional, conceitos e técnicas que promovam construções mais equilibradas com o meio ambiente, sem deixar de atender às necessidades daqueles que o contratam.

Alguns autores têm buscado sistematizar pontos a serem analisados por projetistas em prol de projetos arquitetônicos e urbanísticos mais sustentáveis. Vazques, Brandão e Castro (2016), por exemplo, indicam cuidados quanto a: implantação, projeto e processo de construção; seleção de materiais; planejamento energético; uso da água; reaproveitamento de água pluvial e reciclagem de águas cinzas.

Motta e Aguilar (2009) defendem a observação da incorporação em práticas sustentáveis nas mais diversas fases do ambiente construído (idealização; concepção; projeto; construção; uso; manutenção; descarte), adotando como principais práticas: um planejamento adequado (considerando as pré-existências sociais e culturais, o impacto ambiental e a eficiência construtiva); conforto ambiental; eficiência energética e de consumo de água; análise da cadeia produtiva; práticas sustentáveis de extração, produção e reciclagem; bem como eficiência no final da vida útil da construção, contando com a preservação de componentes para reusos/reciclagens.

Rafael Miranda (2017), por sua vez, elaborou o “Guia de Soluções Ecoeficientes”, no qual apresentou conceitos e equipamentos considerados ecoeficientes no âmbito da construção civil. Cabe lembrar que essa nomenclatura

consta no infograma apontado na Figura 3 como sendo uma área de inter-relação entre as dimensões ambientais e econômicas do tripé da sustentabilidade.

A ecoeficiência é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços, a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, promovendo ao mesmo tempo uma redução progressiva dos impactos ambientais e da intensidade do consumo de recursos ao longo do seu ciclo de vida a um nível no mínimo equivalente à capacidade de suporte estimada da Terra (FOLLE; MARTINS; ROMANINI, 2011, p. 1).

Essa é uma temática importante não apenas para o setor da construção, mas para os escritórios de arquitetura, uma vez que considera as questões relacionadas à eficiência (economia de recursos), sem desconsiderar a importância de um olhar ecológico. Por isso, a seguir, encontram-se sistematizados alguns exemplos de estratégias ecoeficientes de projeto que podem ser incorporadas por projetistas para atender a diferentes focos de preocupação com o meio ambiente e com a qualidade de vida das pessoas.

2.2.1 Soluções Ecoeficientes Integradas

O Infograma (Figura 15) e o quadro 3 a seguir demonstram as seis categorias de soluções ecoeficientes elaboradas por Miranda (2015; 2017), com suas respectivas definições e alguns exemplos.

Figura 15 – Categorias de soluções ecoeficientes a serem consideradas para projetos mais sustentáveis



Fonte: Miranda (2017).

Quadro 3 – Soluções ecoeficientes por categoria

| CATEGORIA | SOLUÇÕES |
|---|--|
|  BIOCLIMÁTICA | <p>A correta orientação da edificação em relação às forças naturais do Sol e do vento e a correta escolha de materiais para a sua construção são fatores indispensáveis para uma construção com alto índice de ecoeficiência. Exemplos: isolamento de lã de pet, película solar, iluminação natural.</p> |
|  MATERIAS RECICLADOS E NATURAIS | <p>Materiais Naturais: terra, bambú, madeira, fibras naturais, etc; e Materiais Reciclados: reaproveitamento de elementos residuais do consumo humano como pneus, garrafa pet, tonéis, embalagens tetrapak, etc. Exemplos: tinta de terra, pérgola, forro de bambu, ecotenda, móveis de madeira, madeira plástica, deck plástico, móveis de papelão, placa cimentícia, piso de pneu, piso de bambú, piso permeável, telha ecológica, placa ecológica, placa OSB, painel mad wall, portas e janelas, lona reutilizada, tecido ecológico, revestimento de bambu, folha de bananeira.</p> |
|  ENERGIA | <p>Além de usar sistemas de climatização, iluminação e aparelhos mais eficientes e com menor consumo de energia, sistemas como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas permitem produzir energia limpa e localmente. Exemplos: aquecedor solar, placa fotovoltaica, forno solar, lâmpadas de LED (<i>Light Emitting Diode</i>).</p> |
|  CAPTAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA | <p>Trata-se de sistemas de captação e reuso da água de chuva para usos que não necessitam de água potável, como descargas, irrigação de jardim, lavagem de piso, etc. Exemplos: cisterna enterrada, cisterna compacta, cisterna modular, filtros.</p> |
|  TRATAMENTO DE RESÍDUOS | <p>Composteiras domésticas, coleta seletiva, filtros biológicos para águas residuais são exemplos de como destinar os resíduos que produzimos para reciclagem, reduzindo assim lixões, poluição da água e consumo dos recursos naturais. Exemplos: compostagem, compostagem elétrica, tratamento de esgoto, coleta seletiva.</p> |
|  PAISAGISMO PRODUTIVO | <p>Reorganizar nossos hábitos alimentares, consumir e produzir alimentos mais econômicos, saudáveis e menos custosos ao meio ambiente são formas de trazer mais plantas para o dia-a-dia. Exemplos: aquaponia, telhado verde, jardim vertical, horta vertical, horta urbana, filtros.</p> |

Fonte: Elaboração da autora (2021), com base em Miranda (2015).

Com base nessas categorias, algumas outras diretrizes e soluções foram sistematizadas a seguir, no intuito de agrupar estratégias atualmente existentes e que podem auxiliar arquitetos e demais projetistas que atuem na construção civil a elaborar projetos mais sustentáveis.

Do ponto de vista da **arquitetura bioclimática**, conforme dito anteriormente, trata-se da concepção do edifício segundo as condições climáticas do local, com a finalidade de obter eficiência nas sensações de conforto. Essas estratégias foram tabuladas de acordo com a zona bioclimática, que caracterizam o clima das regiões brasileiras segundo os aspectos que favorecem a sensação de conforto como vento, umidade e microclima. Segundo Roremo (2013) e Lengen (2014), é possível traçar as seguintes estratégias (Quadro 4).

Quadro 4 – Estratégias Bioclimáticas adaptadas aos projetos

| | |
|---|---|
| 1. Implantação; | Busca pela implantação passiva do edifício, compreendendo os aspectos naturais onde está inserido; |
| 2. Adoção do partido arquitetônico em função das características climáticas; | Orientação e dimensionamento das aberturas; Sombra de volumes no plano horizontal; Sombra de um volume sobre outro; Sombra de um volume ao longo de um dia. Indicar tratamento diferenciado das fachadas nas diferentes orientações; indicar uso da inércia térmica; especialmente nas fachadas oeste. |
| 3. Inércia Térmica – tanto para resfriamento quanto para aquecimento; | Sistema de Inércia Subterrâneos - os edifícios encontram-se enterrados ou escavados, a terra tem uma grande inércia térmica, permitindo ao interior do edifício contato com superfícies com temperatura praticamente constante, independente das variações climáticas do exterior. Sistema de Inércia Interior: sistemas formados por elementos de grande capacidade térmica situados no interior do edifício atuando na diminuição das oscilações interiores de temperatura produzidas pelas irregularidades de ganhos e perdas. Sistema de Inércia em coberturas: dispõem de elementos de grande capacidade de acumulação térmica na cobertura do edifício. |
| 4. Ventilação e Tratamento do Ar Interno - resfriamento, umidificação, qualidade do ar; | Sistemas geradores de movimento do ar. São componentes de um edifício que forçam a passagem do ar ocasionando seu movimento no interior deste, mediante efeitos gerados por diminuição e aumento de pressão. Ex: Ventilação cruzada; Efeito Chaminé; Câmara solar; Aspiradores estáticos; Torres de vento. Sistemas de tratamento do ar. Ex: Resfriamento evaporativo; Torres evaporativas; Pátio; Ventilação subterrânea. |
| 5. Proteção Solar - resfriamento; | Determinação do tipo de proteção solar (construções, vegetação); traçado de máscaras. Ex: Brises ou quebra-sóis; Pérgulas; Beirais; Toldos. |
| 6. Penetração do sol pelas aberturas; | Área ensolarada sobre o piso do recinto; Área ensolarada sobre superfície interna paralela à abertura. Ex: máscara de insolação projetada no piso a partir das aberturas das janelas |
| 7. Fontes de calor | Ganhos de calor devido à presença humana; Ganhos de calor devido ao sistema de iluminação artificial; Ganhos de calor devido a motores e equipamentos; Ganhos de calor solar. Ex: calor produzido por lâmpadas incandescentes; calor produzido por equipamentos. |

| | |
|------------------------|---|
| 8. Iluminação | Desempenho luminotécnico de diferentes tipologias de aberturas (lateral, zenital); Artíficos de controle da luz natural (gradação entre as luminâncias exteriores e as interiores – ofuscamento); principais estratégias de iluminação natural utilizadas (pátio interno, átrio, bandeja de luz, parede refletora, duto de luz, refletor interno, elemento prismático, refletores externos – brises, vidro reflexivo, isolamento térmico transparente). |
| 9. Desempenho acústico | Fontes de ruído externas; Fontes de ruído internas; Materiais, proteção e desempenho. |

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de Romero (2013) e Lengen (2014).

Dialogando com as vantagens da bioconstrução, mas também incorporando outras possibilidades de materiais a partir das práticas de reciclagem, é importante que se atente para as soluções que envolvem **materiais naturais e recicláveis**.

A sustentabilidade de um produto ou material se dá pela incorporação de muitos atributos essenciais, tais como a salubridade; qualidade comprovada; responsabilidade social; responsabilidade ambiental e comunicação responsável (FEBRABAN, 2007) e pelo menos um atributo complementar, trazendo discussões sobre a velocidade que o material se renova no meio ambiente; as possibilidades de reciclagem; a composição e manipulação; o transporte e os impactos à saúde que ele causa.

O leque de possibilidades de materiais naturais e reciclados aumenta a cada ano, com o surgimento de novas tecnologias. No quadro 5 foram sistematizados alguns deles.

Quadro 5 – Tipos de materiais sustentáveis e reciclados

| | |
|--|---|
| 1. Madeira plástica | Um material feito com matéria-prima reciclada (geralmente plásticos), que imita a aparência da madeira natural. Trata-se de uma solução sustentável utilizada para diversas finalidades como revestimentos, decks e confecção de móveis. |
| 2. Pastilhas de vidro reciclado | As pastilhas ecológicas possuem em sua composição 85% de Poli Tereftalato de Etila – PET, reciclado, além de aditivos minerais reaproveitados, utilizando em sua fabricação, o mais avançado conceito de tecnologia verde. Os produtos são ecológicos, isentos de metais pesados e contaminantes e são 100% recicláveis. |
| 3. Placa de fibra de média densidade (<i>Medium Density Fiberboard</i>), conhecido como MDF, amplamente utilizado na produção de móveis. | Utiliza exclusivamente Fibras de Média Densidade – MDF, de madeira de reflorestamento como matéria-prima. O MDF é considerado um material ecologicamente correto. A utilização do MDF evita o desmatamento e uso indiscriminado de árvores nativas. |
| 4. Tinta ecológica | Tintas ecológicas ou naturais são aquelas feitas com matérias-primas naturais, como o nome já sugere. Assim, não possuem nenhum componente sintético ou algum insumo que derive do petróleo, não possuindo COVs. Para a criação deste tipo de produto há normas internacionais que determinam a porcentagem de elementos em sua composição para que compostos derivados do petróleo não excedam 0,1% do volume total. |

| | |
|--|--|
| 5. Ecogranito | É um material para revestimento fabricado com base em resíduos oriundos da extração do granito e do mármore, misturados à resina acrílica. Pode ser considerado uma massa acrílica de base aquosa, com aparência real de granito e grande quantidade de resina, o que a torna mais flexível. |
| 6. Lâmpadas de LED (<i>Light Emitting Diode</i>) | O que distingue as lâmpadas de LED das outras é o fato de serem extremamente eficientes em termos energéticos e de durabilidade. Uma lâmpada de LED pode reduzir o consumo de energia em mais de 80% e pode durar até 25% a mais que as lâmpadas convencionais, além de exigir menos manutenção e serem recicláveis. |
| 7. Tijolo ecológico | Tipo de tijolo feito a partir de uma mistura de terra, cimento e água, sendo que a proporção de cimento utilizada é de apenas 10%, não sendo necessária a queima em seu processo de fabricação, ou seja, ele não libera dióxido de carbono (CO ₂) na atmosfera. |
| 8. Madeira de demolição | A madeira de demolição é um material reciclado obtido a partir do reaproveitamento de peças de madeira extraídas de reformas de móveis e construções antigas, não exigindo novas extrações do meio ambiente. |
| 9. Madeira de Bambu | O bambu apresenta um excelente custo-benefício. Apesar de ser uma gramínea, ele é a melhor alternativa sustentável à madeira. Ele cresce rápido nos mais diversos climas e solos, capta uma grande quantidade de CO ₂ do ar, tem uma enorme resistência e flexibilidade, além de ter um transporte fácil por ser leve e compacto. |
| 10. Isolamento ecológico | Os materiais usados nos isolamentos comuns têm componentes químicos e podem ser cortantes, como é o caso da lã de vidro, que é mais indicada para casas com teto de telha. O mais conhecido e mais antigo método de isolamento é a cortiça, mas também pode ser utilizada a lã natural de ovelha e, atualmente, espuma de poliuretano. |
| 11. Telhados e muros verdes | Os telhados e muros verdes são uma tecnologia alternativa para o impacto das chuvas excessivas, ajudando a drenar o excesso de água, protegem contra o calor, aumentam a umidade no ar e proporciona bem estar gerando microclima. |
| 12. Ecotelhado branco | Pintar o telhado de branco, com uma tinta formulada a base de água e contendo nano-esferas ocas de cerâmica, misturadas à resinas e aditivos. Ela atua por reflexão da radiação solar com a finalidade de reduzir a temperatura do ambiente interno, melhorando a qualidade de vida de quem vive ou trabalha no local. |

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de: Herzog e Rosa (2010); Antonioli e Souza (2015); Marques, Luiz e Silva (2020).

A **geração de energia** está intrinsecamente conectada ao conceito de eficiência energética, cujas soluções dependem, em grande parte, de métodos construtivos sustentáveis e materiais utilizados no seu envoltório. Projetos com desempenho térmico adequado às necessidades climáticas do local de implantação tendem a propiciar um menor consumo de energia pela minimização ou anulação do uso de sistemas de climatização, além de propiciar maior conforto ao morador.

As edificações no Brasil são responsáveis por 44% do consumo total de energia elétrica do país, considerando-se os setores residencial (22%), comercial

(14.5%) e público (8%) (BRASIL, 2009). Há urgência, então, na elaboração de projetos que busquem a redução de consumo de eletricidade, lenha e gás, buscando um aumento de fontes renováveis de energia.

Algumas das soluções possíveis de serem encontradas hoje com facilidade no mercado foram agrupadas no quadro 6.

Quadro 6 – Soluções para geração de energia

| | |
|---------------------------------|---|
| Lâmpadas de baixo consumo (LED) | Existência de lâmpadas de baixo consumo e potência adequada em todos os ambientes da unidade habitacional, principalmente naquelas de interesse social, geralmente contêm selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). |
| Dispositivos economizadores | Existência de sensores de presença, minuterias ou lâmpadas eficientes em áreas comuns dos condomínios. |
| Sistema de aquecimento solar | Existência de sistema de aquecimento solar de água com coletores selo Ence/PROCEL Nível A ou B, fração solar entre 60% e 80%, aquecimento auxiliar com reservatório dotado de resistência elétrica, tais como boilers. |
| Sistemas de aquecimento a gás | Aquecedores de água de passagem a gás com selo Ence/Conpet ou classificados na categoria Nível A no PBE do Conpet/Inmetro. |
| Medição individual de gás | Existência de medidores individuais, certificados pelo Inmetro. |
| Elevadores eficientes | Existência de sistema com controle inteligente de tráfego para elevadores com uma mesma finalidade e em um mesmo hall, ou outro sistema de melhor eficiência. |
| Eletrodomésticos eficientes | Existência de eletrodomésticos (geladeira, aparelho de ar-condicionado, ventilador de teto, freezer, micro-ondas, etc.) com selo PROCEL ou Ence Nível A. |
| Fontes alternativas de energia | Existência de sistema de geração e conservação de energia através de fontes alternativas com eficiência comprovada pelo proponente/fabricante, tais como painéis fotovoltaicos e gerador eólico. |
| Biodigestores residenciais | Sistema que realiza a decomposição anaeróbica (sem oxigênio) de resíduos orgânicos, como fezes de animais e restos de alimentos, gerando como produto biogás e biofertilizante. Esse sistema é conhecido por ser usado na área rural para tratar os resíduos agropecuários, em fazendas e granjas, por exemplo, mas também existe o biodigestor residencial |

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de CAIXA ECONOMICA FEDERAL (2010).

No que concerne o uso do **paisagismo produtivo** e seus benefícios, sistematizamos as soluções propostas pelo Grupo de Trabalho de Sustentabilidade ASBEA (2012) no quadro a seguir.

Quadro 7 – Soluções para o uso do paisagismo produtivo no projeto arquitetônico

Incentivar a criação de áreas verdes e áreas permeáveis.

Privilegiar a implantação da vegetação nos passeios junto a muros, canteiros centrais, rotatórias, áreas permeáveis, áreas de preservação permanentes, praças e parques.

Preservar e, quando possível, favorecer e estimular o desenvolvimento dos ecossistemas e da biodiversidade existentes.

Utilizar vegetação para preservar a fauna e a própria flora nativa.

Garantir a permanência e circulação das espécies animais.

Privilegiar a utilização de espécies vegetais nativas, conforme a disponibilidade local.

Integrar os espaços construídos às áreas verdes existentes ou a serem criadas.

Usar a vegetação para melhorar a umidade relativa do ar e a ventilação.

Usar trepadeiras para revestir paredões, muros e muros de arrimo, minimizando a reflexão do calor.

Utilizar a volumetria vegetal para harmonizar a paisagem natural ou construída do entorno.

Utilizar a vegetação produtiva para evitar vistas desinteressantes.

Usar os aspectos estéticos da vegetação — formas, texturas e cores — para incrementar a paisagem existente.

Usar aromas e frutos para atração de abelhas, borboletas e pássaros.

Incentivar o uso de espécies com folhas decíduas nos locais frios — elas produzem sombra no verão e permitem a passagem de sol e calor no inverno.

Incentivar o uso de espécies de grandes copas e sombra densa nas regiões quentes, principalmente nos passeios.

Usar a vegetação para mitigar a poluição, a reflexão solar e as ilhas de calor.

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de Grupo de Sustentabilidade – ASBEA (2012).

2.2.2 Parâmetros de avaliação de viabilidade e eficiência

Um dos fatores que pode influenciar na escolha, por parte de uma empresa, de aderir a métodos considerados inovadores é a viabilidade técnica e econômica. Nesse sentido, são instrumentos importantes para o fomento a diretrizes projetuais mais sustentáveis os estudos comparativos entre técnicas construtivas. Eles permitem avaliar, sob óticas distintas, qual método mais atende às necessidades do cliente e aos anseios técnicos e éticos dos projetistas.

É o caso, por exemplo, do estudo feito por Mello e Vieira (2020). Elas analisaram, comparativamente, as viabilidades técnica, econômica e ambiental de edificação projetadas pelo método tradicional de construção e com o uso de técnicas de bioconstrução. Dentre as conclusões do estudo percebeu-se que as construções de alvenaria tradicional são mais vantajosas que as bioconstruções nos critérios de oferta de mão de obra e tempo de execução da obra. Contudo, ambientalmente e economicamente falando, a bioconstrução supera fortemente a construção tradicional. De acordo com os dados gerados pelas autoras, o custo da bioconstrução é de, aproximadamente, 62,5% do valor da edificação feita em técnica convencional.

Do ponto de vista energético, um trabalho que pode ser citado é a tese de doutorado de Sérgio Tavares (2006), na qual desenvolveu uma metodologia para

analisar o ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. A relevância do trabalho pode ser ratificada diante do alerta dado pelo autor: entre os setores diretamente ligados à construção civil (residencial, comercial e público), é o residencial que apresenta maior consumo em termos energéticos (equivalente à soma dos demais setores) em todas as fontes de energia.

Outro instrumento que auxilia não apenas os projetistas em suas tomadas de decisões, mas a própria sociedade, no tocante ao controle sobre os rumos do desenvolvimento adotado nas localidades em que vivem, são as certificações ambientais.

As certificações ambientais são instrumentos pelos quais alguns organismos, geralmente por meio de constantes auditorias, atestam a qualidade e a adequação de alguns serviços ou produtos a determinadas normas. É comum que muitos países tenham suas certificações próprias, e/ou que incorporem certificações estrangeiras. Em ambos casos, o objetivo é o de aliar ferramentas da arquitetura e da tecnologia para que os projetos (e construções deles decorrentes) não gerem danos à natureza e aos moradores/usuários dos edifícios. (CECHELLA, 2015).

Kovalechucki (2016) fez uma comparação entre os critérios adotados nos sistemas de certificação de construção sustentável existentes no mercado (em níveis nacional e internacional), agrupando-os de acordo com sua correlação com o tripé da sustentabilidade. Foram analisados, pelo autor, as certificações do quadro 8:

Quadro 8 – Certificações de construção sustentável (nacionais e internacionais)

| | | |
|---|---|-----|
| LEED (Leadership in Energy and Environment Design) | Certificação concedida pela Organização Governamental americana U.S.Green Building Council. | Não |
| BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) | Certificação concedida pelo Reino Unido. É muito popular nos países europeus, tendo sido lançado em 1992. | |
| AQUA (Alta Qualidade Ambiental) | Processo de certificação lançado em 2008, sendo uma adaptação a realidade brasileira da francesa HQE. | |
| Selo Casa Azul | Classificação socioambiental de empreendimento residencial brasileiro, ofertado pela Caixa Econômica Federal. | |
| DGNB | Sistema de certificação alemão desenvolvido pelo Conselho de Construção Sustentável da Alemanha, lançado em 2009. | |

Fonte: Elaborado pela autora (2021), adaptado de Kovalechucki (2016).

