



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E SUSTENTABILIDADE

Cristian Moreira de Souza

**Estudo comparativo entre a sustentabilidade de habitações de interesse social com foco nos materiais de três sistemas construtivos diferentes: Alvenaria Convencional, Paredes de Concreto e Wood-Frame.**

Araranguá

2024

Cristian Moreira de Souza

**Estudo comparativo entre a sustentabilidade de habitações de interesse social com foco nos materiais de três sistemas construtivos diferentes: Alvenaria Convencional, Paredes de Concreto e Wood-Frame.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Orientadora: Maria Ángeles Lobo Recio, Dra.  
Coorientadora: Cláudia Weber Corseuil, Dra.

Araranguá

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.  
Dados inseridos pelo próprio autor.

Moreira de Souza, Cristian

Estudo comparativo entre a sustentabilidade de habitações de interesse social com foco nos materiais de três sistemas construtivos diferentes: Alvenaria Convencional, Paredes de Concreto e Wood-Frame. / Cristian Moreira de Souza ; orientadora, Maria Ángeles Lobo Recio, coorientador, Cláudia Weber Corseuil, 2024.  
132 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, Araranguá, 2024.

Inclui referências.

1. Energia e Sustentabilidade. 2. sustentabilidade. 3. habitação de interesse social. 4. sistemas construtivos. I. Lobo Recio, Maria Ángeles . II. Weber Corseuil, Cláudia . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade. IV. Título.

Cristian Moreira de Souza

**Estudo comparativo entre a sustentabilidade de habitações de interesse social com foco nos materiais de três sistemas construtivos diferentes: Alvenaria Convencional, Paredes de Concreto e Wood-Frame.**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 21 de março de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prof. Katia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Profa. Maria Angeles Lobo Recio, Dra.  
Orientadora

Araranguá, 2024.

Dedico esse trabalho ao Criador e à minha família,  
os quais sempre têm me apoiado.  
Especialmente, ao meu avô Lindomar,  
à minha esposa Gislaine e ao meu filho Calebe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização dessa dissertação. Em especial, agradeço muitíssimo à minha orientadora, professora Maria Ángeles Lobo Recio, por ter se dedicado de todas as formas possíveis para a conclusão desse trabalho, mesmo já estando até mesmo aposentada. Agradeço-a por todas as experiências vividas e seu aprendizado, inclusive por ela ser uma inspiração à minha carreira como professor desde o princípio. Sou grato também a minha coorientadora Cláudia Weber Corseuil e aos demais professores da Universidade Federal de Santa Catarina, pelos importantes ensinamentos transmitidos e que serão passados adiante, os quais contribuíram para desenvolvimento desse estudo. Desse modo, sou grato à professora e aos professores Reginaldo Geremias, Kátia Madruga, Masato Kobiyama, Edgar Lanzer, Orestes Alarcon e Eugenio Neto. Agradeço também aos membros da banca por sua leitura e por suas contribuições. Sou grato também ao Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade por meio de seus membros por essa oportunidade e aos demais colaboradores da UFSC que contribuíram de alguma forma para que essa pesquisa pudesse se realizar. Ao Governo do Estado de Santa Catarina agradeço pela bolsa de estudos. Sou muito grato também ao meu avô Lindomar e à minha esposa Gislaine, que sempre estiveram ao meu lado, entendendo a minha ausência em virtude dos estudos e acreditando e esforçando-se para a realização dos nossos sonhos. Agradeço também muito ao meu filhinho Calebe, por me motivar com seu amor, e aos meus avós, Lindomar e Zelinda que também cuidaram dele por incontáveis horas, mesmo após a escolinha, para que o desenvolvimento dessa dissertação acontecesse. Para concluir, agradeço ao Criador por tudo que tem feito, incluindo a oportunidade de existir e de viver todas essas riquíssimas experiências.



O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades.

(Nosso Futuro Comum - Relatório Brundtland)