Outro trabalho importante na busca por parâmetro de projetos mais sustentáveis é o de Librelotto (2005), que traz uma inovação. Em sua tese criou um

modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil que foi aplicado em empresas construtoras, para avaliar a conduta e o desempenho delas frente às três dimensões da sustentabilidade: Econômica, Social e Ambiental (ESA).

Com base no exposto no presente referencial teórico foi possível extrair as bases conceituais e metodológicas que estruturaram a análise de estudos de caso apresentada no quarto capítulo. A seguir será pormenorizado o caminho metodológico adotado.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa tem naturezas qualitativa e exploratória. A primeira foi adotada porque, por meio dela, pode-se descrever um problema quanto a sua complexidade e suas variáveis, bem como analisar sua interação com os meios sociais para tentar compreender e classificar os processos sociais dinâmicos, geralmente focando na experiência das pessoas e no significado dela em relação a processos e estruturas dos mais diversos meios sociais (RICHARDSON, 1999). Conforme aponta Minayo (2001, p. 22),

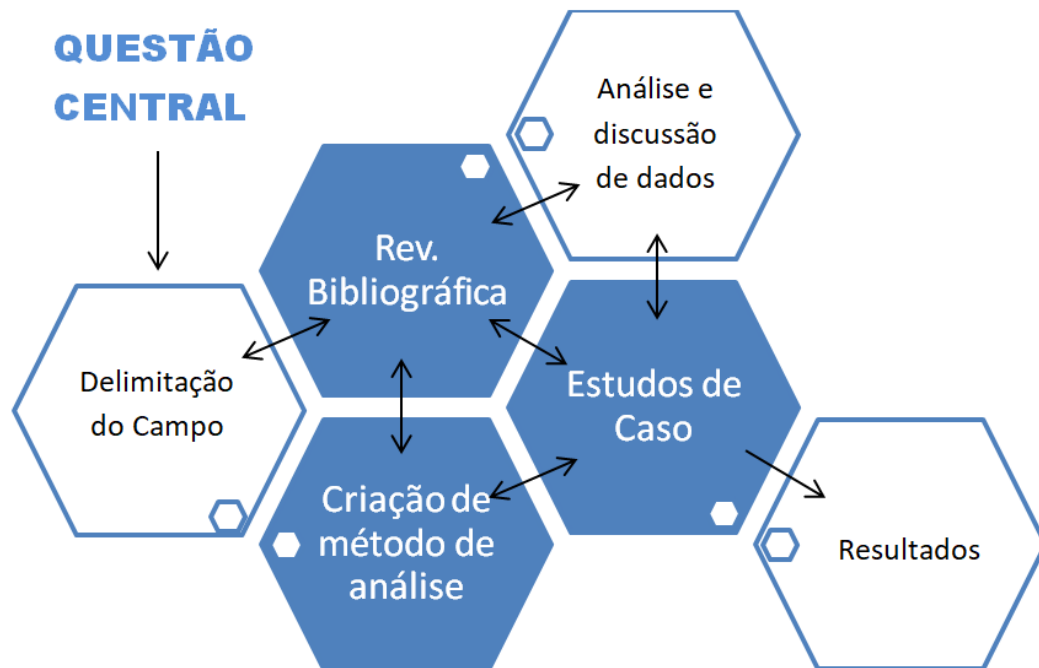
Ela se preocupa com uma categoria de dados que não pode ser quantificado. Ou seja, ela trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações. (...) a abordagem qualitativa aprofunda-se no mundo dos significados das ações e relações humanas, um lado não perceptível e não captável em equações.

Vê-se o rebatimento dessa natureza de pesquisa no presente trabalho porque nesse houve um estudo sobre as relações entre os projetos de arquitetura sustentável e uma construção civil menos danosa ao meio ambiente, enquanto ferramentas para o desenvolvimento regional sustentável no Cariri cearense, considerando a grande teia de relações humanas, sociais, econômicas e ambientais envolvidas nas tomadas de decisão acerca das edificações, sejam elas para moradia, para investimento a curto, médio ou longo prazo ou para comércio dos mais diversos tipos.

Com a intenção construir, ancorar e discutir hipóteses, foi utilizada a pesquisa exploratória, que consiste em proporcionar maior familiaridade com o problema. De acordo com Selltitz (1967, p. 63 apud GIL, 2007, p. 41), essas pesquisas envolvem: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que "estimulem a compreensão".

A figura 16 demonstra como as diferentes etapas que compuseram o presente estudo ratificam as estratégias de uma pesquisa exploratória. Partindo da questão central foram realizadas seis etapas principais, que se retroalimentaram entre si ao longo do processo, tendo como ponto de partida a delimitação do campo para verificação de áreas e conceitos potenciais para investigações sobre o tema elencado.

Figura 16 – Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Correlacionando as citadas etapas com os objetivos da pesquisa, temos que para o atendimento do primeiro objetivo foi realizada pesquisa bibliográfica e, a partir dela, elaborado um referencial teórico que instrumentalizou a pretendida compreensão de discursos e avanços ligados à sustentabilidade, mas com enfoque na arquitetura e na construção civil.

Considerando a necessidade de criação de um recorte para viabilizar um maior aprofundamento sobre soluções projetuais arquitetônicas mais sustentáveis, foi adotado o estudo de caso como método principal da pesquisa, e duas residências unifamiliares como objetos empíricos de estudo. E para a avaliação desses projetos (terceiro objetivo do estudo), foi necessário criar uma metodologia de análise (segundo objetivo) que foi respaldada pela pesquisa bibliográfica citada.

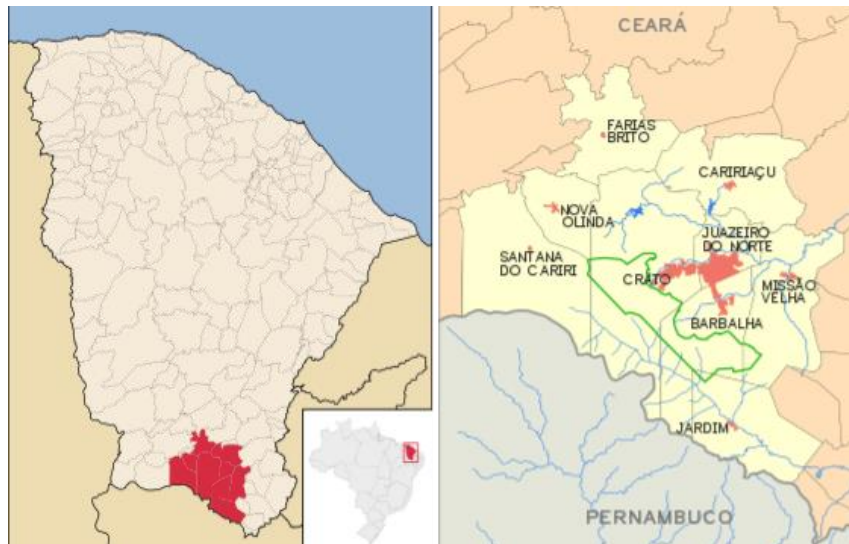
A seguir encontram-se pormenorizadas cada uma das etapas mencionadas.

3.1 DELIMITAÇÃO DO CAMPO

O campo em questão se trata do estudo de soluções projetuais no âmbito da arquitetura sustentável para a aplicação no campo da construção civil. Os objetos empíricos selecionados para estudo estão localizados no Cariri cearense, mais

precisamente na Região Metropolitana do Cariri (RM Cariri), composta por nove municípios: Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, incluindo os municípios limítrofes de Caririáçu, Farias Brito, Jardim, Missão Velha, Nova Olinda, Santana do Cariri (Figura 17).

Figura 17 – Localização e municípios da Região Metropolitana do Cariri



Fonte: IBGE, 2010.

Atualmente, a região possui uma população estimada de 609.358 pessoas, com uma área territorial de 5.460.084 km². A média do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) entre os municípios fica entre 0,5 e 0,7, sendo o mais alto 0,71 do município do Crato, indicando um médio desenvolvimento humano (REGIÃO..., s/d). Vale ressaltar que, mesmo sendo um polo empresarial, as atividades econômicas voltadas à prestação de serviços são as que mais empregam na região:

Analisando-se a média da participação dos setores da atividade econômica (comércio, serviços, indústria e construção civil) no mercado de trabalho, tem-se o seguinte: o setor de serviços foi o que apresentou maior média (48,30%), seguido da indústria (26,45%), comércio (21,65%) e construção civil (3,61%) (...) O setor de serviços foi o que mais gerou massa salarial absoluta (R\$ 26.708.100,11). O comércio gerou R\$ 9.852.849,78; a indústria R\$ 8.539.225, 81 e a construção civil, R\$ 1.118.572,13. Tal desempenho ratifica a relevância do setor terciário na economia da região do Cariri. (ARAUJO; PAIVA; ARAUJO, 2017, p. 126-128).

Foi analisado o contexto local da região estando em ascensão econômica, cultural e social, em diversos setores. Muitas empresas de construção civil que atuam na região são e empregam trabalhadores das cidades que fazem parte da RM

Cariri, sendo que a atuação de construtoras com porte nacional se restringe à execução de obras como torres corporativas e universidades de grande porte.

3.2 ESTUDOS DE CASO

O estudo de caso é uma estratégia comum de pesquisa que vem sendo largamente utilizada na psicologia, na sociologia, na ciência política, na administração, no trabalho social e no planejamento (YIN, 1983), contribuindo para a compreensão de fenômenos individuais, coletivos, sociais e políticos. Porém, no presente caso, o estudo de caso não busca somente realizar.

Uma investigação para se preservar as características holísticas e significativas dos eventos da vida real - tais como ciclos de vida individuais, processos organizacionais e administrativos, mudanças ocorridas em regiões urbanas, relações internacionais e a maturação de alguns setores. (YIN, 2001, p. 21.)

Busca, também, tratar com profundidade o tema abordado e mostrar possíveis resultados comparativos entre eles. É importante ressaltar que esta pesquisa está ancorada em procedimentos e metodologias das áreas da arquitetura e do urbanismo e que o estudo de caso

Talvez seja um dos métodos mais comuns nas dissertações e teses no campo da Arquitetura. Em vez de adotar técnicas estatísticas para trabalhar com amostras incluindo diversos exemplares de um determinado objeto, esse método pretende esgotar o conhecimento sobre um certo exemplar, escolhido por critérios que são claramente explicitados. **São, assim, feitos estudos em profundidade, que procuram mostrar como aquele exemplar foi formado, como evoluiu, qual seu desempenho e outras informações selecionadas segundo os objetivos a se atingir.** A acumulação de estudos de casos sobre certos objetos pode levar a uma conclusão mais ampla no âmbito de outra pesquisa que os considere a todos (SERRA, 2006, p. 82, grifo nosso).

Diante do exposto, o intuito de selecionar estudos de caso para o presente trabalho foi de, observando em detalhe as soluções adotadas no planejamento de edificações residenciais unifamiliares do cariri cearense, poder verificar a aplicação de princípios da sustentabilidade em projetos arquitetônicos, correlacionando os debates teóricos sobre o tema com a prática profissional do campo.

Os estudos de caso selecionados foram: a Casa JHP, localizada no município do Crato-CE; e a casa JC, situada em Missão Velha-CE¹⁰. A justificativa da escolha das edificações é que são exemplos de projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares elaborados com Soluções Ecoeficientes Integradas, e localizados no Cariri, região com tipos climáticos¹¹ desafiadores para o conforto ambiental em construções. Foram selecionadas duas edificações para que o estudo pudesse ocorrer em maior profundidade, mas com mais de um tipo de características projetivas.

Cabe salientar que, olhando o Mapa das Regiões de Influência elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), vê-se que Missão Velha ainda é considerada de menor porte, estando o Crato vinculado ao Arranjo Populacional de Juazeiro do Norte, classificado como Capital Regional B, que se refere a cidades consideradas referência no interior dos estados e que possuem, em média, 530 mil habitantes. Sendo assim, vê-se que são cidades que não atingiram um nível de crescimento urbano que inviabilize a adoção de habitações menos verticais.

3.3 CRIAÇÃO DE MÉTODO DE ANÁLISE

Para a análise dos correlatos foram considerados dois trabalhos de referência: a monografia de especialização de Kovalechucki (2016) e a tese de Librelotto (2005), ambos apresentando critérios de análise de projetos segundo as três dimensões do Desenvolvimento Sustentável: social, ambiental e social. A partir de seus estudos foi gerado um roteiro de análise próprio, contendo adaptações motivadas pelo senso crítico, pelo conhecimento teórico e pela experiência empírica da autora.

Kovalechucki (2016) fez uma comparação entre os critérios adotados nos sistemas de certificação de construção sustentável existentes no mercado, agrupando-os de acordo com sua correlação com o tripé da sustentabilidade. Para transformar as contribuições do seu trabalho e um roteiro de análise, foi gerado um quadro síntese que ajuda a melhor visualizar os critérios, suas definições e as

¹⁰ As siglas que representam as casas são as iniciais dos proprietários, cujos nomes foram ocultados para dar privacidade aos mesmos.

¹¹ Segundo mapa do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2007), o Crato apresenta os tipos climáticos Tropical Quente Semiárido Brando (TQSB) e Tropical Quente Subúmido, enquanto que Missão Velha tem o TQSB e o Tropical Quente Semiárido.

classificações que o autor deu quanto às dimensões ambientais, econômicas e sociais (Quadro 9).

Contudo, ao se analisar tal síntese, optou-se por encaixar alguns critérios em dimensões não apontadas pelo autor, constituindo, assim, uma adaptação metodológica do seu estudo para melhor responder ao arcabouço teórico levantado sobre o tema da sustentabilidade e seus rebatimentos na construção civil. O quadro elaborado e as justificativas para as adições feitas serão apresentados a seguir.

Quadro 9 – Classificação dos critérios adotados nos sistemas de certificação de construção sustentável existentes no mercado, de acordo com as três dimensões da sustentabilidade

| Critério da Certificação x Dimensão (A – Ambiental; E – Econômica; S – Social) | | A | E | S |
|--|--|---|---|---|
| Leed* | Inovação e processo de concepção: profissionais credenciados no processo Leed for Homes; orientação solar do edifício; gestão de qualidade para durabilidade; projeto inovador. | | x | |
| | Localização e interação com o Entorno: seleção do local; infraestruturas existentes no local; acesso ao espaço exterior. | x | | x |
| | Locais sustentáveis: minimização de alteração da área do terreno; redução do efeito local de ilhas de calor; gestão das águas superficiais. | x | | |
| | Eficiência na utilização da água: sistema de reutilização da água de chuva; sistema de reciclagem de águas cinzentas; sistema de rega de elevada eficiência; existência de dispositivos e equipamentos de utilização de elevada eficiência | x | x | |
| | Energia e atmosfera: existência de janelas com bom comportamento térmico; minimização de perdas na distribuição de calor ou frio; lâmpadas com certificação “Energy Star”; eletrodomésticos de elevada eficiência; sistemas de energia renovável. | x | x | |
| | Materiais e recursos: eficiência estrutural; produtos de baixo impacto ambiental; gestão de resíduos | x | x | |
| | Qualidade do ambiente interior: qualidade do ar interior; medidas de ventilação; exaustão local (banheiros e cozinhas); filtragem do ar; distribuição da temperatura no espaço. | x | | x |
| | Sensibilidade e educação: explicação das funções básicas ao dono da construção ou locatário. | | | x |
| | Gerenciamento: forma da política de gerenciamento da obra | | x | • |
| | Energia: medição do consumo e eficiência energética da construção | x | x | |
| Breeam* | Água: medição do consumo e eficiência da edificação; | x | x | |
| | Transporte: relação das distâncias relacionadas ao transporte de materiais e emissão de CO ₂ | x | x | |
| | Materiais: impactos incorporados nos materiais, incluindo ciclo de vida e emissão de CO ₂ | x | x | |
| | Poluição: controle de poluição do ar exterior e água | x | | |
| | Saúde e bem-estar: conforto dos utilizadores do ambiente construído | | | x |
| | Uso da terra e ecologia: verifica a modificação na paisagem original necessária para a construção e sua pegada ecológica | x | | |
| | Resíduos: eficiência dos recursos utilizados para a construção e gerenciamento dos seus descartes | x | • | • |
| Inovação: utilização de projetos e materiais inovadores | | x | | |

| | | | | |
|----------------|---|---------|---|-------------|
| | Sítio e Construção: (1) relação do edifício com seu entorno; (2) escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos; (3) canteiro de obras com baixo impacto ambiental; | •3 | 2 | •1 |
| Aqua* | Gestão da água | x | x | |
| | Gestão da energia elétrica | x | x | |
| | Gestão de resíduos de uso e operações do edifício | x | • | • |
| | Gestão da manutenção | x | x | • |
| | Conforto higrotérmico | | | x |
| | Conforto acústico | | | x |
| | Conforto visual | | | x |
| | Conforto olfativo | | | x |
| | Saúde: (1) qualidade sanitária dos ambientes; (2) qualidade sanitária da água; (3) qualidade sanitária do ar | 12 3 | | 1 2 3 |
| Selo Casa Azul | Qualidade Urbana: infraestrutura, impactos da construção, melhorias no entorno, recuperação de áreas degradadas e reabilitação de imóveis; | x | • | |
| | Projeto e Conforto: paisagismo, flexibilidade do projeto, relação com a vizinhança, solução alternativa de transporte, local para coleta seletiva, equipamentos de lazer, sociais e esportivos, desempenho térmico, iluminação e ventilação natural, adequação as condições físicas do terreno | x | x | x |
| | Eficiência Energética: lâmpadas de baixo consumo, sistemas de aquecimento solar e a gás, medição individualizada, fontes alternativas de energia | x | x | |
| | Conservação de Recursos Materiais: coordenação modular, qualidade dos materiais, materiais reutilizáveis, gestão de resíduos de construção, facilidade de manutenção | x | x | |
| | Gestão da Água: medição individualizada, dispositivos economizadores, aproveitamento de águas pluviais, áreas permeáveis | x | x | |
| | Práticas Sociais: educação ambiental dos empregados, desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados, participação da comunidade na elaboração do projeto, orientação aos moradores | • | | x |
| | Qualidade ambiental: avaliação de ciclo de vida, impactos locais ao meio ambiente, produção de materiais ecológicos, demanda de energia primária, demanda de água potável, uso da terra | x | | |
| DGNB* | Qualidade econômica: custos de ciclo de vida relacionados a construção, adequação para uso de terceiros | | x | |
| | Qualidade sociocultural: conforto térmico, qualidade do ar no interior da edificação, conforto acústico, conforto visual, qualidade do espaço exterior, segurança, acessibilidade | | | x |
| | Qualidade técnica: prevenção a incêndio, qualidade e resistência da construção, facilidade de manutenção, possibilidade de reciclagem, controle de poluição, controle de emissão de ruídos | x | x | |
| | Qualidade do processo: documento e projeto das instalações, métodos construtivos | | x | |
| | Qualidade do local do imóvel: condições do local, acesso a transporte público, acesso a comércio local | x | | x |
| * | Leed (Leadership in Energy and Environment Design); Breeam (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) Aqua (Alta Qualidade Ambiental) DGNB(Certificação do Conselho de Construção Sustentável da Alemanha) | | | |
| x | Classificação dada por Kovalechucki (2016) | | | |
| • | Adição de classificação, proposta pela autora do presente trabalho. | | | |

Fonte: Autora, 2021 (com base em Kovalechucki, 2016).

Quanto às novas classificações propostas, seguem as justificativas:

- a) Tanto o gerenciamento de obra quanto a gestão da manutenção podem ser vistos como benefícios sociais quando consideramos os interesses dos clientes, sobretudo aqueles de menor poder aquisitivo, uma vez que obras bem planejadas podem gerar, a um baixo custo, moradias de qualidade para cada vez mais pessoas;
- b) O gerenciamento de resíduos também pode ser visto pelas óticas econômicas e sociais. A economia se dá em escala municipal (uma vez que é mais barato sistemas de tratamento na escala do lote que o sistema de tratamento em escala municipal) e para o cliente, uma vez que, a depender dos recursos que sejam adotados (como instalação de biogás), o cliente terá hábitos mais sustentáveis e econômicos (como a redução do gasto com gás de cozinha). Ademais, a melhoria no sistema de tratamento de resíduos traz um impacto positivo na saúde pública e qualidade de vida da população;
- c) Do ponto de vista da relação do sítio com a construção, o critério do “canteiro de obras com baixo impacto ambiental”, somente por sua definição, já é claramente relacionável à esfera ambiental. Considerando a “relação do edifício com seu entorno”, vemos um possível ganho de ordem social caso as construções ponderem um necessário diálogo do edifício construído com o contexto cultural e paisagístico local;
- d) Por fim, considerou-se, no presente trabalho, que ao considerar “recuperação de áreas degradadas e reabilitação de imóveis” como exemplos de critério para uma qualidade urbana, pode-se verificar uma dimensão econômica em jogo: um edifício que estava sem utilidade (ou subaproveitado) passou a ser novamente utilizado, convertendo-se num ativo urbano.

Com base no quadro síntese apontado, foi criado um *checklist* de avaliação de projetos para verificação das suas qualidades do ponto de vista Ambiental e Econômico. Cabe destacar que, considerando o foco de análise em projetos arquitetônicos residenciais unifamiliares, alguns critérios não foram considerados pertinentes¹². Segue, no quadro 10, o *checklist* criado:

¹² Itens como “Qualidade do local do imóvel: condições do local, acesso a transporte público, acesso a comércio local”, “equipamentos de lazer, sociais e esportivos” e “eletrodomésticos de elevada

Quadro 10 – Critérios de avaliação da sustentabilidade nas dimensões ambiental e econômica

1 - Implantação e integração com o Entorno: seleção do local implantação; aproveitamento das infraestruturas existentes no local; adequado acesso em relação ao espaço exterior; impactos da construção no entorno (meio ambiente); modificação na paisagem original necessária para a construção; contribuições para a redução do efeito local de ilhas de calor; minimização de alteração da área do terreno; gestão das águas superficiais;

2 - Projeto e Meio Ambiente: paisagismo, flexibilidade do projeto, adequação as condições físicas do terreno; possibilidade de reciclagem; recuperação de áreas degradadas e reabilitação de imóveis; Qualidade do ambiente interior (ar interior; desempenho térmico, iluminação e ventilação/exaustão; controle de emissão de ruídos);

3 - Eficiência na utilização/gestão de recursos

3.1 Água: medição do consumo e eficiência da edificação; sistema de reutilização da água de chuva; sistema de reciclagem de águas cinzentas; sistema de rega de elevada eficiência; dispositivos e equipamentos de utilização de elevada eficiência (como economizadores); controle de poluição da água; previsão de áreas permeáveis;

3.2 Energia: medição do consumo e eficiência energética da construção; lâmpadas de baixo consumo (ou com certificação “Energy Star”); fontes alternativas de energia renovável (aquecimento solar, gás ou outros);

3.3 Ar: relação das distâncias relacionadas ao transporte de materiais e emissão de CO₂; relação dos materiais e emissão de CO₂ para sua produção; controle de poluição do ar;

3.4 Materiais: qualidade e resistência da construção (eficiência estrutural; avaliação de ciclo de vida; uso de produtos/produção de materiais de baixo impacto ambiental ou ecológicos; uso da terra; materiais reutilizáveis; facilidade de manutenção;

3.5 Resíduos: eficiência dos recursos utilizados para a construção e gerenciamento dos seus descartes; local para coleta seletiva, gestão de resíduos de construção;

4 – Inovação: utilização de projetos e materiais inovadores; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;

5 – Gerenciamento: forma da política de gerenciamento da obra.

Fonte: Autora (2021), com base em Kovalechucki (2016).

Do ponto de vista da dimensão social, percebeu-se que os critérios abarcados pelas certificações pareceram limitados para dar conta da complexidade que o tema envolve. Nesse sentido, o trabalho de Librelotto (2005) foi considerado uma referência para complementação dessa análise¹³. A autora criou um modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil nas dimensões econômica, social e ambiental denominado ESA. O estudo foi aplicado em empresas de grande porte (uma Indústria da Construção Civil e uma empresa construtora), de modo que sua

eficiência” não foram considerados adequados por envolverem decisões que vão além das tomadas pela arquiteta; seja no âmbito do projeto, seja no da execução da obra.

¹³ Embora a tese de doutorado de Librelotto (2005) seja mais complexa e profunda do que a monografia de especialização de Kovalechucki (2016), ela foi utilizada apenas como complementação da metodologia aqui empregada pelo fato de analisar estudos de caso menos compatíveis com os objetos empíricos da presente dissertação (que mesmo envolvendo a etapa de construção, priorizam a etapa de projeto arquitetônico).

metodologia serviu apenas de inspiração para incrementar o *checklist* da dimensão social nos presentes estudos de caso, que segue no quadro 11:

Quadro 11 – Critérios de avaliação da sustentabilidade na dimensão social

1 - Responsabilidade social (meio ambiente, comunidade, governo e sociedade)

1.1 - Existe uma articulação da empresa responsável pelo projeto e pela gestão das obras, com a comunidade local? (doações, incentivos a voluntariado, etc.)

1.2 - Sensibilidade e educação*: explicação das funções básicas ao dono da construção; educação ambiental dos empregados; desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados; participação da comunidade na elaboração do projeto.

2 - Valores e transparência, fornecedores;

2.1 - Os fornecedores são variados, e avaliados estratégica e periodicamente?

2.2 - As matérias-primas adquiridas são de fornecedores da região de atuação?

2.3 - São feitas negociações de preço, a depender da quantidade de compra, para barateamento dos custos?

3 - Público interno

Conforto e saúde para o usuário*: qualidade do ambiente interior (confortos higrotérmico, acústico, visual, olfativo); qualidade sanitária da água e do ar qualidade do ar interior; qualidade do espaço exterior; segurança; acessibilidade;

4 – Relação com os funcionários

4.1 - Sensibilidade e educação*: desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados;

4.2 – Existe limitação do pessoal contratado? (pessoas idosas, mulheres e deficientes físicos); busca-se incentivar a manutenção dos mesmos funcionários (com as devidas reabilitações) ou novas contratações? A remuneração é proporcional ao tempo de serviço?

4.3 – Há um cuidado com o clima de trabalho, para que seja agradável?

4.4 – São incentivadas atividades que promovam a criatividade e desenvolvam líderes entre os funcionários?

4.5 – São dadas, aos funcionários, todas as informações que precisam para entendimento dos valores da empresa? São discutidas questões éticas e de cidadania?

4.6 – Há flexibilizações dos horários de trabalho?

4.7 – Os funcionários têm voz nas tomadas de decisão?

4.8 – Existem cuidados com a saúde e segurança no trabalho?

* critérios oriundos das certificações analisadas por Kovalechucki (2016)

Fonte: Autora (2021), com base em Librelotto (2005) e em Kovalechucki (2016).

Ainda sobre as posturas metodológicas adotadas, cabem algumas explicações:

- a) não foram adotadas entrevistas, como nos estudos de caso de Librelotto (2005), porque a autora da pesquisa é também a autora dos projetos selecionados, de modo que já conhece as informações necessárias para informar o modo de gestão de sua empresa de arquitetura e de serviços de gestão de obras;

- b) não foram adotadas todas as etapas da metodologia proposta por Librelotto (2005) porque esta foi elaborada para objetos de estudo de maior porte (como empresas construtoras e industriais).

O objetivo da aplicação dos critérios não foi a mensuração quantitativa do nível de atendimento dos critérios, mas sim, uma reflexão qualitativa sobre itens que foram possíveis ou não de serem atendidos, com suas devidas justificativas e comprovações por meio de dados.

3.4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE DADOS

Para a realização dos estudos de caso optou-se por uma separação inicial, aplicados os roteiros de análise de uma casa por vez. Contudo, na parte de discussão dos dados levantados houve uma correlação entre os dados observados em ambos os estudos de caso. Durante todo o processo, foram utilizadas informações gráficas acompanhando as escritas, para melhor compreensão do conteúdo explorado.

3.5 RESULTADOS

Após a descrição de cada estudo de caso foi realizada sua articulação com o referencial teórico utilizado, buscando mostrar as vantagens da adoção de soluções ecoeficientes integradas em projetos arquitetônicos residenciais para a criação de construções mais social, econômica e ambientalmente sustentáveis. A partir dos referidos resultados, foram elaboradas as considerações finais do trabalho.

4 ESTUDOS DE CASO

A escolha dos estudos de caso aqui apresentados se deu por alguns fatores. Um deles é a limitação que a realização dessa pesquisa trouxe por ter ocorrido, em sua fase de levantamento de campo, durante a Pandemia COVID-19. E diante dessa limitação, foi aproveitada uma oportunidade pela sua viabilidade (dentro de um cenário desfavorável) e potencialidade (riqueza de informações): a escolha de edificações projetadas e executadas pela autora da presente dissertação.

Apesar das motivações iniciais expostas, os exemplares adotados como objetos empíricos podem ser considerados adequados à pesquisa pela representatividade que eles têm do ponto de vista dos aspectos aqui analisados. Observando as construções disponíveis na região, percebe-se que, em sua maioria, ficam a desejar quanto aos critérios de sustentabilidade. A exemplo, pode-se citar o trabalho de Deborah Santos (2013), que analisou as construções residenciais do município de Juazeiro do Norte (núcleo da RM Cariri), tendo concluído que a sustentabilidade das construções da cidade tem deixado a desejar.

4.1 ESTUDO DE CASO 01 - CASA JHP, CRATO-CE

A casa JHP localiza-se município do Crato, em um bairro denominado Granjeiro – que se trata de uma extensão da malha urbana a sudoeste da cidade.

Figura 18 – imagem de satélite localizando a casa JHP na malha urbana do Crato



Fonte: *Google Earth* (2022), editado pela autora (2022).

Conforme mostra a Figura 18, a residência dista do centro da sede cratense em, aproximadamente, 5 quilômetros, aproximando-se da formação geográfica conhecida como chapada do Araripe (mancha verde à esquerda da imagem citada). Com isso, situa-se numa elevação próxima a 600 metros acima do nível do mar.

4.1.1 Ficha Técnica

Quadro 12 – Ficha técnica do estudo de caso 1 – casa JHP

| |
|---|
| Projeto: Larissa Galvão |
| Colaboradores técnicos: Mateus Pinheiro e Felipe Alves (estagiários) |
| Consultoria: Cijô de Bozó |
| Tx. Ocupação: 19% Áreas Construída/útil: 244m ² / 171,64m ² |
| Valor médio do m ² : R\$ 922,13 |
| Localização: Granjeiro, Crato-CE. |
| Projeto: mai-ago 2017 Construção: set. 2017 – jul. 2018 |

Fonte: Autora (2022).

4.1.2 Imagens da edificação e do projeto arquitetônico

Na Figura 19 podem ser vistas algumas imagens representativas do projeto arquitetônico e da construção após sua finalização. Observam-se: relação da edificação com o entorno; uso de telha termoacústica e de paredes em pedra e em taipa de pilão; janelas de vidro e ferro; proporção de cheios e vazios.

Nas Figuras 20 a 22, que mostram o projeto arquitetônico, podem ser observadas algumas das soluções ecoeficientes integradas, tais como: adoção de cisterna para captação de águas pluviais; uso de biodigestor e de ciclo de bananeiras para tratar resíduos e estimular um paisagismo produtivo; uso de bioconstrução nas alvenarias (taipa); soluções para otimização da ventilação e iluminação, seguindo princípios de uma arquitetura bioclimática. Especificamente nas Figuras 21 e 22 podem ser observados os usos e áreas dos ambientes.

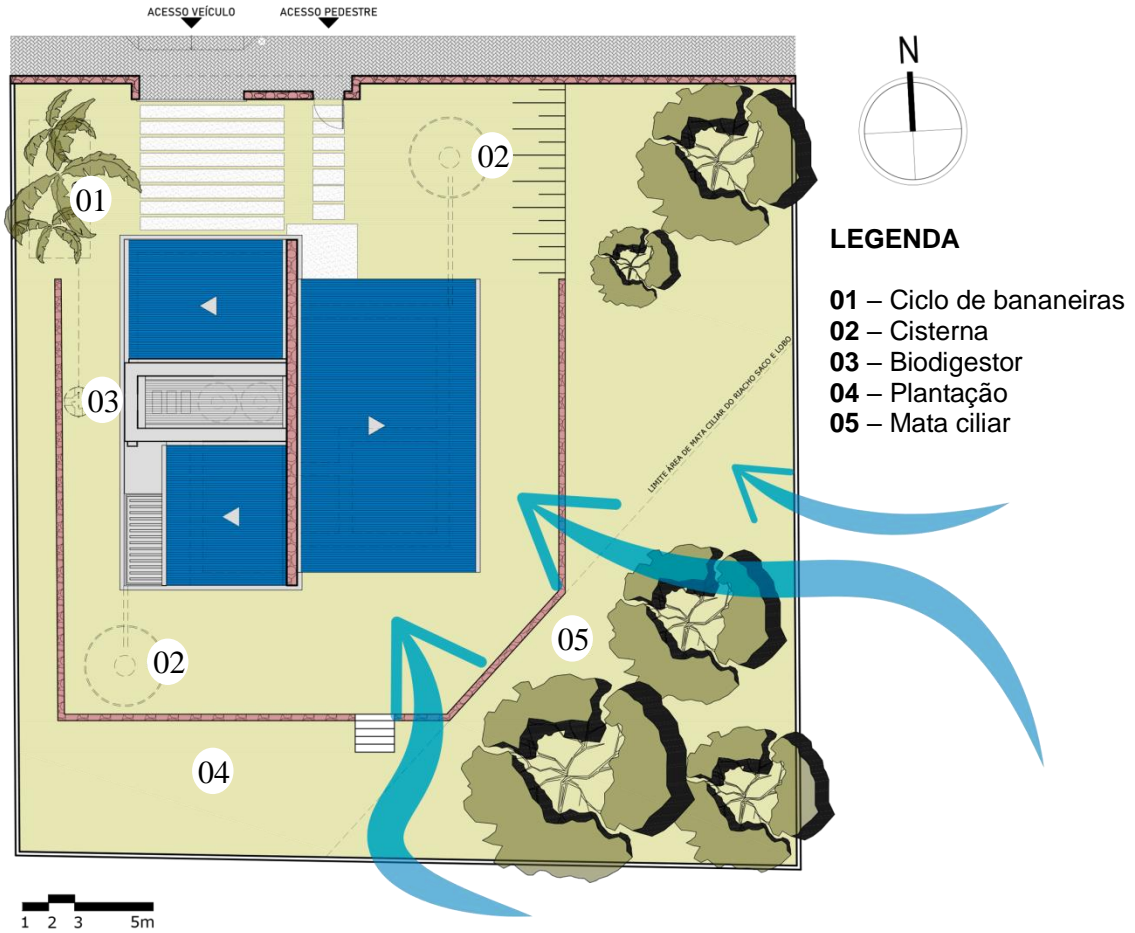
Figura 19 – Montagem com imagens 3D do projeto elaborado (imagens acima e à esquerda) e com a foto da residência construída (à direita, abaixo)





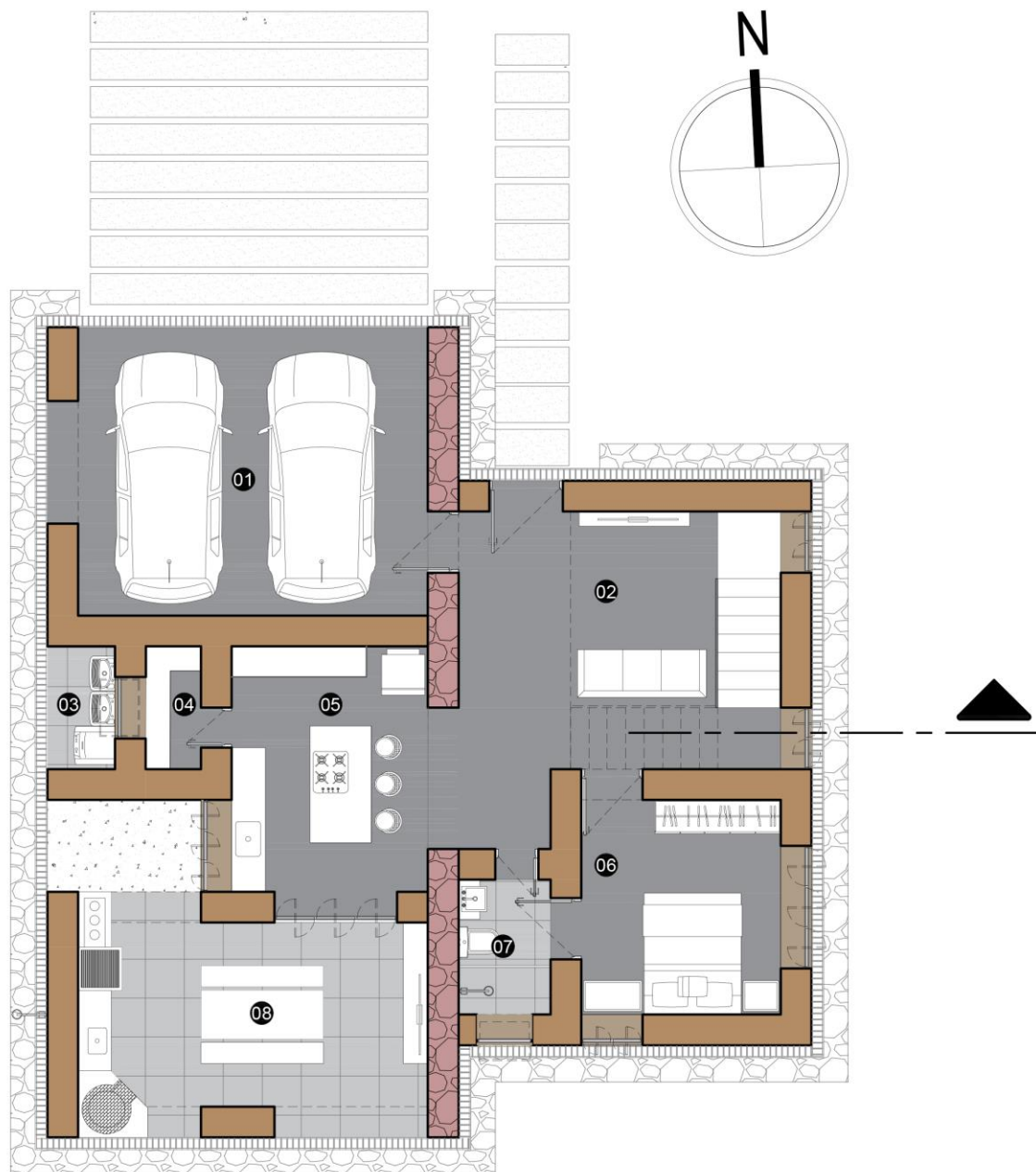
Fonte: Autora (jun./2017; abr./2018).

Figura 20 – Implantação da edificação no terreno contendo algumas soluções projetuais adotadas



Fonte: Autora (2022).

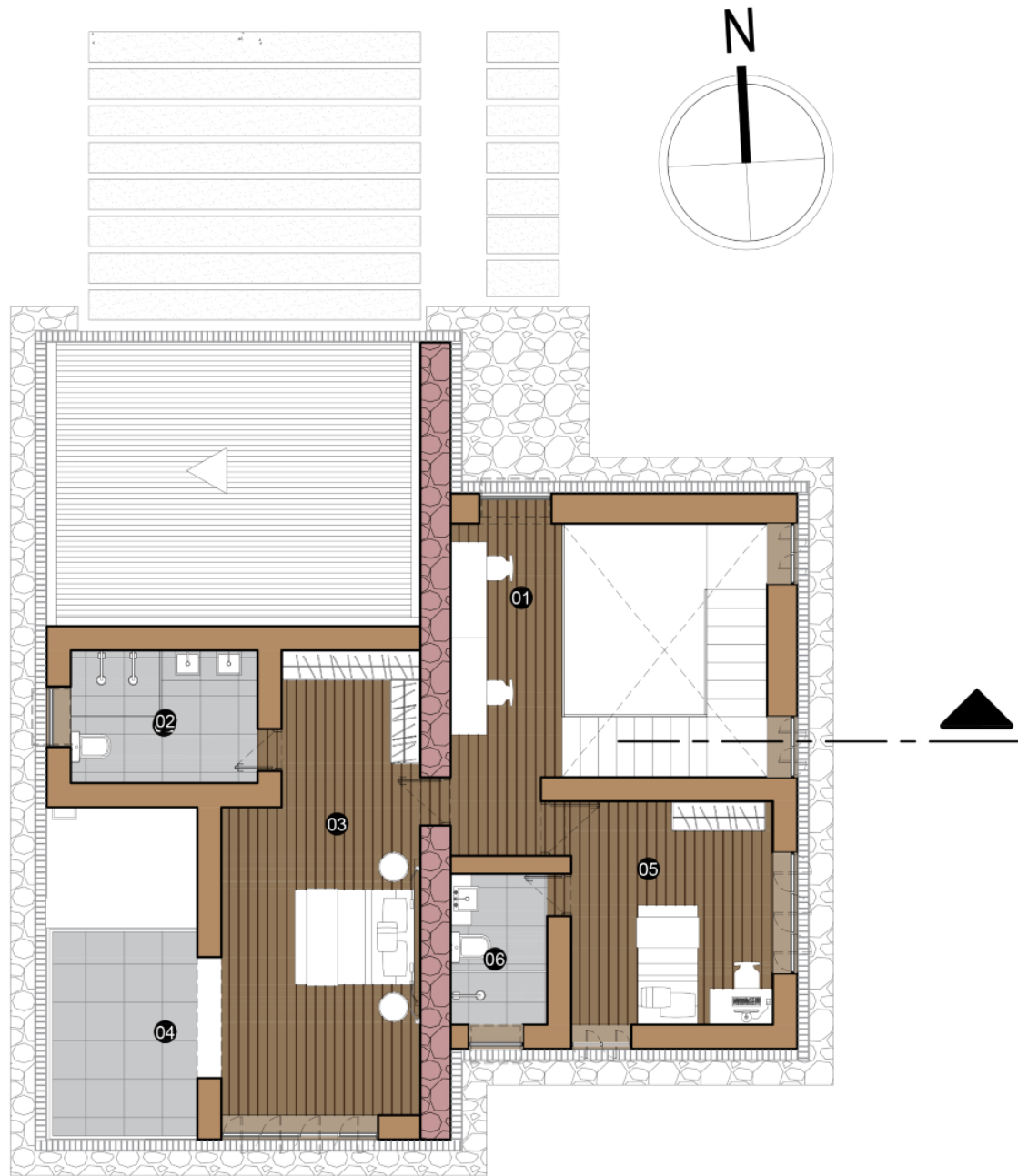
Figura 21 – Planta do pavimento térreo



| PAVIMENTO TÉRREO | | |
|------------------|---------------------------|---------------------|
| 01 | garagem | 27,85m ² |
| 02 | sala de estar /circulação | 26,25m ² |
| 03 | área de serviço | 2,20m ² |
| 04 | despensa | 1,80m ² |
| 05 | cozinha | 14,12m ² |
| 06 | quarto de visitas | 12,37m ² |
| 07 | banheiro revestível | 3,65m ² |
| 08 | varanda roots | 20,35m ² |

Fonte: Autora (2022).

Figura 22 – Planta do pavimento superior



| PAVIMENTO SUPERIOR | | |
|--------------------|------------------------|---------------------|
| 01 | escritório /circulação | 10,12m ² |
| 02 | banheiro casal | 6,82m ² |
| 03 | quarto de casal | 23,89m ² |
| 04 | terraço | 8,75m ² |
| 05 | quarto do filho | 13,12m ² |
| 06 | banheiro do filho | 4,00m ² |

- Seleção do local implantação; aproveitamento das infraestruturas existentes no local; adequado acesso em relação ao espaço exterior; impactos da construção no entorno (meio ambiente); modificação na paisagem original necessária para a construção; contribuições para a

redução do efeito local de ilhas de calor; minimização de alteração da área do terreno; gestão das águas superficiais;

A casa está localizada na cidade do Crato, no bairro do Granjeiro e está às margens do riacho Saco Lobo. No lote, localizado nas margens do limite urbano da cidade, havia bastante terra e pedra. A via ao final da qual se insere, do tipo local, é pavimentada em pedra bruta e não apresenta continuidade com outras vias (rua sem saída).

Como o terreno não apresentava árvores e já se encontrava murado, o impacto da construção foi considerado mínimo em relação à pré-existência. Em verdade, o sistema construtivo escolhido contribuiu para a redução do efeito de ilhas de calor (uso da taipa de pilão), e a escolha da cor azul para a pintura dos telhados ajudou a evitar a reflexão da radiação (que seria maior, se adotada a cor branca, por exemplo).

Do ponto de vista da topografia, o terreno apresenta cota mais baixa na parte mais próxima à via de acesso, e cresce em pequena altitude (não superior a 2 metros) na medida em que se aproxima do lado oposto à entrada. Para permitir que o piso térreo da casa se desenvolvesse em cota única, o lote foi planejado tomando por referência a cota da frente, gerando a necessidade de criação de um pequeno muro de contenção, cujas distâncias, em relação à casa são de cerca de 1 metro na lateral e 5 metros ao fundo. Tal contenção separa a área de grama da casa da área de plantio, evitando o acesso dos animais domésticos às culturas de hortaliças, frutas e ervas medicinais.

As águas superficiais não se acumulam no terreno: logo atrás da casa, na área de cultivo, elas são drenadas para o riacho Saco Lobo, por gravidade. As águas pluviais, que não são canalizadas para as cisternas, são rapidamente absorvidas pelo solo, que é coberto por grama ao redor da casa, auxiliando também na redução do efeito de ilhas de calor e na proteção contra animais peçonhentos.

Do ponto de vista da relação do projeto com a pré-existência e seu entorno imediato, nota-se uma harmonia entre as escalas de ocupação e das áreas verdes e de plantio no lote, com um gabarito alinhado às demais construções da quadra, não comprometendo a paisagem.

Na Figura 23 é possível observar a relação do lote com seu entorno, bem como o limite físico dele em relação à mata ciliar citada. Destaque-se que o riacho

tem origem na Chapada, e segue por diversas áreas da malha urbana da cidade, sendo sua conservação importante para a manutenção do ecossistema local.

Figura 23 – planta de localização do lote no bairro do Grangeiro, com destaque para a mata ciliar do Riacho Saco Lobo



Fonte: Google Maps (2022) editado pela autora (2022).

4.1.3.2 *Projeto e Meio Ambiente*

- Paisagismo, flexibilidade do projeto, adequação as condições físicas do terreno; possibilidade de reciclagem; recuperação de áreas degradadas e reabilitação de imóveis; Qualidade do ambiente interior (ar interior; desempenho térmico, iluminação e ventilação/exaustão; controle de emissão de ruídos).

O paisagismo foi mesclado entre nativo (através de regeneração das espécies vegetais já existentes), produtivo e inserção de vegetação decorativa no entorno imediato da residência, com uso de gramas e flores (adaptadas ao clima).

Embora o projeto não permita flexibilização espacial dos cômodos (considerando a técnica adotada, que se utiliza de alvenarias autoportantes), apresenta versatilidade por contemplar diversos usos: trabalho, estudo, produção de alimentos, lazer, higiene e dormida.

A flexibilização quanto à ampliabilidade também é restrita, pois a casa está implantada no limite da margem de mata ciliar do riacho Saco Lobo, inviabilizando expansões no lote. A vantagem desse elemento limitador do ponto de vista construtivo é de ordem ambiental: a área de mata ciliar, à qual os moradores da casa têm acesso, tem passado por um processo de regeneração, por meio do plantio de espécies nativas por parte dos proprietários.

O sistema construtivo, a taipa, foi estabilizada no traço de 9 partes de terra para 1 parte de cimento tipo Portland no térreo (9:1), e de 15 partes de terra para 1 parte de cimento (15:1) no andar superior. A terra, com aproximadamente 30% de argila e 70% de areia, foi cuidadosamente peneirada e misturada conforme o traço. Uma vez úmida, foi compactada em formas de madeira. Diante dessa composição, acredita-se que, facilmente, essa mistura se integre aos sistemas regenerativos da terra numa eventual necessidade futura de demolição (em parte ou total).

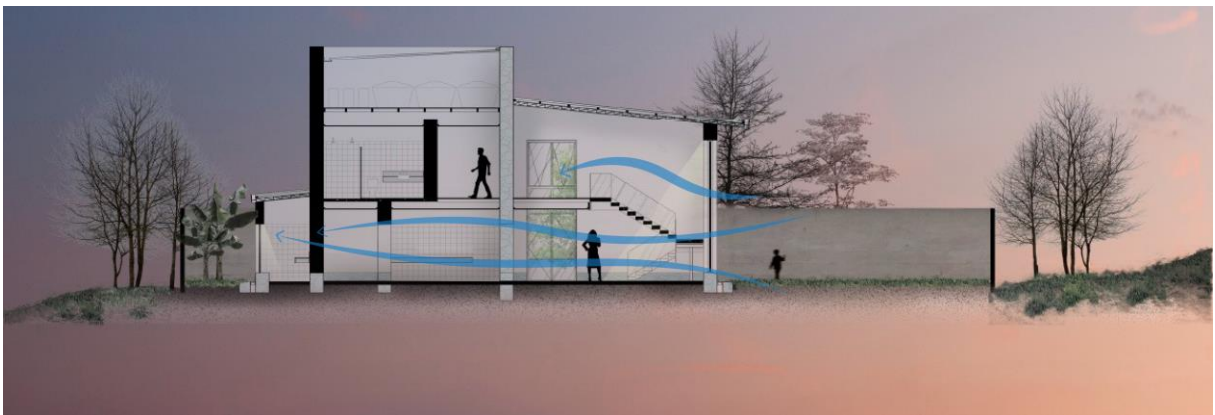
A telha escolhida é metálica, do tipo sanduíche, e foi instalada em painéis de 1 x 6 metros. Elas podem ser totalmente reutilizadas, inclusive como fechamentos externos ou divisórias, pois não deformam com a incidência solar e podem ser repintadas.

Quanto à qualidade do ar interior, destaca-se que a taipa, sistema estrutural da casa, tem como propriedades a regulação da temperatura interna, bem como o equilíbrio da umidade. Uma vez revestida de pintura em cal branco, certa porosidade é mantida, garantindo a filtragem de fuligem e de outros pequenos microrganismos. Esse conjunto de características confere melhores condições ao ar interior e um melhor desempenho térmico. A espessura e a densidade da taipa auxiliam no controle de emissão de ruídos, contribuindo para saúde de seus moradores.

Como pode ser visto na Figura 24 (um corte da edificação), a iluminação, a ventilação e a exaustão são favorecidas pela locação e dimensões das aberturas no projeto de arquitetura, que foi desenvolvido atendendo a critérios da arquitetura

bioclimática. Um conjunto de estratégias foi desenhado para esta casa, dentre as quais estão: a implantação passiva – com área de serviço, cozinha, garagem e churrasqueira voltadas para a orientação mais quente, o oeste; acima da churrasqueira, uma larga varanda coberta com caramanchão e com plantas protege o quarto do casal da orientação indesejada; uma vez protegida a área de maior permanência, altas janelas voltadas para o leste garantem a iluminação natural na sala, favorecendo uma ventilação cruzada com as aberturas da cozinha e com porta da varanda; os quartos possuem duas janelas que favorecem a ventilação e a troca de ar, permitindo que não seja necessário acender luzes durante o dia; as esquadrias de vidro com metalon são do tipo pivotante, e as folhas independentes permitem o controle da ventilação nos meses de chuvas, quando a temperatura cai um pouco na cidade do Crato.

Figura 24 – corte da edificação da casa JHP, mostrando a ventilação pelas aberturas leste-oeste



Fonte: Autora (2022).

4.1.3.3 *Eficiência na utilização/gestão de recursos:*

a) Água:

- Medição do consumo e eficiência da edificação; sistema de reutilização da água de chuva; sistema de reciclagem de águas cinzentas; sistema de rega de elevada eficiência; dispositivos e equipamentos de utilização de elevada eficiência (como economizadores); controle de poluição da água; previsão de áreas permeáveis;

A casa é abastecida pela companhia de abastecimento de água do município, a Sociedade Anônima de Água e Esgoto do Crato (SAAEC). Foi instalado um medidor comum, padrão da concessionária, para aferir o consumo. Do ponto de vista da busca por uma eficiência na utilização da água, cabe frisar que a caixa d'água foi instalada acima do banheiro do casal, que por sua vez, está acima da área de serviço e da cozinha; evitando, assim, gastos com tubulações, e garantido a boa pressão d'água sem o uso de equipamentos pressurizadores.

Canos captam águas de chuva das calhas no telhado e as direcionam para as cisternas – cada uma de 10.000 litros, implantadas a norte e a sul da edificação –, evitando desperdício e gerando uma melhor distribuição das águas captadas.

O tratamento das águas provenientes da lavanderia se dá por meio do seu direcionamento para um ciclo de bananeiras, porque essa espécie vegetal, favorável para terrenos encharcados (por necessitar de muita água), trata a maioria da sujeira oriundas dessas águas cinzas. Outras plantas absorvem o excesso de águas de chuva, tais como: vegetação nativa; frutíferas; leguminosas; vegetais; hortaliças plantadas nos fundos do terreno, no nível mais alto. O excesso ainda pode ser absorvido pela grama que cobre o entorno imediato da casa.

O esgoto da casa, que passa por um biodigestor, tem seus patógenos eliminados no tratamento. Os líquidos que passam por esse processo, antes de serem lançados à sarjeta, são aproveitados pelo citado ciclo de bananeiras. Além disso, a cada 6 meses pode-se extrair um lodo criado pelo processo de tratamento, e esse pode ser usado como adubo natural para a plantação da família.

Do ponto de vista dos artifícios para um aumento na eficiência dos recursos de água potável, embora não tenham sido contemplados, no projeto, elementos como regas especiais ou temporizadores, torneiras com saídas aeradas e redutoras de vazão foram instaladas. A casa e as cisternas ocupam pouco mais de 20% do terreno; o restante lote é destinado à mata ciliar do Riacho Saco Lobo, ao plantio e ao jardim da residência, garantindo uma boa drenagem das águas.

b) Energia:

- Medição do consumo e eficiência energética da construção; lâmpadas de baixo consumo (ou com certificação “Energy Star”); fontes alternativas de energia renovável (aquecimento solar, gás ou outros);

A medição do consumo energético dessa e de outras construções analisadas nessa dissertação vem sendo parte do desafio desse trabalho. Aferir com fórmulas de emissão de gases do efeito estufa e afins parecia contraproducente uma vez que os dados necessários para tais cálculos não são produzidos para os materiais locais nem pelos centros de pesquisa brasileiros.

Embora a construção tenha sido erguida, predominantemente, com energia humana (devido ao fato de que a técnica da taipa demanda mais mão-de-obra), cabem algumas observações de gastos energéticos observados no projeto e na execução da obra. Materiais de composição metálica/plástica, que demandam alto gasto energético para sua produção, tiveram sua aplicação reduzida: o ferro foi utilizado como elemento estrutural apenas nas lajes dos banheiros, na sacada e nas vergas da casa, e como elemento de vedação nas janelas (em perfis de pouca espessura); uso de cimento em mínimas proporções, para reforço do traço da taipa e na argamassa da parede central. Cumpre destacar, ainda, que a telha utilizada, mesmo sendo de galvalume (um composto de alumínio, material considerado de alto consumo energético), confere grande benefício térmico devido à camada de polipropileno que apresenta, dificultando a entrada de calor. Ela também não deforma sob incidência solar e pode ser reutilizada para outros fins.

Também foi necessária a energia para funcionamento de um trator para pequenas funções, como nivelamento parcial de terreno (com pouca movimentação de terra) e construção de uma contenção.

Diante do método construtivo escolhido pressupomos que o consumo de energia para a construção, mesmo não mensurável em números, tenha sido menor que os usuais (que ocorrem em construções convencionais), uma vez que foram menos utilizados tanto o cimento, quanto materiais que exigem queima para serem produzidos (como tijolos e telhas cerâmicos); e houve muito baixo uso de água para a produção do traço da taipa. Foram especificadas lâmpadas de baixo consumo (tipo *LED*, que iluminam interior e lado externo) e eletrodomésticos que possuem selo *Energy Star*. Também foi instalado um conjunto de 18 placas fotovoltaicas, que gera 1.200 Kwh/mês de energia¹⁴ – em quantidade suficiente para atender às necessidades da casa e ainda gerar excedente de energia.

¹⁴ Cabe pontuar algumas informações adicionais sobre a referida instalação: potência da usina é de 8,37kWp; os 18 módulos instalados são Jinko 465W; utilizado um inversor Solis 15kW; o sistema tem capacidade de mais que dobrar a geração. Embora o preço de mercado de um sistema

c) Ar:

- Relação das distâncias relacionadas ao transporte de materiais e emissão de CO₂; relação dos materiais e emissão de CO₂ para sua produção; controle de poluição do ar;

Apesar de terem sido aproveitados os materiais já existentes no terreno – terra e pedra, tendo sido essa última utilizada na construção dos alicerces e da parede estrutural central da edificação –, a quantidade disponível deles não foi suficiente. Assim, foi necessário trazer mais desses materiais para a equalização do traço de terra e para a construção do muro de pedra. Contudo, optou-se por trazer ditas matérias primas de locais próximos (dentro da escala regional), configurando trechos curtos de transporte de carga.

Ainda a despeito das questões de deslocamento, entendendo que a origem da extração é informação relevante para pensar o processo da construção enquanto parte de uma cadeia de produção maior, cabe registrar: é possível que a madeira, usada como piso no pavimento superior, tenha vindo do estado do Pará. Não se pode afirmar com exatidão porque a madeira foi contratada de uma empresa local, localizada em Juazeiro do Norte, mas a empresa contratada apresenta certificação de extração.

O aço e o ferro, grandes emissores de CO₂ para sua produção, tiveram seu uso bastante diminuído na construção da residência – como mencionado anteriormente. Sobre seu transporte, de modo similar à madeira, a empresa contratada foi local e a origem da produção/extração não pode ser garantida. Mas o fato de existir uma usina siderúrgica no Ceará – Companhia Siderúrgica do Pecém (CSP) – gera uma pressuposição de que a distância para transporte tenha sido também pequena.

O pouco cimento que foi usado é produzido na região metropolitana em que se localiza a construção, assim como o gesso dos forros. Todavia tubos, conexões e acabamentos percorreram o eixo SP-CE, uma vez que São Paulo é concentrador desse tipo de indústria. A telha também foi comprada por um prestador de serviço, mas para essa não foi possível mapear as diversas origens de seus componentes.

desses seja em torno de R\$ 35.000,00 (inclui kit, instalação e engenheiro), no caso analisado foi pago apenas o custo do kit (R\$ 25.000,00), pois o engenheiro que fez o projeto e a instalação era irmão da cliente.

d) Materiais:

- Qualidade e resistência da construção (eficiência estrutural; avaliação de ciclo de vida; uso de produtos/produção de materiais de baixo impacto ambiental ou ecológicos; uso da terra; materiais reutilizáveis; facilidade de manutenção;

A terra é o principal elemento estrutural da casa JHP. Como já mencionado, a terra local foi equilibrada com mais terra e, uma vez peneirada, recebeu a adição de cimento na composição dos traços do térreo (10%) e do pavimento superior (15%). Conforme demonstrado no referencial teórico da presente dissertação, a resistência das edificações executadas em taipa de pilão é amplamente reconhecida, tanto na literatura quanto na própria permanência de exemplares construídos com essa técnica. Além do tempo de duração e de suas execuções/manutenções mais acessíveis, uma vez desintegrado de sua forma, o material se reintegra à natureza, tendo em vista que é predominantemente orgânico.

A eficiência estrutural das paredes autoportantes, depois da terra equilibrada, se dá pela relação largura x altura e pela correta compactação entre as camadas de terra - que devem estar levemente umedecidas e serem compactadas a cada 15cm de altura. Na casa JHP, as paredes do térreo (com 50cm de espessura) sustentam o assoalho do pavimento superior e as lajes dos banheiros e da varanda do casal. Já no pavimento superior, as paredes passaram a ter 40cm, o suficiente para receber a laje da caixa d'água e o telhado metálico.

Hoje, quase 4 anos após a conclusão da casa, uma manifestação patológica surgiu numa das paredes de taipa. Mas esse quadro é decorrente do excesso de exposição da alvenaria à água, fato comum quando se trata desse tipo de técnica feita com terra.

Do ponto de vista do impacto ambiental, embora a produção da telha (termoacústica) seja considerada de alto impacto, a madeira usada no assoalho apresenta baixo impacto; cabendo a ressalva de que ambos materiais são de fácil reuso na construção civil.

e) Resíduos:

- Eficiência dos recursos utilizados para a construção e gerenciamento dos seus descartes; local para coleta seletiva, gestão de resíduos de construção.

Um dos critérios considerados na hora da escolha do método construtivo (a taipa) foi a eficiência do material utilizado: abundância de matérias-primas na região (terra e pedra) somada ao pouco desperdício da técnica. No canteiro não houve desperdícios porque a terra que sobrou foi utilizada para completar o aterro das contenções necessárias.

A limitação constatada diz respeito à adequada separação dos tipos de resíduo: mediante a falta de engajamento da equipe de obra, não houve separação do lixo entre recicláveis e não recicláveis. Mas quanto ao resíduo produzido pela construção, foi necessária apenas uma caçamba para sua retirada, tendo ficado seu destino a cargo da empresa licenciada pelo município.

4.1.3.4 *Inovação:*

- Utilização de projetos e materiais inovadores; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;

A casa foi projetada com foco em sustentabilidade e autonomia, balanceando estratégias do ponto de vista não apenas do meio ambiente, mas de caráter social. Um exemplo disso foi a sua execução de maneira inclusiva do ponto de vista de saberes; é dizer, incluindo e respeitando as contribuições de diversos profissionais (fossem eles pedreiros, engenheiros ou consultores) e mesmo dos proprietários da residência, que trouxeram materiais científicos de relevância sobre a técnica construtiva que solicitaram que fosse executada.

Para atingir tal objetivo foi adotada uma metodologia de projeto arquitetônico que pode ser considerada inovadora: a de Soluções Ecoeficientes Integradas. No projeto arquitetônico é contemplado não apenas o edifício, pensado do ponto de vista bioclimático, mas também aportes complementares, tais como: especificação de materiais naturais ou reciclados; desenho de sistemas de geração de energia limpa, de aproveitamento de água e de tratamento de resíduos; implantação de paisagismo produtivo; abertura dos processos de planejamento e execução à cooperação de outros profissionais, como na consultoria de um construtor local.

Sobre o trabalho realizado pelo consultor – que também é permacultor e participou de muitos cursos de bioconstrução –, destaca-se que ele proporcionou o

equilíbrio do traço da taipa e, por sua sugestão, o saneamento passou a ser tratado por uma associação de técnicas e materiais: o esgoto produzido pela residência desemboca em um biodigestor, e a água que dele sai é lançada num ciclo de bananeiras.

A taipa de pilão, sistema estrutural adotado, mesmo sendo considerado um conhecimento vernáculo pode ser tido como uma inovação: nos últimos anos a técnica vem sendo estudada intensamente e seus traços aperfeiçoados, seja para recuperações de edifícios, seja para uma renovação da construção civil. O próprio uso de cimento para equilibrar o solo é considerado uma inovação para a técnica.

4.1.3.5 *Gerenciamento:*

- Forma da política de gerenciamento da obra.

O gerenciamento da obra se deu por algumas etapas. Na primeira, de orçamento inicial, todos os custos foram levantados de forma precisa, envolvendo desde o custo da mão-de-obra (aferidos junto à construtora contratada pelos proprietários, de pequeno porte), passando pela consultoria até chegar nos materiais e acabamentos necessários. Na segunda etapa, por uma questão estratégica de adaptação das etapas de construção às verbas disponíveis, foram feitos ajustes na planilha orçamentária, retirando itens que poderiam ser executados após a ocupação da casa (como acabamentos e revestimentos). Ao final desse processo, foi elaborada uma tabela final de custos, alinhada com os ajustes efetuados, possibilitando a compra dos primeiros materiais e a organização do canteiro de obras.

A terceira fase correspondeu à aplicação de um cronograma de obra e ao controle das compras. Uma metodologia ficou acertada entre a arquiteta e os donos da casa: as compras seriam feitas exclusivamente pela gerenciadora, que além de apresentar os comprovantes, também assumiu a responsabilidade de não permitir descontrole no orçamento, pagando o serviço conforme iam sendo executados.

Durante a execução da obra, reuniões para prestação de contas ocorreram numa média mensal. Foram alinhadas as taxas de transferências bancárias para pagamentos de mão de obra e compra de materiais usados até a data da prestação de contas. No final, todas as notas fiscais, recibos e demais comprovantes foram entregues aos proprietários da residência.

O valor acertado para o serviço da gerenciadora foi um percentual de 15% sobre o valor da obra, valor bastante acessível considerando a amplitude e complexidade do serviço oferecido – que foi além do controle financeiro, pois envolveu flexibilizações de etapas de compras, treinamento do método construtivo para a equipe de mão de obra; fiscalização da execução; realização das compras e do acompanhamento financeiro; além da responsabilidade técnica assumida junto ao órgão competente (Conselho de Arquitetura e Urbanismo – CAU).

4.1.4 Análise da dimensão social

4.1.4.1 Responsabilidade social (meio ambiente, comunidade, governo e sociedade)

a) Articulação com a comunidade:

- Existe uma articulação da empresa responsável pelo projeto e pela gestão das obras, com a comunidade local? (doações, incentivos a voluntariado, etc.);

A obra despertou interesse de muitas pessoas da comunidade local (entre moradores da região e estudiosos/profissionais que atuam ou valorizam o campo da bioconstrução), o que gerou a oportunidade de, em diferentes situações, serem organizados momentos de troca e aprendizado dentro do canteiro de obras.

Numa primeira ocasião, o bioconsultor contratado se prontificou a explicar a técnica da taipa de pilão, proporcionando a pessoas comuns que passavam pela obra esse conhecimento (convidados ou não dos proprietários, pessoas ligadas a práticas alternativas de vida, de respeito à natureza, etc.). Na oportunidade também fez uma atividade prática de compactação da taipa na forma com essas pessoas.

Em outro momento uma turma do Instituto Federal manifestou interesse em conhecer mais do processo, tendo sido conduzida ao local para receber explicações de um estagiário do escritório responsável pela elaboração do projeto e pelo gerenciamento da obra.

Como a arquiteta responsável pelo projeto e pelo gerenciamento da obra é também docente em um curso de arquitetura e urbanismo (no qual ministra disciplina de arquitetura sustentável), optou por compartilhar a experiência de projeto e de construção da casa JHC não apenas com suas turmas de alunos, mas também com estudantes de outros cursos e demais centros universitários da região. Nessa

ocasião foi o mestre de obras que se prontificou a falar mais da técnica para os estudantes.

Figura 25 – Experiências de trocas de conhecimentos no canteiro de obra com a comunidade local



Fonte: Autora (2018).

Com o aumento do público que passou a ter contato com a experiência que estava ocorrendo nessa construção, as pessoas se interessaram pela técnica e por seus benefícios. Tal fato aumentou a busca por contratação do escritório de arquitetura responsável para novos projetos com enfoque na sustentabilidade. Assim o escritório pôde ofertar mais vagas de estágio, não apenas para estudantes de arquitetura e urbanismo, como de engenharia e contabilidade. A Figura 25 apresenta a fotografia de uma das experiências de trocas de conhecimentos proporcionadas no canteiro de obra junto à comunidade local. Na foto aparecem o estagiário do escritório de arquitetura e estudantes do Instituto Federal.

b) Sensibilidade e educação:

- Explicação das funções básicas ao dono da construção; educação ambiental dos empregados; desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados; participação da comunidade na elaboração do projeto;

Como dito anteriormente, o processo da construção da obra foi bastante inclusivo do ponto de vista dos saberes que ali circularam. Os proprietários da obra não somente receberam, mas forneceram informações valiosas, uma vez que estudaram com afinco artigos científicos sobre taipa de pilão. Ainda assim, a arquiteta e gerenciadora de obras precisou dar esclarecimentos complementares aos moradores da casa, sobre a telha termoacústica e a madeira utilizadas no projeto.

As explicações relacionadas à instalação, ao funcionamento e à manutenção do biodigestor foram dadas pelo bioconsultor não apenas aos proprietários da casa, mas ao pessoal de obra. Ele também treinou a equipe sobre equilíbrio da terra, traço da taipa, compactação, forma e cura.

O projeto foi elaborado conjuntamente com a proprietária da casa e seu parceiro, mas não aberto à comunidade por se tratar de uma residência unifamiliar.

4.1.4.2 *Valores e transparência, fornecedores*

a) Fornecedores:

- Os fornecedores são variados, e avaliados estrategicamente e periodicamente?

Diante da importância de atendimento do cronograma de obras (fato que se relaciona também com as expectativas dos clientes), por ter ocorrido uma falha quanto a datas de entregas, um dos prestadores de serviço precisou ser substituído para a realização da montagem do telhado. O novo prestador, também da região, assumiu a montagem e passou a ser considerado uma aquisição importante para a equipe de modo a continuar sendo acionado pela gerenciadora.

Também é prática corrente da empresa fazer pesquisas de fornecedores para saber quais apresentam uma relação custo x benefício (incluindo valores de frete) mais adequada para a obra.

b) Matérias-primas:

- As matérias-primas adquiridas são de fornecedores da região de atuação?

Como analisado no tópico anterior (quanto às preocupações do ponto de vista do transporte), a maioria dos materiais é fornecida localmente, e os que são

comprados fora da região ocupam menor proporção nos materiais necessários. Destaca-se que foram compradas fora do estado as telhas (cujas distribuidoras são de Recife-PE) e louças sanitárias, cubas e torneiras, que são fabricadas no polo industrial do Centro-sul do país.

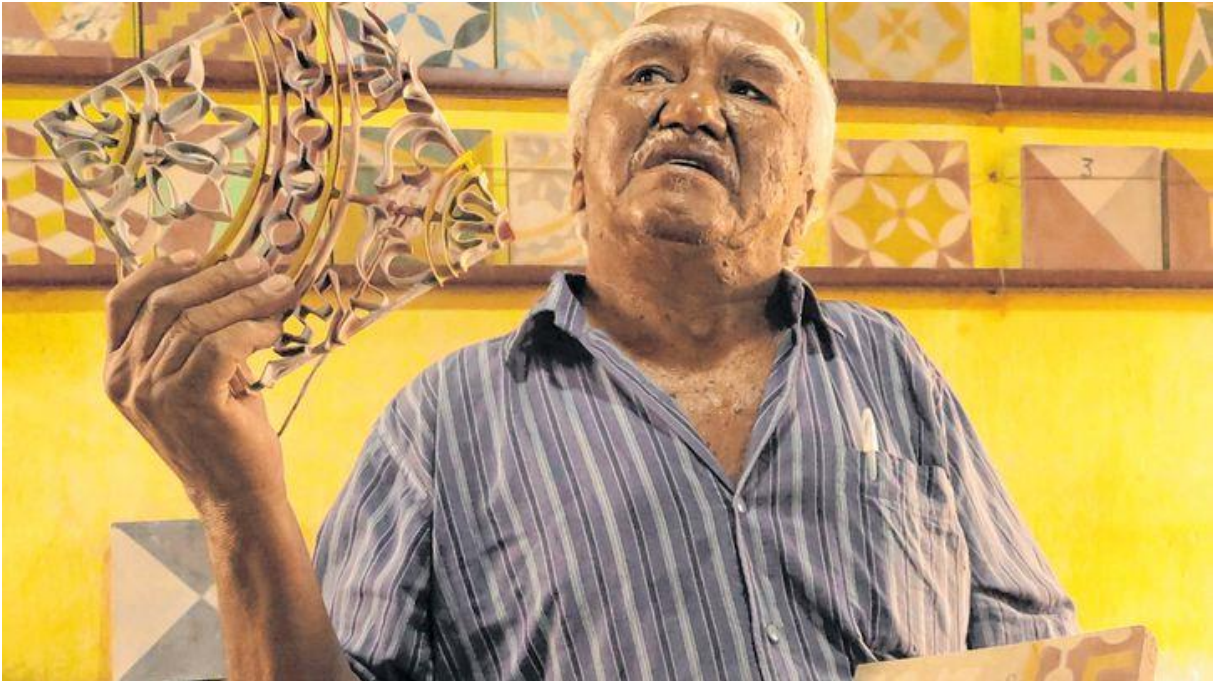
Nas Figuras 26 e 27 é possível ver o processo de elaboração de uma das matérias-primas utilizadas na obra, que é o ladrilho hidráulico, feito por produtores da região; bem como a foto de Jaime Rodrigues, que recebeu o título de “tesouro vivo da cultura cearense” (RODRIGUES, 2019) por ser um mestre que mantém esse saber ao longo de gerações.

Figura 26 – elaboração de matérias primas utilizadas na obra por parte de fornecedores da região



Fonte: Autora (2018).

Figura 27 – foto de "Seu Jaime", como é conhecido o mestre de ofício que mantém a tradição de fabricação de ladrilhos hidráulicos na região do cariri cearense



Fonte: Antônio Rodrigues (2019).

c) Negociações

- São feitas negociações de preço, a depender da quantidade de compra, para barateamento dos custos?

Os valores dos produtos e serviços foram cotados e comparados para a composição final do orçamento. Negociações também são realizadas para otimizar os recursos financeiros dos clientes. A exemplo, a compra da madeira do assoalho do pavimento superior, do revestimento em pedra Cariri e do material elétrico obteve desconto.

Outra estratégia, já citada, de negociação para benefício dos proprietários foi o planejamento de etapas de compras, que permitiu uma hierarquização do grau de necessidade de materiais do ponto de vista da sua urgência para a habitabilidade. Dito de outra maneira, houve um esforço e uma flexibilização, do ponto de vista do gerenciamento da obra, para possibilitar que fossem comprados, posteriormente, materiais que não fossem indispensáveis para se começar a morar na casa.

4.1.4.3 *Público interno:*

- Conforto e saúde para o usuário: qualidade do ambiente interior (confortos higrotérmico, acústico, visual, olfativo); qualidade sanitária da água e do ar qualidade do ar interior; qualidade do espaço exterior; segurança; acessibilidade.

Como mencionado anteriormente, a taipa oferece uma série de vantagens que elevam a qualidade do ar interior devido a sua capacidade de equilibrar a umidade, a temperatura, e auxiliar na filtragem de pequenas partículas de fuligem através de seus poros.

A casa é ampla, bastante segura devido às esquadrias de ferro e vidro, embora tenha a acessibilidade comprometida por não contemplar o uso de rampas e não possuir banheiros adaptados (algumas limitações de programa e área foram resultantes de demandas dos clientes).

A qualidade sanitária da água é de responsabilidade da companhia de abastecimento local, SAAEC, considerada adequada no fornecimento. A qualidade do espaço exterior se dá pelas presenças de: área livre verde; sombreamento por frutíferas; grama para dar suporte a atividades de lazer; plantações produtivas, beneficiadoras da qualidade de vida dos moradores.

4.1.4.4 *Relação com os funcionários*

a) Capacitação:

- Desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados;

Além das falas realizadas para o público externo, houve diversos momentos de capacitação na obra. Dois mestres de obras (colaboradores da construtora que foi contratada para a execução da obra), diversos prestadores de serviço que atuaram na obra (serralheiros, motoristas, vidraceiros, etc.) e todos os pedreiros foram elucidados quanto ao processo e sensibilizados para o mercado das construções naturais.

Além das informações relacionadas ao biodigestor (já citadas), os colaboradores de obra aprenderam sobre como equilibrar a terra, fazer o traço da taipa, confeccionar e montar a forma, dominar o peso para compactação e o tempo de cura, entre outras especificidades relativas a essa construção sustentável.

b) Contratação:

- Existe limitação do pessoal contratado? (pessoas idosas, mulheres e deficientes físicos); busca-se incentivar a manutenção dos mesmos funcionários (com as devidas reabilitações) ou novas contratações? A remuneração é proporcional ao tempo de serviço?

A arquiteta e gerenciadora da obra, embora não tenha sido contratada da obra, foi contratada pelos proprietários, e é uma mulher. Considerando que a pessoa responsável por assentar as pedras era um idoso, vê-se a diversificação de perfis na equipe.

Considerando a importância de manutenção da equipe para reforçar laços de trabalho, consolidar conhecimentos trocados e dar mais estabilidade para os colaboradores, parte do pessoal foi recontratado em outras obras. Sempre que necessário, correções sobre posturas e execuções distintas do solicitado são realizadas para que o profissional possa continuar se mantendo na equipe.

A remuneração, mesmo atendendo ao valor do mercado local, pode sempre ser melhorada, mas os valores dos serviços não foram questionados pelos colaboradores, e foram pagos integralmente.

c) Clima de trabalho:

- Há um cuidado com o clima de trabalho, para que seja agradável?

Como a obra foi a primeira experiência dessa equipe de trabalho, constituiu um desafio para os envolvidos. Apesar disso, o clima gerado no canteiro de obras foi considerado prazeroso e frutífero. Os proprietários visitavam a obra quase diariamente, tendo ocorrido alguns churrascos ao final dos expedientes das sextas-feiras. Nesses momentos considerou-se oportuno também a realização de conversas de alinhamento, que embora necessárias, foram conduzidas de maneira leve. O objetivo comum nunca foi o de exercer poder, mas sim, de construção de um espírito de coletividade e de eficiência.

d) Criatividade e liderança:

- São incentivadas atividades que promovam a criatividade e desenvolvam líderes entre os funcionários?

Como estratégia de identificação e incentivo de líderes natos, um dos pedreiros da obra foi considerado o responsável pelo canteiro. Ficou a seu encargo observar não apenas o desempenho dos demais, mas suas eventuais necessidades; também por acompanhar e explicar aos visitantes sobre a técnica construtiva, o

traço, a compactação e a elaboração de formas que estavam sendo utilizados na obra.

e) Valores da empresa:

- São dadas, aos funcionários, todas as informações que precisam para entendimento dos valores da empresa? São discutidas questões éticas e de cidadania?

Entendendo a necessidade de alinhamento dos valores da empresa com os colaboradores, foram realizadas conversas corriqueiras – ao invés de palestras, que são mais formais e distantes – para falar da importância de uma construção menos impactante ao meio ambiente e às pessoas; tocar na questão da necessidade de transparência com o cliente sobre as compras e as contratações efetuadas, bem como sobre como esse comportamento eleva a qualidade e o reconhecimento do trabalho, gerando dignidade e prestígio no mercado e na comunidade local.

f) Flexibilizações:

- Há flexibilizações dos horários de trabalho?

Do ponto de vista do horário de funcionamento da obra, não foi necessário haver flexibilizações, de modo que ocorria no mesmo período: das 7h às 16h.

g) Voz nas decisões:

- Os funcionários têm voz nas tomadas de decisão?

O funcionário, quando ouvido, pode não apenas estabelecer relações mais saudáveis no ambiente de trabalho e sentir-se mais valorizado, como pode melhorar a qualidade do produto que está sendo entregue a partir dos seus conhecimentos adquiridos em experiências anteriores. Mesmo quando a sugestão dada não resolver o problema, a aceitação de suas propostas pode gerar uma sensação de confiança. Foi o que ocorreu na obra aqui analisada. Em numa situação pontual sobre a qualidade da taipa, que ao ser desenformada, um colaborador sugeriu o metal para substituir a madeira, no intuito de ter uma face de taipa mais lisa. Embora a sugestão tenha sido acatada, o problema persistiu, levando a equipe a voltar a usar a madeira.

Outras situações também surgiram, fossem relacionadas com o acabamento entre a telha e a parede de pedra (sugestão do metalúrgico), ou com pequenas

decisões corriqueiras. A prática da empresa gerenciadora, de modo geral, foi a de procurar ouvir os colaboradores e construir soluções conjuntamente.

h) Segurança do trabalho:

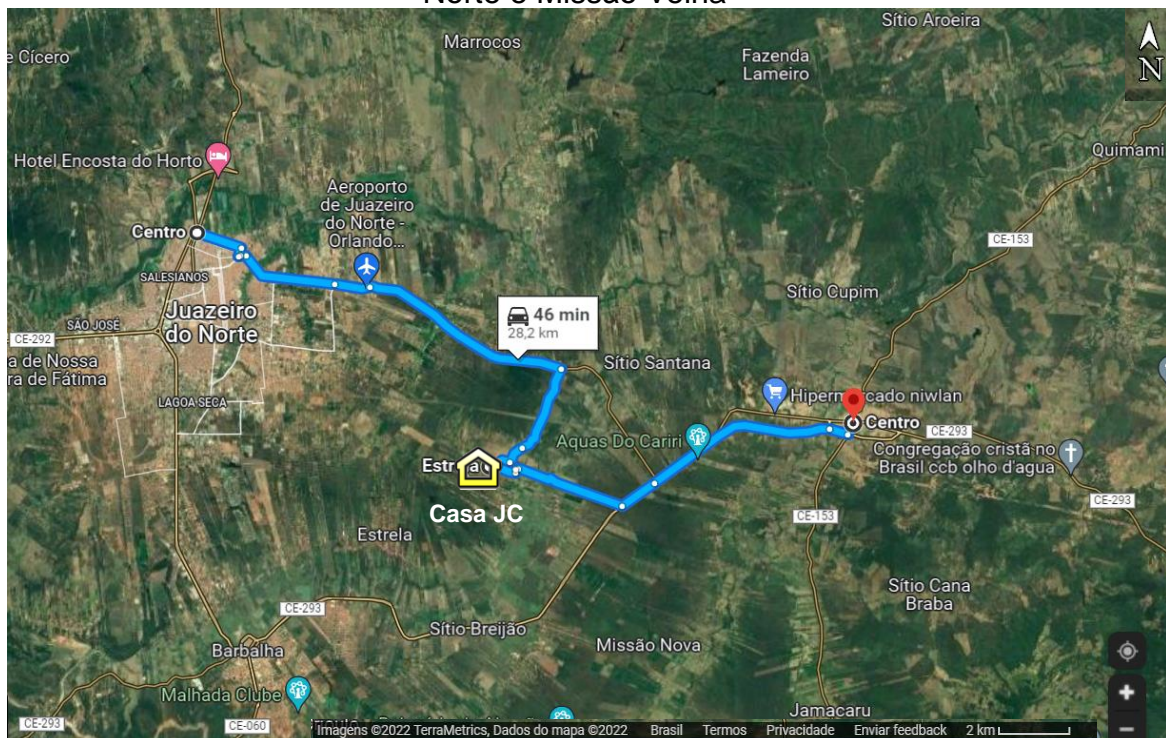
- Existem cuidados com a saúde e segurança no trabalho?

O fato de o sistema construtivo ter pouco cimento ajudou na saúde dos trabalhadores. Quanto à segurança do trabalho, cintos de segurança eram constantes utilizados na obra, e os Equipamentos de Proteção Individual – EPIs, foram entregues aos pedreiros junto com a solicitação de sua utilização. Vale pontuar, porém, a dificuldade em manter a equipe com os capacetes e as botas, uma vez que eles não eram notificados nem penalizados pela construtora contratada em caso de não os utilizarem.

4.2 ESTUDO DE CASO 02 - CASA JC, MISSÃO VELHA-CE

A casa JC localiza-se a 16,1 km do centro de Juazeiro do Norte e a 12,1 km do centro de Missão Velha, conforme apresentada na Figura 28.

Figura 28 – Localização da casa JC entre as malhas urbanas de Juazeiro do Norte (à esquerda), Missão Velha (à direita) e Barbalha (abaixo). Em azul destacam-se as principais rotas para acessar os bairros centrais de Juazeiro do Norte e Missão Velha



Fonte: Google Maps (2022), editado pela autora (2022).

Contudo, embora o terreno pertença ao município de Missão Velha, o acesso a ele é mais estruturado no caminho que o conecta a Juazeiro do Norte. Como informa a legenda da figura supracitada, o terreno localiza-se entre três municípios. Percebe-se, assim, a noção de integração dos territórios municipais dentro da RM Cariri.

4.2.1 *Ficha Técnica*

Quadro 13 – Ficha técnica do estudo de caso 2

| |
|--|
| Projeto: Larissa Galvão |
| Colaboradores técnicos: Renan Teixeira (arquiteto) |
| Consultoria: Elis Rigoni (bioconsultora) |
| Tx. Ocupação: 0,08% Áreas Construída/útil: 113m ² / 49,73m ² |
| Valor médio do m ² : R\$ \$ 646,00 |
| Localização: Sítio Pintado II, Missão Velha. |
| Projeto: nov. 2018 – jan. 2019 Construção: fev.-ago. 2019 |

Fonte: Autora (2022).

4.2.2 *Imagens da edificação e do projeto arquitetônico*

Na Figura 29, vê-se algumas das soluções ecoeficientes integradas pensadas para a residência: uso de materiais naturais, como a palha e a madeira; arquitetura bioclimática, com respostas à exaustão, à necessidade de iluminação (abertura superior central por meio de claraboia) e ao excesso de calor (alpendre circular), minimizando gastos energéticos com climatizações e luz artificiais; paisagismo produtivo.

Do ponto de vista construtivo, vale observar a Figura 30. Nela é possível ver a malha metálica de suporte à técnica do ferrocimento, bem como seu engaste na alvenaria de pedra que dá sustentação ao conjunto. As peças de madeira do tipo Sabiá (da região) já se encontram, no momento da foto, instaladas para posterior recepção da cobertura revestida de palha. Outro detalhe importante é o fechamento das proteções às esquadrias, que se projetam para além dos limites da superfície curva, funcionando como elemento de proteção das águas pluviais (uma vez que a cobertura do alpendre é de palha, que gera uma barreira ao sol, mas não impede totalmente a entrada de água).

Figura 29 – Imagem 3D do projeto elaborado para a residência



Fonte: Autora (2019).

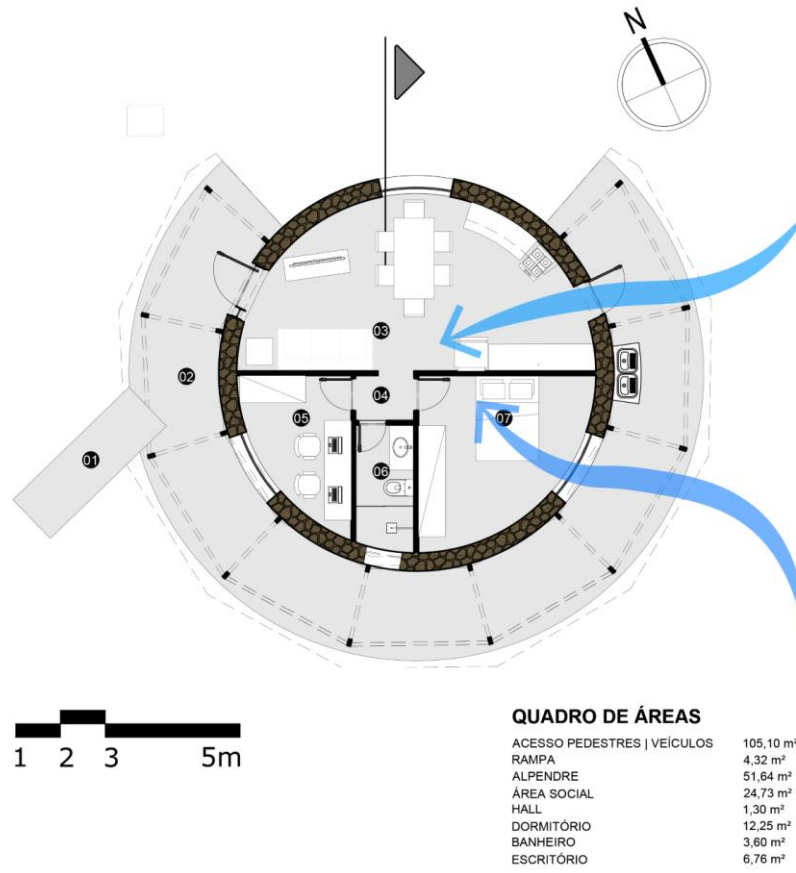
Figura 30 – fotografia da construção da residência em andamento



Fonte: Autora (2019).

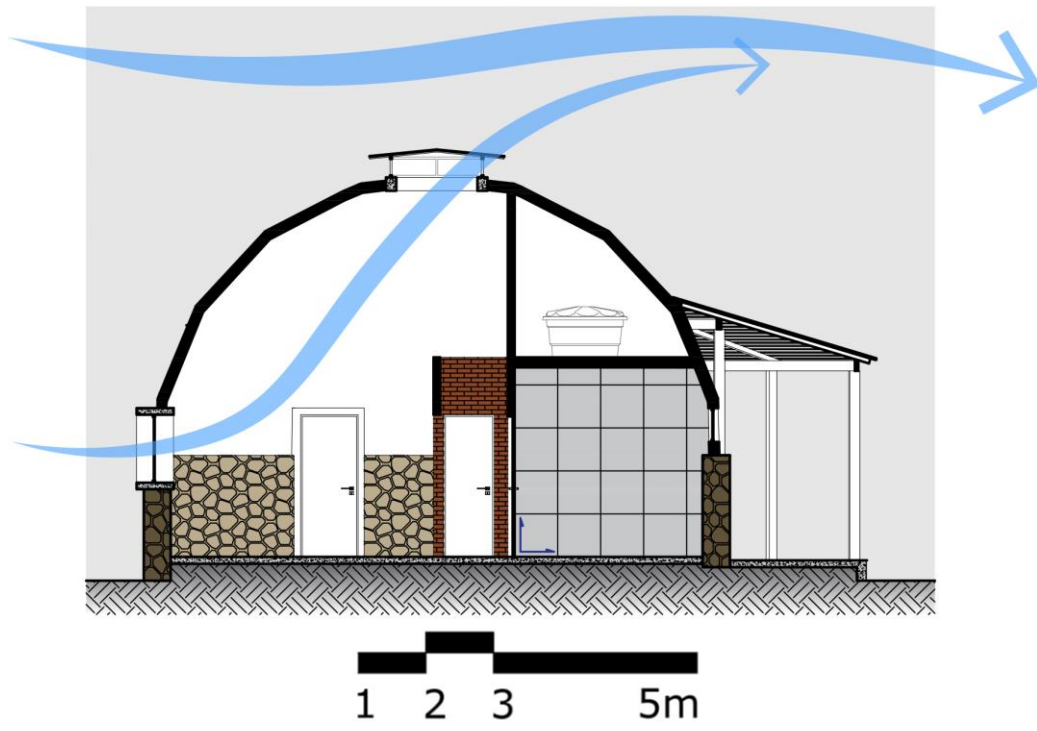
Quanto ao funcionamento interno da edificação, na Figura 31 é apresentado o *layout*, demonstrando os locais de entrada de ar e luz, bem como os diferentes tipos de alvenaria adotados: pedra e tijolos de solo-cimento.

Figura 31 – Planta de pavimento da residência JC



Fonte: Autora (2022).

Figura 32 – Corte esquemático da residência JC



Fonte: Autora (2022).

No corte apresentado na Figura 32 tanto é possível observar alguns dos elementos já citados (como alpendre, claraboia e esquadrias) como a relação entre eles. Por exemplo, vê-se o caminho dos ventos que entram pelas esquadrias e saem pelo interstício entre a claraboia e a cúpula, renovando o ar da casa.

4.2.3 Análise das dimensões ambiental e econômica

4.2.3.1 Implantação e integração com o Entorno:

- Seleção do local implantação; aproveitamento das infraestruturas existentes no local; adequado acesso em relação ao espaço exterior; impactos da construção no entorno (meio ambiente); modificação na paisagem original necessária para a construção; contribuições para a redução do efeito local de ilhas de calor; minimização de alteração da área do terreno; gestão das águas superficiais;

A casa está implantada na cidade de Missão Velha, no distrito de Sítio Pintado, área de borda da expansão urbana de Juazeiro do Norte rumo às cidades vizinhas da RM Cariri. O local é notoriamente uma área de sítio, no início dos desmembramentos das glebas para venda de lotes entre a expansão do bairro Campo Alegre e o loteamento Canaã.

O terreno, delimitado com cercas de madeira, apresentava como infraestrutura: rede elétrica, água de poço e acesso por uma via local de terra, conectada com uma estrada também local que dava acesso ao bairro de Campo Alegre. O transporte público não conta com oferta de ônibus; apenas com moto táxis. Uma outra forma de acessar o lote é através de transporte próprio.

Embora o lote já não apresentasse árvores de grande porte (Figura 33) e não tenha sido aberta clareira para iniciar as obras (o terreno já estava limpo, tendo ocorrido apenas a capinagem do mato alto), considera-se que foi gerado algum impacto no entorno para erguer a construção, já que o formato arredondado da casa gerou certa estranheza na vizinhança. Apesar da referida constatação, não se pode dizer que foi, obrigatoriamente, um impacto negativo. Em verdade a atipicidade do desenho da edificação para a região gerou uma curiosidade que permitiu que muitos moradores pudessem conhecer mais das técnicas construtivas ali desenvolvidas.

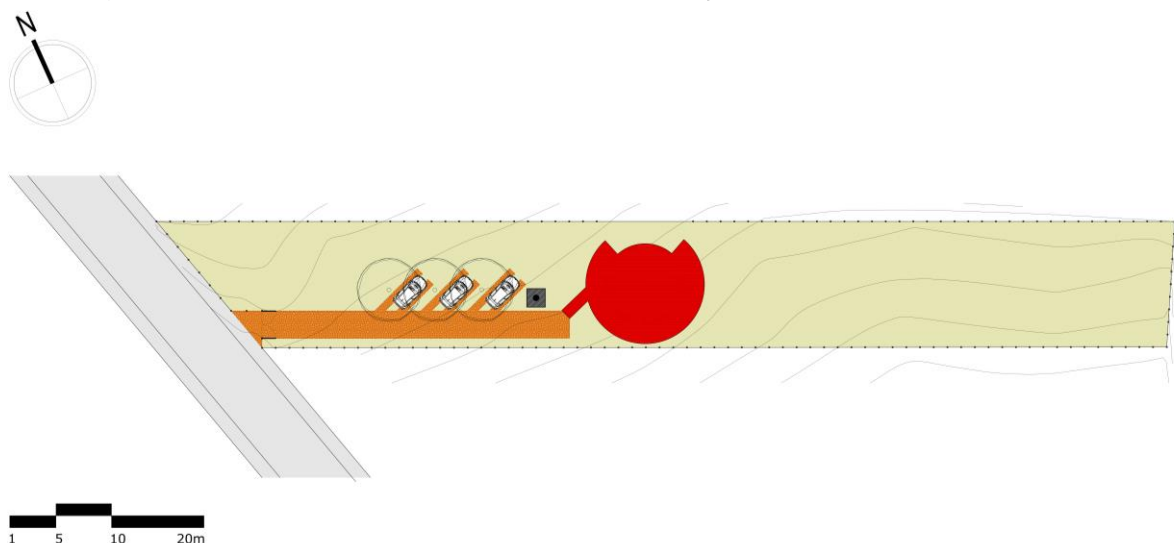
Figura 33 – Imagem de satélite contendo a implantação da edificação no lote e seu entorno



Fonte: *Google Earth* (2022), editado pela autora (2022).

Do ponto de vista climático, a forma arredondada adotada contribuiu para a redução no efeito de ilha de calor por, pelo menos, dois fatores. O primeiro deles foi permitir uma melhor fruição da ventilação que passa externamente pelo edifício. O segundo foi que a área de ocupação é muito baixa (a casa ocupa menos de 8% da área total do terreno, que é de 1.418m²), apresentando uma maior capacidade de absorção de águas superficiais e uma menor reflexão de calor em decorrência dos materiais naturais adotados e/ou mantidos no lote.

Figura 34 – Croqui esquemático da implantação do projeto da residência



Fonte: Autora (2022).

Na Figura 34 vê-se a relação de proporção entre a área do terreno (em verde) e a área coberta da casa (em vermelho). O trecho em cor laranja diz respeito ao acesso e às vagas de estacionamento previstas para o local, mas são materiais naturais (em pedra).

A topografia do lote é bastante plana, apresentando sua cota mais baixa na frente do mesmo e a mais alta (cerca de 2 metros de desnível) na região posterior, a sudeste da edificação. As modificações no solo foram mínimas, tendo sido adotada uma estratégia de “pouso” da edificação no terreno. Para isso, foi necessário elevar o acesso à edificação em 30 cm, de modo que a casa não apenas se inseriu entre as cotas de nível (que foram demarcadas a cada 20 cm de altura – ver Figura 34), mas gerou uma limitação para que o caminho das águas no terreno, em casos de chuva, não atingisse o interior da construção.

4.2.3.2 *Projeto e Meio Ambiente:*

- Paisagismo, flexibilidade do projeto, adequação as condições físicas do terreno; possibilidade de reciclagem; recuperação de áreas degradadas e reabilitação de imóveis; Qualidade do ambiente interior (ar interior; desempenho térmico, iluminação e ventilação/exaustão; controle de emissão de ruídos);

A edificação, redonda, foi implantada de forma que a ela possam ser anexados, futuramente, outros elementos construtivos. Essa solução permite uma adaptação do terreno às eventuais necessidades que a moradora possa vir a ter. Como o lote é predominantemente plano, outras cúpulas podem ser facilmente replicadas e criadas conexões entre elas.

No paisagismo foram previstas as espécies vegetais conhecidas como buganvílias, a serem plantadas rentes à alvenaria, de forma a auxiliar na redução de absorção de calor pela cúpula (feita de ferrocimento), além de aliviar o efeito de retração e de expansão do concreto.

Mais de 90% da área do terreno é destinada para que a irmã da proprietária, que é agrônoma, plante árvores frutíferas, leguminosas e ervas. Mas quanto à proposta de paisagismo produtivo feita pela arquiteta do projeto, houve a inserção de mudas (chamadas fios) de bananas, que são utilizadas para tratamento de esgoto da fossa tipo Bacia de Evapotranspiração (BET), é a representante do paisagismo produtivo.

O ferrocimento, mesmo sendo considerado uma técnica de bioconstrução, se enquadra mais pelo fator da viabilidade econômica que pelo baixo impacto ao meio ambiente, uma vez que os insumos para sua execução são o ferro e o cimento que, em caso de demolição, demoram mais tempo para se integrarem nos processos regenerativos da natureza. Contudo, a técnica requer cuidados por não suportar cargas excessivas, e necessita de manutenções periódicas na cúpula, seja com pintura e/ou vedação que contenha possíveis fissuras que venham a ser causadas pelas variações de temperatura e umidade no material.

A casa JC foi construída com fundação e paredes (até 1,5m) em pedra e alvenarias internas de tijolo de solo-cimento, ambos reintegrados à natureza de forma menos impactante.

O formato da casa, uma cúpula geodésica de 8 metros de diâmetro, garante não só a função estrutural que dá equilíbrio ao conjunto, como permite, com isso que as paredes internas, feitas de tijolo de solo-cimento, possam ser alteradas sem impactos na estrutura (salvo o perímetro da laje da caixa d'água). Ainda assim, em se construindo uma outra caixa d'água, fora da cúpula, as paredes poderiam ser removidas e um outro pavimento, um mezanino, poderia ser incorporado à área útil da casa, caso fosse do interesse da proprietária.

A forma da edificação representa muito na qualidade do ambiente interior. Com aberturas em todas as orientações (salvo oeste) e uma claraboia de 1 metro de diâmetro no centro da geodésica, o fluxo de ar é contínuo. Ainda que pintada de branco, a cúpula de ferrocimento permite uma intensa troca de calor. Por isso é tão necessário fluxo de ventos para permitir tais trocas de ar e de tóxicos. A iluminação é agradável, mas diante do relato de incômodo, por parte da moradora, com o excesso de iluminação natural (vinda da cobertura da claraboia, que foi projetada em vidro), será implantada uma nova cobertura em madeira. Essa, conseqüentemente, irá impedir a entrada da luz da noite. Cabe aclarar que esquadrias de teto, que permitiriam o controle da entrada de luz, ainda são bastante inacessíveis para a região, tanto do ponto de vista de fornecedores como do frete, do preço final e da instalação e manutenção.

Do ponto de vista da acústica, por seu formato circular, existe uma reverberação que causa certa estranheza nos moradores, fato que pode ser minimizado mediante adoção de materiais absorventes a serem implantados em locais estratégicos.

4.2.3.3 *Eficiência na utilização/gestão de recursos*

a) Água:

- Medição do consumo e eficiência da edificação; sistema de reutilização da água de chuva; sistema de reciclagem de águas cinzentas; sistema de rega de elevada eficiência; dispositivos e equipamentos de utilização de elevada eficiência (como economizadores); controle de poluição da água; previsão de áreas permeáveis;

A edificação é alimentada por um poço artesanal existente no terreno, por isso a ausência de sistemas de aferição de consumo. A casa foi projetada para duas pessoas usarem, possui uma cozinha, um banheiro e uma pequena área de serviço. Foi calculado um consumo onde uma caixa d'água de 1.000 litros supre a demanda da moradora mesmo com hóspedes. A localização da caixa, acima do banheiro, foi pensada para otimizar o consumo de canos e conexões. Todas as torneiras internas da casa possuem aeradores; uma torneira simples, externa, é usada para rega de plantas.

A forma da casa redonda, ainda que fosse replicada, garantiria áreas permeáveis entre as cúpulas. Na implantação atual, mais de 90% do terreno (aproximadamente 1.700m²) é de área permeável.

As águas da casa são tratadas através de fossa tipo BET, sendo a caixa de concreto do sistema mais alta que o nível do solo, de modo a evitar que, em situações de alagamento, a água de chuva se misture com os líquidos que estão em tratamento.

b) Energia:

- Medição do consumo e eficiência energética da construção; lâmpadas de baixo consumo (ou com certificação "Energy Star"); fontes alternativas de energia renovável (aquecimento solar, gás ou outros);

Devido à forma em esfera e à resistência do material da cúpula (ferrocimento), a instalação de placas fotovoltaicas foi inviabilizada. A casa apresenta um quadro monofásico, de pequeno porte e alimentado por energia rural. As lâmpadas são de LED e a geladeira etiquetada pelo selo PROCEL.

c) Ar:

- Relação das distâncias relacionadas ao transporte de materiais e emissão de CO₂; relação dos materiais e emissão de CO₂ para sua produção; controle de poluição do ar;

Praticamente todos os materiais eram entregues por um depósito de construção localizado num bairro próximo (num trajeto de aproximadamente 7,8 km do Sítio Pintado, localidade em que se encontra a casa). Poucas vezes o caminhão do depósito fez esse trajeto, que foi apenas quando havia entregas de material grosso (pedra, areia, cimento). O mestre de obras muitas vezes ia para o canteiro de carro e, no caminho, passava pelo depósito para pegar material, assim como o faziam a arquiteta e a bioconsultora da obra. Elas faziam um trajeto de 11,1km, em dias alternados, para fiscalização de obra e também aproveitavam a viagem para levar materiais. Os ajudantes da obra (ora dois, ora três) faziam suas locomoções de moto, numa distância média percorrida, individualmente, de cerca de 16 km. A obra durou 5 meses.

A pedra utilizada foi uma pedra local, de fácil acesso e comprada diretamente com o motorista do trator – que se encarregou de fazê-la chegar à obra; e o cimento é produzido na região. Embora tenham sido adotados materiais metálicos (tela nervurada do tipo Q 92, malha de galinheiro e outros ferros) que apresentam emissão de CO₂ para sua produção, eles foram necessários para o barateamento da construção; mas foram comprados de uma distribuidora local, que fica localizada no centro de Juazeiro do Norte. A estrutura de sabiá (um tipo de madeira que é própria da região) é colhida, limpa e instalada pelo próprio fornecedor, que também faz os mesmos processos com relação à palha de babaçu, usada na cobertura da varanda.

d) Materiais:

- Qualidade e resistência da construção (eficiência estrutural; avaliação de ciclo de vida; uso de produtos/produção de materiais de baixo impacto ambiental ou ecológicos; uso da terra; materiais reutilizáveis; facilidade de manutenção;

Para a realização da fundação da casa, foi construída uma viga tipo baldrame circular, de concreto armado, e acima dela, foi moldada uma canaleta em pedra que se iniciou a 1,5 metro do solo. A malha do ferrocimento, antes de ser concretada, foi

amarrada no ferro contido nessa canaleta para dar maior segurança à estrutura, aumentando a eficiência estrutural da construção.

A preocupação em utilizar material de baixo impacto ambiental foi constante: pedra nas fundações e alvenarias, solo-cimento nas alvenarias internas, torneiras com aeradores, tratamento de esgoto através de bacia de evapotranspiração e a varanda estruturada com colunas de sabiá e cobertura de palha.

A palha e a madeira, como se sabe, não possuem grande ciclo de vida, até por serem mais facilmente reintegráveis à natureza. Por isso, precisarão de manutenção mais periódica, que pode ser facilmente contratada junto ao fornecedor desses materiais.

e) Resíduos

- Eficiência dos recursos utilizados para a construção e gerenciamento dos seus descartes; local para coleta seletiva, gestão de resíduos de construção;

O reboco da cúpula de ferrocimento foi o que mais preocupou a equipe. Para minimizar as perdas de cimento, um molde de madeirite foi preparado, mas ainda assim algum cimento foi desperdiçado.

No terreno houve constantes registros de pedras, pois elas foram entalhadas *in loco*. Embora muitas tenham sido reaproveitadas para canteiros, diversas outras foram descartadas por meio de uma caçamba de entulho.

Os canos que montaram a cúpula geodésica foram mantidos pela proprietária e, hoje, a estrutura se tornou um berçário para mudas, demonstrando uma possibilidade de reutilização eficiente.

O pouco resíduo oriundo das alvenarias internas, de solo-cimento, foi rapidamente absorvido pelo terreno, causando um baixíssimo impacto pelo pouco uso de cimento que esse material requer.

Como no caso do estudo de caso anterior, houve limitação para uma adequada separação dos tipos de resíduo decorrente da falta de engajamento da equipe de obra. Assim, não houve separação do lixo entre recicláveis e não recicláveis.

4.2.3.4 *Inovação*

- Utilização de projetos e materiais inovadores; escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos;

A inovação do projeto reside na apresentação de uma proposta sustentável mesmo diante de uma grande limitação: a orçamentária. Apesar de ser um programa de necessidades pequeno, que barateia a construção, o orçamento disponibilizado para essa construção foi de apenas trinta mil reais; fato que gerou uma meta de executar a obra com o menor valor possível.

A geodésica, conhecida pelo formato diferenciado e pela praticidade na sua montagem, foi escolhida como a forma da casa; e o ferrocimento, leve, barato e plástico, foi o sistema estrutural adotado. Uma vez o ferrocimento atuando como casca, amarrado sobre a base de pedra, os custos caíram aproximadamente 30% em relação ao Custo Unitário Básico da construção (CUB) de uma edificação de baixo padrão, e considerando, nesse cálculo, custos com projeto e gerenciamento de obras.

As alvenarias internas foram construídas com tijolos de solo-cimento, que levam menos cimento em sua composição e são curados sem queima. O esgoto é tratado por BET e uma cobertura de palha foi escolhida para cobrir o alpendre, suavizando a absorção de calor pela cúpula, que também recebeu uma claraboia no topo para a exaustão do calor e entrada de iluminação. Essas soluções, embora conhecidas em algumas localidades, constituem uma inovação do ponto de vista da construção civil local.

4.2.3.5 *Gerenciamento*

- Forma da política de gerenciamento da obra;

A política de gerenciamento está ligada a três aspectos, basicamente: cotação de valores (produtos, serviços e logística), aferição semanal da obra (qualidade e projeto) e administração financeira (compras, pagamentos e apresentação de comprovantes para a cliente).

Por um percentual sobre o valor total da edificação, a gerenciadora diminui custos para a cliente com compras otimizadas e serviços realizados com garantia, muitas vezes tornando a construção mais barata que as ofertadas pelo mercado.

Em contrapartida, com os prestadores de serviço, a gerenciadora ajuda na organização dos serviços de pequenos construtores, alinha pagamentos com

cronograma, informa sobre saldos, ensina novas técnicas e acata a experiência de cada profissional do canteiro de obras.

4.2.4 Análise da dimensão social

4.2.4.1 Responsabilidade social (meio ambiente, comunidade, governo e sociedade)

a) Articulação com a comunidade

- Existe uma articulação da empresa responsável pelo projeto e pela gestão das obras, com a comunidade local? (doações, incentivos a voluntariado, etc.);

A arquiteta responsável pelo projeto também foi a gerenciadora da obra – juntamente com a bioconsultora. Como dito no estudo de caso anterior, como a arquiteta é também docente no curso de arquitetura e urbanismo e ministra disciplina de arquitetura sustentável, buscou compartilhar a experiência de projeto e de construção com seus alunos. Um dos trabalhadores da obra, experiente com construções em solo-cimento, explicou sobre a técnica para a turma (traço, umidade, compactação e formas, além da amarração e do assentamento) – ocasião que foi registrada na Figura 35. Alguns alunos dessa turma que puderam vivenciar as etapas de projeto e de execução de obras de bioconstrução, depois de formados, foram contratados para prestar serviços para a empresa gerenciadora.

Os fornecedores de solo-cimento, após a experiência que tiveram com essa obra, abriram uma pequena construtora, e hoje têm no solo-cimento seu diferencial no mercado local. Uma série de prestadores de serviços locais (serralheiros, motoristas, vidraceiros), além dos vizinhos e curiosos (incluindo um grupo de policiais), foram elucidados sobre a técnica na ocasião de suas passagens pela obra.

Figura 35 – Palestra ministrada por um dos trabalhadores da construção para estudantes do curso de arquitetura e urbanismo de uma instituição privada de Juazeiro do Norte



Fonte: Autora (2019).

b) Sensibilidade e educação:

- Explicação das funções básicas ao dono da construção; educação ambiental dos empregados; desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados; participação da comunidade na elaboração do projeto;

O projeto foi elaborado de forma descentralizada da figura da arquiteta, mas não aberto à comunidade por se tratar de uma residência unifamiliar.

A proprietária da casa participou de todas as fases de elaboração do projeto e entendeu todas as propostas, da cúpula à fossa tipo BET. O projeto teve participação de um arquiteto recém formado (que já trabalhava como estagiário na empresa) e de uma bioconsultora (de quem partiu, inclusive, a sugestão de adoção da cúpula para redução do custo da obra, questão primordial para a proprietária).

A equipe de obra, contratada logo no início da mesma, foi treinada pela bioconsultora, que ensinou como fazer tanto a geodésica (dando acesso aos sites que calculam as arestas dos triângulos que compõem a forma, para facilitar o corte das mesmas; e demonstrando como prensar os canos para o parafusamento das peças e sua montagem) como a fossa tipo BET.

4.2.4.2 *Valores e transparência, fornecedores*

a) Fornecedores:

- Os fornecedores são variados, e avaliados estrategicamente e periodicamente?

Tal como ocorreu no estudo de caso anterior, tanto houve consultas de preços para escolha dos materiais mais adequados (custo x benefício) quanto a necessidade de substituição de prestador de serviço que comprometeu prazos da obra. Sobre esse último caso, a equipe que assumiu o serviço (que estava iniciando sua atuação no mercado) executou as alvenarias de solo-cimento, tendo finalizado a obra a contento.

b) Matérias-primas:

- As matérias-primas adquiridas são de fornecedores da região de atuação?

Como dito anteriormente, salvo as pedras que são oriundas do município vizinho (o Crato), e a parte de louças sanitárias, cubas e torneiras (que são fabricadas no polo industrial do Centro-sul do país), os demais materiais utilizados foram adquiridos junto a fornecedores locais.

Os pilares da varanda são de Sabiá, madeira da região, assim como a palha que foi usada na cobertura, extraída da espécie vegetal conhecida como Babaçu. E os tijolos de solo-cimento foram fornecidos por produtores locais.

c) Negociações:

- São feitas negociações de preço, a depender da quantidade de compra, para barateamento dos custos?

Além de haver a disponibilização de toda a planilha de compras para a cliente, por meio da qual é possível auditar todos os serviços e compras, a empresa gerenciadora também busca barateamento dos valores, sobretudo no caso da casa JC, que apresentou orçamento reduzido. O cimento foi um exemplo de material para o qual se conseguiu desconto na compra.

4.2.4.3 *Público interno:*

- Conforto e saúde para o usuário: qualidade do ambiente interior (confortos higrotérmico, acústico, visual, olfativo); qualidade sanitária da

água e do ar qualidade do ar interior; qualidade do espaço exterior; segurança; acessibilidade;

Como mencionado anteriormente, o ferrocimento é uma técnica de baixo custo, considerada “uma casca”, e por isso tem pouca resistência aos efeitos de contração e dilatação, aumentando a necessidade de materiais impermeabilizantes sobre ela. De toda forma, por sua espessura, o ferrocimento passa a ser um bom transmissor de calor, enviando partículas tóxicas presentes no cimento e nas tintas (COVs).

A casa é ampla, térrea, implantada a pouco mais que 30 cm do nível do solo, tendo uma circulação (composta de rampa de acesso e das portas de entrada e da área de serviço) que atende a pessoas com mobilidade reduzida. É bastante segura e arejada devido às robustas esquadrias de madeira e à cúpula no centro da geodésica, que proporciona toda a exaustão do calor emanado pela casca.

A qualidade sanitária da água é de responsabilidade da proprietária, que deve aferir a água do poço periodicamente. A qualidade do espaço exterior se dá pela permeabilidade do solo e por sua capacidade de recebimento de diversas formas de plantação que possam dar apoio à saúde e ao bem estar da moradora. Hoje em dia, inclusive, constatou-se que já existem muitas espécies plantadas, embora ainda estejam em graus iniciais de desenvolvimento.

4.2.4.4 *Relação com os funcionários*

a) Capacitação:

- Desenvolvimento pessoal e capacitação profissional dos empregados;

Todos os pedreiros (havia, na obra, dois empreiteiros com equipes distintas) aprenderam sobre a cúpula geodésica, a estrutura de ferrocimento, sobre a confecção e montagem da forma, o processo de montagem das malhas, os rebocos e o tempo de cura. O primeiro mestre de obras desenvolveu cortes específicos em madeirite para o reboco de cada triângulo da cúpula, ajudando a diminuir o desperdício de material. Os demais prestadores de serviços foram também elucidados quanto ao processo e sensibilizados para o mercado das construções naturais.

b) Contratação:

- Existe limitação do pessoal contratado? (pessoas idosas, mulheres e deficientes físicos); busca-se incentivar a manutenção dos mesmos funcionários (com as devidas reabilitações) ou novas contratações? A remuneração é proporcional ao tempo de serviço?

Como mencionado no estudo de caso anterior, há uma diversificação de perfis na equipe (composta por homens e mulheres, adultos mais novos ou idosos); práticas de correção para privilegiar a manutenção de trabalhadores na equipe, e uma remuneração que atende ao valor do mercado local e que não foi questionada pelos colaboradores.

c) Clima de trabalho:

- Há um cuidado com o clima de trabalho, para que seja agradável?

Mesmo considerando algo problemática a necessidade de trocar a primeira equipe de construção civil, o ambiente de trabalho foi analisado, ao menos pela ótica da arquiteta e gerenciadora, como sendo prazeroso e frutífero. Nele pôde haver as conversas necessárias para o adequado funcionamento da obra, sem que para isso ocorressem momentos pesados ou que não passassem a mensagem de um trabalho que, realizado conjuntamente, seria mais eficiente e benéfico para todos.

d) Criatividade e liderança:

- São incentivadas atividades que promovam a criatividade e desenvolvam líderes entre os funcionários?

Uma limitação da empresa gerenciadora de obra é não ter responsabilidade direta sobre o trabalhador (essa recai sobre o empreiteiro ou a construtora).

Mas quanto ao fomento às lideranças presentes nas equipes de trabalho, na obra da casa JC a construtora contratada disponibilizou seu pedreiro mais experiente para falar sobre a técnica construtiva, na ocasião da citada visita de estudantes de arquitetura e urbanismo ao canteiro.

e) Valores da empresa:

- São dadas, aos funcionários, todas as informações que precisam para entendimento dos valores da empresa? São discutidas questões éticas e de cidadania?

Através de conversas corriqueiras de obras foram repassados, aos colaboradores envolvidos, os valores e as metas da empresa para aquela obra. Foi conversado sobre a importância de uma construção menos impactante ao meio ambiente e às pessoas, que seja viável financeiramente, na questão da transparência com o cliente sobre as compras e as contratações; e sobre como esse comportamento eleva a qualidade do trabalho e gera dignidade.

f) Flexibilizações

- Há flexibilizações dos horários de trabalho?

Como no estudo de caso anterior, o horário de funcionamento da obra foi das 7h às 16h.

g) Voz nas decisões:

- Os funcionários têm voz nas tomadas de decisão?

Uma das ocasiões em que funcionários tiveram voz na tomada de decisões de obra foi no caso das formas em formato de triângulo. Elas foram uma sugestão do primeiro mestre de obras, que optou pelo formato para diminuir o desperdício de material e cimento no reboco. Além dessa, outras pequenas decisões, corriqueiras, ocorreram no canteiro de obras, procurando-se adotar, sempre que possível, soluções conjuntamente construídas.

h) Segurança do trabalho:

- Existem cuidados com a saúde e segurança no trabalho?

O fato de a empresa gerenciadora de obras não ser uma construtora dificulta a geração de uma obrigação sobre os trabalhadores quanto ao uso de EPIs. Foi solicitado aos dois empreiteiros que atuaram na obra que suas equipes usassem os equipamentos, mas foi constante a realidade de trabalhadores sem os capacetes e as botas, uma vez que eles não eram notificados nem penalizados pela ausência deles.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observando os diferentes contextos de cada obra, inclusive relacionados aos perfis dos clientes, percebe-se que as dimensões de sustentabilidade contempladas tiveram pesos bastante diferentes. Por exemplo, o primeiro estudo de caso foi contratado por um casal que já possuía um interesse claro sobre uma técnica de bioconstrução, além de facilitação para instalação de sistema de geração de energia limpa. Tal fato, somado ao orçamento por eles disponibilizado, gerou maiores impactos positivos, do ponto de vista ambiental, em comparação ao segundo estudo de caso. Esse último, por sua vez, teve como elemento fortemente limitador o orçamento, e por isso, a dimensão econômica foi a que se sobressaiu.

Como a meta de economia foi diferenciadora entre ambos casos, percebeu-se uma diferença no valor médio do metro quadrado das duas residências (R\$ 922,13 na casa JHP e R\$646,00, na casa JC). Além da escolha da técnica construtiva – que, por si só, ajudar a justificar essa diferença de valores –, os ganhos ambientais, econômicos (em longo prazo) e sociais de algumas soluções adotadas na casa JHC geraram custos adicionais (como o conforto da taipa e da telha termoacústica, a geração de energia própria, a captação de águas pluviais, etc.)

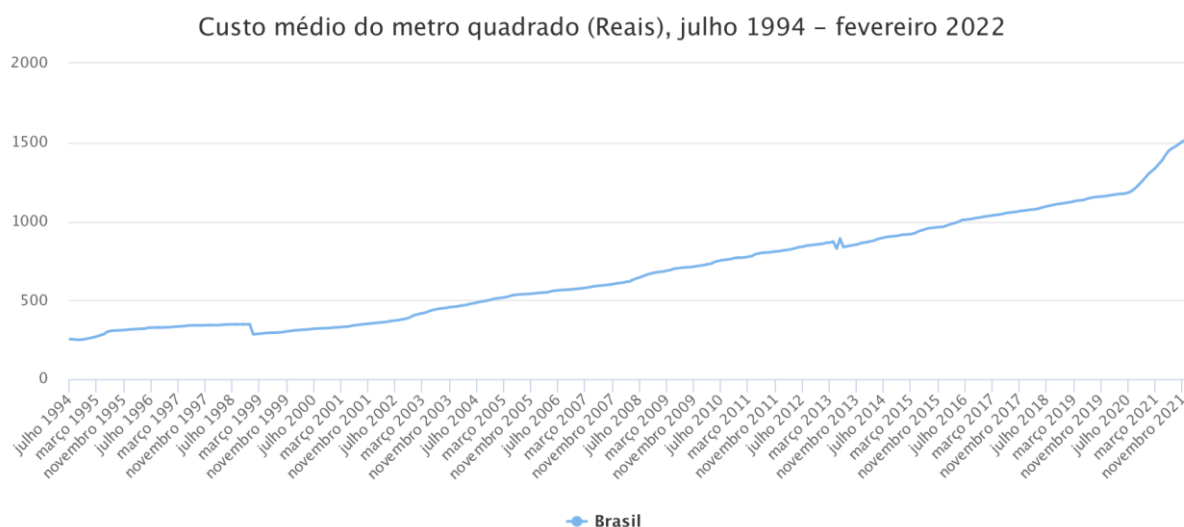
Em verdade, a diferença de valores do metro quadrado entre as ambas casas teria sido ainda maior considerando dois fatores: o primeiro deles é que, na primeira casa a arquiteta, por entender que precisava investir para trazer a bioconsultoria para a região, a contratou por conta própria; mas no segundo estudo de caso esse valor foi cobrado no orçamento do gerenciamento da obra; outro fator foi a inflação dos preços de materiais de construção, conforme por ser observado na Figura 36.

Segundo dados de uma série histórica do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), disponibilizado pelo IBGE, o valor do custo médio do metro quadrado das construções, no Brasil, foi de R\$1.052,75 em junho de 2017 (período no qual foram iniciadas as obras do estudo de caso 1). Esse valor subiu para R\$ 1.126,82 em março de 2019 (quando ocorreram as obras da casa JC), configurando um aumento percentual aproximado de 7%.

Embora esses valores se refiram à construção civil como um todo (incluindo edificações erguidas com técnicas construtivas convencionais), eles dão um termômetro da alta de preços ocorrida no país, como um todo. Mas cabe também observar que, se compararmos o valor do custo médio do metro quadrado da

construção civil brasileira (vide dados apresentados na imagem anterior) com o valor obtido na construção das duas casas analisadas (bioconstrução), a diferença é significativa. Grosso modo, as residências do estudo de caso custaram o equivalente a, respectivamente, 87,59% e 57,33%¹⁵ do valor do custo médio do metro quadrado da construção civil brasileira nos anos em que foram executadas.

Figura 36 – Gráfico da série história que mostra a transformação do custo médio do metro quadrado da construção civil no Brasil ao longo de décadas



Fonte: IBGE/SINAPI (2022)¹⁶.

A dimensão social, em ambas as casas, apresentou semelhanças pela necessidade que houve, por parte da empresa gerenciadora, de prover formação continuada dos trabalhadores que atuaram nas construções, uma vez que a mão de obra local não tem acesso a capacitações para atuação com diversas técnicas e produtos utilizados nos projetos realizados.

Ainda sobre essa dimensão, entende-se ter havido uma boa repercussão das soluções sustentáveis na comunidade local (em nível regional, inclusive), tanto junto a pessoas leigas quanto ao público mais especializado. Também se subentende que, por decorrência das capacitações oferecidas aos trabalhadores que atuaram na

¹⁵ Cabe lembrar que, no Referencial Teórico da presente dissertação, o trabalho de Mello e Vieira (2020) informou que o custo da bioconstrução é de, aproximadamente, 62,5% do valor da edificação feita em técnica convencional. Conforme verificado nos dados apresentados, esse valor pode oscilar para mais ou para menos, a depender das soluções sustentáveis adicionais aplicadas na construção (para além da bioconstrução, em si).

¹⁶ Embora não seja comum a inserção de novas informações nas considerações finais, entende-se que esses dados são significativos para correlacionar as análises dos estudos de caso com um cenário mais global - cenário este que, embora sua análise não tenha sido objetivo do trabalho, dá um parâmetro para verificação dos resultados obtidos por ambos estudos de caso quanto à dimensão econômica.

obra, haverá uma maior diversificação de seus conhecimentos sobre técnicas construtivas, agregando valor a sua experiência profissional para futuros trabalhos.

Apesar dessas diferenciações observadas quanto aos três pilares da sustentabilidade aqui analisados, o fato de ambos projetos terem considerado, do ponto de vista conceitual, as Soluções Ecoeficientes Integradas para sua elaboração facilitou a geração de um produto que não apenas contempla as três dimensões da sustentabilidade, mas cria oportunidades para que a construção civil local tenha novos parâmetros para uma produção residencial menos agressiva ao meio ambiente e às pessoas que nele se inserem.

Buscando fazer uma correlação das informações apresentadas nos estudos de caso com teorias e conceitos arrolados no Referencial Teórico da presente dissertação, algumas constatações são dignas de nota. Por exemplo, vê-se que as diversas categorias que compõem as Soluções Ecoeficientes Integradas foram, em maior ou menor medida, atendidas pelos projetos. Citando exemplos: pensar estratégias para ventilação e iluminação adequadas nos ambientes (*arquitetura bioclimática*); adotar materiais naturais – como taipa, palha e madeira certificada – ou que podem ser reutilizados em caso de demolição da estrutura – como as telhas termoacústicas (*materiais naturais e recicláveis*); utilização de telhas fotovoltaicas (*geração de energia*); uso de cisternas (*aproveitamento de água*); sistemas de tratamento dos esgotos, por BET ou biodigestor (*tratamento de resíduos*); implantação de espécies vegetais com diferentes funções, de alimentação a auxílio no tratamento de efluentes (*paisagismo produtivo*).

Além disso, foi possível observar que as intersecções existentes entre as três dimensões da sustentabilidade (eficiência, inserção social e justiça socioambiental – rever figura 4) se fizeram presentes em muitos dos questionamentos sistematizados no método de análise criado. Não à toa, uma vez que boa parte dos materiais que nortearam sua elaboração tem relação com certificações ambientais, que por sua vez, buscam sintonizar-se com os avanços teóricos, práticos e políticos relativos à sustentabilidade.

Citando alguns exemplos dessas intersecções: a busca por maior *eficiência* dos materiais e dos gastos de recursos hídricos, energéticos, etc., envolvendo até gastos com transportes e nível de processamento do sistema construtivo; do ponto de vista da *inserção social*, a verificação da relação das empresas construtoras/gerenciadoras da obra com a comunidade local, bem como

sua capacidade de prover capacitações e elucidações sobre valores da empresa, do mercado e mesmo uma necessária educação ambiental; *justiça socioambiental*, na investigação sobre eventuais economias de recursos naturais e minimização de impactos ambientais para gerar edifícios que não consumam tanto, que não agridam tanto o meio ambiente, e cuja produção (direta e indireta, pela escolha dos materiais construtivos) não emita tantos componentes nocivos à vida humana.

Embora os objetivos do trabalho tenham focado no papel do projeto arquitetônico na avaliação aqui realizada, o método criado que balizou a análise dos estudos de caso mostrou que a busca por soluções mais sustentáveis não apenas convida à ampliação dos limites e áreas de interesse/cuidado dos arquitetos e arquitetas, como transborda tais limites. Isso porque o fato de as obras terem sido projetadas e gerenciadas pela mesma empresa não é um fato comum; em muitos casos, arquitetos apenas projetam os espaços, deixando suas execuções a encargo de outros profissionais. Mas muitas das dimensões avaliadas (sobretudo a social, na qual houve práticas de diálogo com a comunidade, capacitação de profissionais, e cuidados com as condições de trabalho), para que apresentassem bons resultados do ponto de vista sustentável, precisaram de um compromisso por parte daqueles que executaram as obras.

Além disso, como dito no capítulo anterior, mesmo que a projetista tenha sido também a gerenciadora das obras, pelo fato de a sua empresa não constituir uma construtora, houve constatada limitação quanto à sua atuação para buscar garantir melhores condições de segurança do trabalho para os colaboradores que atuaram nas residências analisadas.

Considerando o foco, do presente trabalho, no papel dos projetos arquitetônicos para se atingir as três dimensões da sustentabilidade em uma obra, é importante que o arquiteto que não executa as obras atente para a escolha das soluções projetuais, atualize-se sobre inovações de técnicas construtivas, produtos e materiais mais sustentáveis, e especifique, em seu projeto, soluções menos impactantes ao meio ambiente de diversos pontos de vista (nível de processamento, origem dos insumos, necessidade de gastos energéticos, emissões de poluentes, etc.).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente às problemáticas que inspiraram a geração do presente trabalho (modelo de produção insustentável agravando a crise ambiental, tendo forte participação nele a construção civil e, dentro dela, a produção residencial), vê-se que as análises apresentadas no capítulo anterior mostram que projetos residenciais unifamiliares elaborados podem se adequar às dimensões de sustentabilidade voltados à construção civil.

A relação entre ditos projetos e os critérios que constituem os pilares da sustentabilidade pode ser confirmada a partir dos estudos de caso realizados, a partir dos quais percebeu-se que a implementação de Soluções Ecoeficientes Integradas contribui significativamente para que a construção de casas possa trazer benefícios (e minimizar malefícios) de ordens ambiental, econômica e social.

Considera-se que os objetivos foram alcançados. O embasamento teórico dado pelo primeiro objetivo específico subsidiou tanto a verificação do debate e produções atuais sobre o tema, como a criação de método de análise e de avaliação capazes de atender ao objetivo geral da pesquisa, tendo por suporte empírico edificações localizadas no cariri cearense, região considerada estratégica para pensar arquiteturas menos verticalizadas e adequadas a condicionantes climáticos desafiadores.

Dentre os principais resultados alcançados pela pesquisa, destacam-se: a demonstração de como soluções projetivas podem favorecer construções menos agressivas ao meio ambiente, mas que não deixem a desejar na qualidade construtiva e de habitabilidade para seus usuários; a correlação dessas soluções não apenas com as três dimensões da sustentabilidade, mas com as intersecções existente entre elas; a necessidade de pensar o projeto articulado com a sua execução e com toda a cadeia produtiva da construção; e a ratificação da viabilidade ambiental, econômica e social da bioconstrução frente a outras construções convencionais, seguindo tendência apresentada por estudos que vêm sendo realizados na área.

Nesse sentido de trabalhos e contribuições do ponto de vista científico, percebe-se que o esse tipo de análise desenvolvida pelo trabalho pode instigar pesquisadores a realizar outras pesquisas sobre o campo, aprofundando o assunto do ponto de vista do projeto arquitetônico; abarcando a gestão da construção, desde

de insumos, custos, técnicas (avaliação de desempenho, inovação), até mesmo estudar formas de melhoramento na distribuição dos materiais de construção.

Considerando o papel da academia na contribuição para a sociedade, vale também destacar as contribuições sociais visualizadas a partir dessa dissertação e das construções nela analisadas (que adotam técnicas academicamente estudadas). Mediante a verificação de interesse das pessoas nas obras em construção, vê-se a possibilidade de ampliação do mercado voltado para edificações mais sustentáveis e que, por terem um custo de obra mais acessível, podem ajudar a trazer mais qualidade de vida para cada vez mais pessoas.

Dado o nível de integração dos municípios da RM Cariri, tanto do ponto de vista da integração viária como de acesso a diferentes produtos e serviços relacionados à construção civil, vislumbra-se que o almejado crescimento desse nicho de construção na região possa trazer melhoramentos em escala ampliada, contribuindo, assim, para um desenvolvimento regional mais sustentável.

Cumprir registrar algumas limitações constatadas durante a realização da pesquisa. A primeira delas foi a falta de identificação de um método que pudesse balizar a análise realizada. E por ter sido necessário criar um caminho metodológico que respaldasse a avaliação dos estudos de caso, ato que poderia constituir, por si só, uma pesquisa de mestrado, não houve tempo suficiente para testá-lo e aperfeiçoá-lo antes da sua aplicação na pesquisa. Embora julgue-se que o método atingiu seu propósito na pesquisa, considera-se pertinente elencar algumas problematizações levantadas sobre ele.

A primeira delas é que a estrutura de perguntas e/ou tópicos norteadores adotada gerou limitações para aprofundar as soluções projetivas arquitetônicas, pois favoreceu a análise mais do ponto de vista da construção como um todo (envolvendo questões relacionadas a canteiro de obras, cronogramas e orçamentos, bem como às procedências e condições de produção e transporte de materiais de construção) do que do detalhamento das posturas relativas a, por exemplo, partido arquitetônico, soluções estéticas, setorização a partir de outros critérios que não de ventilação e iluminação, etc. Entende-se que posteriormente, podem ser aprofundados estudos para cada um desses ramos específicos (arquitetura, bioconsultoria, construção civil), mas foi importante perceber a necessidade de pensa-los de maneira conectada, como partes de um todo. E nesse sentido, ratifica-

se a importância da adoção de “soluções ecoeficientes integradas”, que forcem o arquiteto a pensar o projeto de maneira mais abrangente.

Foi verificada, também, a tendência à repetição de informações pela estrutura de análise elaborada, sobretudo nos itens relacionados à dimensão social, uma vez que muitas das informações já haviam sido apresentadas em itens anteriores. Uma possível justificativa para isso é o fato de que as bases teóricas utilizadas para construção dos critérios de análise das diferentes dimensões da sustentabilidade foram distintas, gerando certas sobreposições de temas.

Por fim, espera-se que o trabalho seja útil para pesquisas acadêmicas futuras, bem como para construtoras, arquitetos, engenheiros, mestres de obras e futuros clientes de obras sustentáveis na RM Cariri, uma vez que apresenta dados quantitativos e informações relevantes para auxiliar na tomada de decisão quanto aos métodos construtivos e soluções mais adequadas para trazer qualidade de vida às pessoas, mas sem desrespeitar tanto o meio ambiente em que vivemos.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. M. S. **Conexão dos Padrões Espaciais dos Ecossistemas Urbanos**. 2014. Tese (Doutorado) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da FAU - UNB, Brasília. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/18042/1/2014_LizaMariaSouzadeAndrade.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.
- ANTONIOLLI, E. A.; SOUZA, C. R. B. Sustentabilidade no Mobiliário: madeira de demolição. *In: SIMPÓSIO SUSTENTABILIDADE E CONTEMPORANEIDADE NAS CIÊNCIAS SOCIAIS*, 3, 2015, Brasília. **Anais** [...] Brasília: CONFEA, 2015. Disponível em: <<https://www.fag.edu.br/upload/contemporaneidade/anais/55954756605c1.pdf>> Acesso em 11 abr. 2021.
- ARAÚJO, Márcio A. A moderna construção sustentável. **Revista Digital AECWEB**. AECWEB [Portal da Internet], s/d. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589>. Acesso em: 29 mar. 2022.
- ARAÚJO, Y. E. M. F.; PAIVA, M. J. G.; ARAÚJO, D. V. M. F. Considerações sobre os estabelecimentos formais dos diversos setores econômicos urbanos na RM Cariri de 2007 a 2012. *In: PINHEIRO, V. F. et al. Para pensar o desenvolvimento da RM Cariri*. São Paulo: Blucher, 2017. p. 113-138.
- BENEVOLO, L. **História da Arquitetura Moderna**. São Paulo: Perspectiva, 2001.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Balanço Energético Nacional 2009 – BEN. Brasília: EPE, 2009. 48p.
- CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010.
- CASTELLAN, F. M. *Bóvedas a base de quincha en las edificaciones monumentales del virreinato del Perú. Informes de la construcción*, Espanha, v. 37, n. 377, p. 59-66, 1986. Disponível em: <<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/1789/1983>>. Acesso em: 29 mar. 2022.
- CEHELLA, J. C. **Análise comparativa entre método tradicional x método sustentável de construção de um centro comunitário no bairro Quarta Linha, Criciúma/SC**. Monografia (Graduação). Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/4169/1/J%c3%a9ssica%20Cruz%20Cechella.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2021.
- CNI - Confederação Nacional da Indústria. **Construção Sustentável: a mudança em curso** / Confederação Nacional da Indústria, Câmara Brasileira da Indústria da Construção – Brasília: CNI, 2017. Disponível em: <<https://www.cbic.org.br/sustentabilidade/wp->

content/uploads/sites/22/2017/10/Caderno-Setorial-CBIC-CNI-Sustentabilidade.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2022.

BONZI, Ramón S. Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 28, p. 207-215, jul./dez. 2013. Editora UFPR.

BRASIL. CAIXA ECONOMICA FEDERAL. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. Vanderley Moacyr John (org.). São Paulo: Páginas & Letras, 2010. 204 p. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/Selo_Casa_Azul_CAIXA_versao_w eb.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2021.

CMMAD – Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**: comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento. 2.ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4245128/mod_resource/content/3/Nosso%20Futuro%20Comum.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

DANTAS, Marcelo B.; SCHMITT, Guilherme B.; FREITAS, Maurício D. G. de; FERRÚA, Luiz; SOUZA, Marcela D. E. de. **Mapeamento de incentivos econômicos para a construção sustentável**: a indústria da construção brasileira em busca da sustentabilidade. S.l.: CBIC, 2017. Disponível em: <https://cbic.org.br/sustentabilidade/wp-content/uploads/sites/22/2017/08/Mapeamento_de_Incentivos_Economicos.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2021.

D'ÁVILA, F. B. **Conceitos e Técnicas para Assentamentos Humanos na Perspectiva da Sustentabilidade**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Campinas, 2008.

DILGUERIAN, Miriam G. **Síndrome do edifício doente**: responsabilidade civil da municipalidade diante do Estatuto da Cidade. São Paulo: ed. Letras Jurídicas, 2005.

DUARTE, T. R. O painel brasileiro de mudanças climáticas na interface entre ciência e políticas públicas: identidades, geopolítica e concepções epistemológicas. **Sociologias**, Porto Alegre, ano 21, n. 51, maio-ago 2019, p. 76-101. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/soc/a/p8Z6JbhJbFtFYcGMmWc6WJy/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 30 out. 2021.

ELKINGTON, J. **Canibais com garfo e faca**. São Paulo: Pearson, 1999.

FEBRABRAN. Construção Sustentável. **Revista Café com Sustentabilidade**, São Paulo, v. 17, n. 1, 2007. Disponível em: <<https://cafecom sustentabilidade.febraban.org.br/pdfs/cafecom sustentabilidade-0017.pdf>> Acesso em 20 mar. 2021.

FOLLE, D.; MARTINS, M. S.; ROMANINI, A. A Visão da Arquitetura Sustentável de Interesse Social. *In*. Conferência Internacional da LARES, 11, 2011, São Paulo.

Anais [...] São Paulo: Centro Brasileiro Britânico, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Anicoli-Romanini/publication/330393708_A_Visao_da_Arquitetura_Sustentavel_de_Interest_e_Social/links/5d6ff6eaa6fdcc9961af8523/A-Visao-da-Arquitetura-Sustentavel-de-Interesse-Social.pdf>. Acesso em: 09 set. 2021.

FOOTPRINT NETWORK. *Our Past & Our Future*. In: **Global Footprint Network** [Portal da Internet], 2021. Disponível em: <<https://www.footprintnetwork.org/about-us/our-history/>>. 30 out. 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

GONÇALVES, Joana C. S.; DUARTE, Denise H. S. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006. Disponível em: <<https://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3720/2071>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

GRUPO DE SUSTENTABILIDADE ASBEA. **Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes**. São Paulo: Prata Design, 2012. Disponível em: <<http://www.asbea.org.br/userfiles/manuais/ddd50562c4b73b92d785531d2f5b5bde.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

GUÍO, L. M. **Compostos Orgânicos Voláteis em tintas imobiliárias: caracterização e efeitos sobre a qualidade do ar em ambientes internos construídos**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2013.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista Labverde**, [s.l.], n. 1, p. 92, 11 set. 2010. Universidade de São Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica.

HOLMGREN, D. **Permacultura: princípios e caminhos além da sustentabilidade**. David Holmgren; tradução Luzia Araújo. Porto Alegre: Via Sapiens, 2013.

HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. **Earth Construction: a comprehensive guide**. Earth Construction Series. Londres: Interm Technology Publications, 1994.

IAQUINTO, Kalinka. “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 65, n. 6, jun. 2011. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rce/article/view/22722/21483>>. Acesso em: 30 out. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IDH. 2010**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>> Acesso em: 20 fevereiro de 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Renda per capita**. 2016. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/juazeiro-do-norte/panorama>> Acesso em: 20 fevereiro de 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Serviços e Comércio. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2019_v29_informativo.pdf>. Acesso em 13 set. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Geografia. **Regiões de Influência das Cidades**: 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101728.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI. Séries históricas: Custo médio do metro quadrado (Reais), julho 1994 - fevereiro 2022. In: **IBGE [Base de Dados]**, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=series-historicas>>. Acesso em: 31 mar. 2022.

IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceara. **Ceará em Mapas**. Fortaleza: IPECE, 2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126x.htm>>. Acesso em: 5 nov. 2021.

KOVALECHUCKI, D. **Critérios para o desenvolvimento e construção sustentáveis**. Monografia (Especialização). Pós Graduação em Gerenciamento de Obras, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

KWOK, A. G.; GRONDZIK, W. T. **Manual de Arquitetura Ecológica**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

LACERDA, Henrique R. **A bioconstrução como alternativa viável para o desenvolvimento sustentável**. Monografia (graduação em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco-PB, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28502/1/bioconstrucaoalternativadesenvolvimentosustentavel.pdf>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 1ª Edição. São Paulo: PW, 1997.

LENGEN, J. V. **Arquitetura dos Índios da Amazônia**. São Paulo: B4, 2013.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. São Paulo: B4, 2014.

LIBRELOTTO, L. **Modelo para avaliação da sustentabilidade na construção civil nas dimensões Econômica, Social e Ambiental (ESA)**: aplicação no setor de edificações. Tese (Doutorado). Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LOPES, W. G. R. **Taipa de mão no Brasil**: levantamento e análise de construções. 1998. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MAURICIO, C. C. **Bioconstrução**. Estudo de caso: Projeto e construção da casa ecológica modelo. Relatório final de pesquisa de iniciação científica (assessoria de pós-graduação e pesquisa). Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.cienciasaude.uniceub.br/pic/article/download/5539/3886>>. Acesso em: 06 jan. 2022.

MARQUES, S. C.; LUIZ, G. A.; SILVA, T. G. Emprego do bambu na construção civil. **Revista Portos**: por um mundo mais sustentável, revista digital, v. 1 n. 2, p. 72 - 81, 2020.

MEADOWS, D. H. et al. **Limites do crescimento**: um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o Dilema da Humanidade. São Paulo: Perspectiva, 1973.

MELLO, J. L. A.; VIEIRA, L. M. Uma comparação entre bioconstrução e construção tradicional: análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental. **Mix Sustentável**, v.6, n.1, Florianópolis. Mar., 2020, p.163-164. Disponível em: <<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/3766/3066>>. Acesso em: 09 set. 2021.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MINKE, Gernot. **Manual de Construção com Terra**: uma arquitetura sustentável. São Paulo: B4, 2015.

MIRANDA, Rafael Loschiavo. **Guia de soluções ecoeficientes**. 2 ed. São Paulo: Ecoeficientes, 2017. Disponível em: <<http://www.ecoeficientes.com.br/guia-ecoeficientes-forma-didatica-de-aprender-sobre-arquitetura-sustentavel/>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

MIRANDA, Rafael Loschiavo. **Guia de soluções ecoeficientes**. 1 ed. São Paulo: Ecoeficientes, 2015. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B37-iS1LupBDeHF5eThQbkZUZ3M/view?resourcekey=0-CDd7JLmYq6AVIDwPCVIXxA>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 Global**. In: MMA [Portal da Internet], s/d. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>>. Acesso em: 30 out. 2021.

MOLLISON, B.; HOLMGREEN, D. **Permaculture One**. Sidney: sTransworld Publishers, 1978.

MOTTA, S. F. R.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 88-123, 2009.

DOI: 10.4237/gtp.v4i1.79. Disponível em:
<<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50953>>. Acesso em: 31 out. 2021.

MUSEU DO AMANHÃ, O que é o Dia da Sobrecarga da Terra? In: **Museu do Amanhã** [Portal da Internet], 2016. Disponível em:
<<https://museudoamanha.org.br/pt-br/sobrecarga-da-terra-entenda>>. Acesso em: 30 out. 2021.

OLIVEIRA, L. K. dos S. et al. Simulação computacional da eficiência energética para uma arquitetura sustentável. **Holos**, [S.l.], v. 4, p. 217-230, set. 2016. Disponível em:
<<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3981/1526>>. Acesso em: 09 set. 2021.

OLENDER, M. C. H. L. **A técnica do Pau-a-pique**: subsídios para a sua preservação. 2006, 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Disponível em: < <http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/8822>>. Acesso em: 23 fev. 2021.

ONU. **Declaração da Conferência de ONU no Ambiente Humano**, Estocolmo, jun., 1972 (tradução livre). In: CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [Portal da Internet]. Disponível em:
<<https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2016/09/Declara%C3%A7%C3%A3o-de-Estocolmo-5-16-de-junho-de-1972-Declara%C3%A7%C3%A3o-da-Confer%C3%A2ncia-da-ONU-no-Ambiente-Humano.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2021.

ONU BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**. In: ONU Brasil [Portal da internet], 16 set. 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

ONU BRASIL. **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. ONU BRASIL [Portal da Internet], s/d. Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 30 out. 2021.

ONU MULHERES. **Começa sexta-feira (25) a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável**. ONU Mulheres Brasil [Portal da Internet], set. 2015. Disponível em: <<http://www.onumulheres.org.br/noticias/comeca-sexta-feira-25-a-cupula-das-nacoes-unidas-sobre-o-desenvolvimento-sustentavel/>>. Acesso em: 30 out. 2021.

PINTO, A. R. A. G. **Fibras de curauá e sisal como reforço em matrizes de solo**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, 2007.

POTT, Crisla M.; ESTRELA, Carina C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados** [online]. 2017, v. 31, n. 89, pp. 271-283. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890021>>. Acessado em: 11 jun. 2022].

PRIBERAM. Cofragem. *In: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa* [Portal da Internet], 2008-2021. Disponível em: <<https://dicionario.priberam.org/cofragem>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

PROMPT, C. H. **Arquitetura de terra em unidades agrícolas familiares**: estudo de caso no oeste catarinense. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina da UFCS – Florianópolis.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social**: métodos e técnicas. São Paulo: Atlas, 1999.

ROCHA, B. M. A Arquitetura Egípcia. *In: Territórios* [Portal da internet], s/d. Disponível em: <https://www.territorios.org/teoria/H_C_egipcia.html>. Acesso em: 29 mar. 2022.

RODRIGUES, A. Mestre da Cultura mantém viva tradição dos ladrilhos hidráulicos. *In: Diário do Nordeste*, [Portal da internet], 2019. Disponível em: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/mestre-da-cultura-mantem-viva-tradicao-dos-ladrilhos-hidraulicos-1.2095147>>. Acesso em: 01 fev. 2022.

ROMERO, M. A. B. **Estratégias Bioclimáticas de Reabilitação Ambiental Adaptadas ao Projeto**. Apresentação durante o Curso de Pós-Graduação *Latu Sensu* em Reabilitação Sustentável Ambiental Arquitetônica em Urbanística na Universidade de Brasília, 2013.

SACHS, I. **Ecodesenvolvimento**: crescer sem destruir. São Paulo: Vértice, 1986.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SANTOS, Deborah M. **Diagnóstico da sustentabilidade nas construções residenciais no município de Juazeiro do Norte/CE com base no plano diretor de desenvolvimento urbano**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: <<http://sites.ufca.edu.br/proder/wp-content/uploads/sites/19/2016/04/04.pdf>>. Acesso em: 11 mar. 2022.

SANTOS, L.; VENTURI, M. O que é permacultura? *In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM PERMACULTURA DA UFSC* [Portal da Internet], s/d. Disponível em: <<https://permacultura.ufsc.br/o-que-e-permacultura/>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

SERRA, G. G. **Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo**: guia prático para o trabalho de pesquisadores em pós-graduação. São Paulo: Edusp, 2006.

SILVA, N. J. *Aprendiendo del Patrimonio Vernáculo: tradición e innovación en el uso de la quincha en la Arquitectura Chilena*. **Revista de Arquitectura**, v. 20, n. 29, 2015, pp. 4-11. Disponível em: <<https://dearquitectura.uchile.cl/index.php/RA/article/view/37087>>.

STEELE, J. **Architecture écologique**: Une histoire critique. França: Actes Sud, 2005.

SOARES, A. **Soluções sustentáveis – Construção Natural**. Pirenópolis: Mais Calango; Ecocentro IPEC, 2007.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89528/236520.pdf?sequence>>. Acesso em: 09 set. 2021.

UNESCO. **Intergovernmental Conference of Experts on the Scientific Basis for Rational Use and Conservation of the Resources of the Biosphere**. Paris, 1969. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000017269>>. Acesso em 20 de fevereiro de 2021.

VASCONCELLOS, R. L.; PIRRÓ, L.; NUDEL, M. A importância da inserção dos conceitos de sustentabilidade no currículo das escolas de arquitetura no Brasil para a formação das novas gerações de arquitetos. *In*: Encontro Nacional De Tecnologia no Ambiente Construído, 11, 2006, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, p. 3885-3893.

VAZQUEZ, Elaine Garrido; BRANDÃO, Maria G; CASTRO, Othon. Uma nova gestão ambiental para a construção civil na busca da sustentabilidade. **Gestão e Gerenciamento**, [S.l.], v. 1, n. 3, jan. 2016. ISSN 2447-1291. Disponível em: <<https://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/152>>. Acesso em: 13 set. 2021.

VEIGA, José Eli da. **Desenvolvimento Sustentável**: o desafio do século XXI. Rio de Janeiro: Garamond, 2010a.

VEIGA, José Eli da. **Sustentabilidade**: a legitimação de um novo valor. São Paulo: SENAC, 2010b.

VITRÚVIO, M. **Da arquitetura**. 2 ed. São Paulo: Hucitec / Annablume, 2002.

WASP - *World's Advanced Saving Project*. **3D WASP** [Portal da Internet], s/d. Disponível em: <<https://www.3dwasp.com/en/>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

WCED – World Commission on Environment and Development. **“Our Common Future”** – The Brundtland Report – Oxford, oxford University Press, 1987, 387p.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YIN, R. K. **The case study method**: an annotated bibliography (1983-1984 ed.). Washington, DC: COSMOS Corporation.

ZAMBRANO, L. M. A. **Integração dos Princípios da Sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura**. 2008. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ. Disponível em: <<https://www.proarq.fau.ufrj.br/teses-e-dissertacoes/1032/integracao-dos-principios-da-sustentabilidade-ao-projeto-de-arquitetura>>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ZERO DESPERDÍCIO. Ética e princípios de Design [desenho reconstituído e traduzido por Juriciardi/2008 do site www.permacultureprinciples.com], 2010. Disponível em: <https://zerodesperdicio.files.wordpress.com/2010/10/flor_da_permacultura.jpg>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ANEXO A – CRITÉRIOS DA SUSTENTABILIDADE¹⁷

| Dimensão | Critérios |
|--------------------------|--|
| Social | <ul style="list-style-type: none"> • alcance de um patamar razoável de homogeneidade social; • distribuição de renda justa; • emprego pleno e/ou autônomo com qualidade de vida decente; • igualdade no acesso aos recursos e serviços sociais; |
| Cultural | <ul style="list-style-type: none"> • Mudanças no interior da continuidade (equilíbrio entre respeito à tradição e inovação); • capacidade de autonomia para elaboração de um projeto nacional integrado e endógeno (em oposição às cópias servir dos modelos alienígenas); • autoconfiança combinada com abertura para o mundo; |
| Ecológica | <ul style="list-style-type: none"> • Preservação do potencial do capital natureza na sua produção de recursos renováveis; • limitar o uso dos recursos não renováveis; |
| Ambiental | <ul style="list-style-type: none"> • Respeitas e realçar a capacidade de autodepuração dos ecossistemas naturais; |
| Territorial | <ul style="list-style-type: none"> • Configurações urbanas e rurais balanceadas (eliminação das inclinações urbanas nas alocações do investimento público); • melhoria do ambiente urbano; • superação das disparidades inter-regionais; • estratégias de desenvolvimento ambientalmente seguras para áreas ecologicamente frágeis (conservação da biodiversidade pelo ecodesenvolvimento); |
| Econômico | <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento econômico intersetorial equilibrado; • segurança alimentar; • capacidade de modernização contínua dos instrumentos de produção; • inserção soberana na economia internacional; |
| Política (nacional) | <ul style="list-style-type: none"> • Democracia definida em termos de apropriação universal dos direitos humanos; • desenvolvimento da capacidade do Estado para implementar o projeto nacional, em parceria com todos os empreendedores; • um nível razoável de coesão social; |
| Política (internacional) | <ul style="list-style-type: none"> • Eficácia do sistema de prevenção de guerras da ONU, na garantia da paz e na promoção da cooperação internacional; • um pacote Norte-Sul de co-desenvolvimento, baseado no princípio de igualdade (regras do jogo e compartilhamento da responsabilidade de favorecimento do parceiro mais fraco); • controle institucional efetivo do sistema internacional financeiro e de negócios; • controle institucional efetivo da aplicação do Princípio da Precaução na gestão do meio ambiente e dos recursos naturais; prevenção das mudanças globais negativas; proteção da diversidade biológica (e cultural); e gestão do patrimônio global, como herança comum da humanidade; • sistema efetivo de cooperação científica e tecnológica internacional e eliminação parcial do caráter de <i>commodity</i> da ciência e tecnologia, também como propriedade da herança comum da humanidade. |

¹⁷ Com base em Sachs (2002).