## RESUMO

A atual administração federal estabeleceu como uma das suas prioridades o objetivo de eliminar o déficit habitacional, comprometendo-se a entregar dois milhões de unidades habitacionais até 2026. Esse desafio implica uma significativa pressão sobre os recursos naturais, além das demandas sociais e econômicas que devem ser meticulosamente avaliadas na escolha dos materiais de construção mais sustentáveis. A sustentabilidade, neste contexto, é entendida como o princípio que garante que as ações presentes não restrinjam as opções econômicas, sociais e ambientais disponíveis para as gerações futuras. Desta forma, é fundamental comparar a sustentabilidade entre habitações de interesse social, a serem construídas com materiais de três sistemas construtivos diferentes: alvenaria, concreto e madeira. Para isso, uma pesquisa bibliográfica foi planejada para propor, do ponto de vista da sustentabilidade, o sistema construtivo mais adequado para a construção das habitações de interesse social: Wood-Frame, Paredes de Concreto ou Alvenaria Convencional. Para a obtenção das informações necessárias foram pesquisadas bases como Google Acadêmico, Periódicos CAPES, SciELO, entre outras. Assim, o trabalho foi dividido em três diferentes etapas: Cálculo do CO<sub>2</sub> emitido e da energia incorporada para os três modelos de habitação de interesse social; Estudo de outros aspectos de sustentabilidade; Estudo econômico. Entre os aspectos ambientais, foram quantitativamente calculados o CO<sub>2</sub> emitido e a energia incorporada para cada material. Para a análise, foi essencial realizar inicialmente o cálculo das massas dos materiais usados, utilizando como base os projetos de habitações referentes aos três diferentes sistemas construtivos selecionados. Outros aspectos ambientais foram estudados qualitativamente de forma comparativa entre os três modelos habitacionais: renovabilidade, desperdício, resíduos, descarte, reciclagem e impactos ambientais. Os critérios de sustentabilidade social, como a limitação geográfica, aceitação pela comunidade, durabilidade, facilidade de manutenção, conforto térmico e acústico, segurança contra incêndios e eficiência no tempo de construção, foram analisados de maneira comparativa e semiquantitativa. Com base nessa análise, criaram-se tabelas de avaliação para os critérios ambientais e sociais, utilizando sinais positivos (+) e negativos (-) para quantificar de forma aproximada a sustentabilidade de cada sistema construtivo estudado. Um maior número de sinais positivos indicou um sistema considerado mais sustentável. O estudo econômico foi quantitativo. Em relação aos resultados e discussões, considerando os aspectos sociais, ambientais e econômicos, o sistema construtivo mais sustentável para a construção de habitações de interesse social provou ser o de Alvenaria Convencional. Também foi possível concluir que, com o investimento necessário para construir 2 milhões de unidades habitacionais sociais em Alvenaria Convencional, seria possível atender a 1.051.490 famílias com casas construídas no sistema Wood-Frame ou 1.523.923 famílias com casas feitas com Paredes de Concreto. Isso representa, respectivamente, uma redução de 47,43% e 23,80% no número de famílias atendidas. Considerando a alta demanda por materiais de construção, descartar o uso de qualquer material se torna um desafio. Nesse sentido, foi possível concluir em quais parâmetros de sustentabilidade cada material apresenta menor desempenho, visando o desenvolvimento futuro de soluções que possam aprimorá-los. Esse aperfeiçoamento pode melhorar o atendimento à elevada demanda de materiais, incluindo sistemas construtivos de Paredes de Concreto e Wood-Frame.

**Palavras-chave:** sustentabilidade; habitação de interesse social; sistemas construtivos

## ABSTRACT

The current federal administration has established as one of its priorities the objective of eliminating the housing deficit, committing to deliver two million housing units by 2026. This challenge implies significant pressure on natural resources, in addition to the social and economic demands that must be meticulously evaluated when choosing the most sustainable construction materials. Sustainability, in this context, is understood as the principle that ensures that current actions do not restrict the economic, social and environmental options available to future generations. Therefore, it is essential to compare sustainability between social housing, to be built with materials from three different construction systems: masonry, concrete and wood. To this end, a bibliographical research was planned to propose, from a sustainability point of view, the most suitable construction system for the construction of social housing: Wood-Frame, Concrete Walls or Conventional Masonry. To obtain the necessary information, databases such as Google Scholar, CAPES Periodicals, SciELO, among others, were searched. Thus, the work was divided into three different stages: Calculation of CO<sub>2</sub> emitted and embodied energy for the three social housing models; Study of other aspects of sustainability; Economic study. Among the environmental aspects, the CO<sub>2</sub> emitted and the embodied energy for each material were quantitatively calculated. For the analysis, it was essential to initially calculate the masses of the materials used, using as a basis the housing projects referring to the three different construction systems selected. Other environmental aspects were studied qualitatively in a comparative way between the three housing models: renewability, waste, waste, disposal, recycling and environmental impacts. Social sustainability criteria, such as geographic limitation, community acceptance, durability, ease of maintenance, thermal and acoustic comfort, fire safety and construction time efficiency, were analyzed in a comparative and semi-quantitative way. Based on this analysis, evaluation tables were created for environmental and social criteria, using positive (+) and negative (-) signs to approximately quantify the sustainability of each construction system studied. A greater number of positive signals indicated a system considered more sustainable. The economic study was quantitative. Regarding the results and discussions, considering the social, environmental and economic aspects, the most sustainable construction system for the construction of social housing proved to be Conventional Masonry. It was also possible to conclude that, with the investment necessary to build 2 million social housing units in Conventional Masonry, it would be possible to serve 1,051,490 families with houses built using the Wood-Frame system or 1,523,923 families with houses made with Concrete Walls. This represents, respectively, a reduction of 47.43% and 23.80% in the number of families served. Considering the high demand for construction materials, ruling out the use of any material becomes a challenge. In this sense, it was possible to conclude in which sustainability parameters each material presents the lowest performance, aiming at the future development of solutions that can improve them. This improvement can improve compliance with the high demand for materials, including Concrete Wall and Wood-Frame construction systems.

**Keywords:** sustainability; social housing; construction systems

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Fluxograma da pesquisa.....  | 24 |
| Figura 2 – Subsistemas do sistema construtivo Wood-Frame.....   | 25 |
| Figura 3 – Perspectivas do projeto em Wood-Frame.....   | 26 |
| Figura 4 - Planta baixa do projeto em Wood-Frame.....   | 27 |
| Figura 5 – Pré-fabricação de um painel de vedação que formarão paredes.....   | 28 |
| Figura 6 – Pré-fabricação de um painel de vedação que formarão paredes.....   | 28 |
| Figura 7 – Montagem de painel de vedação para a construção de uma parede.....   | 29 |
| Figura 8 – Parede montada de uma habitação de interesse social.....   | 29 |
| Figura 9 - Perspectivas do projeto em Paredes de Concreto.....  | 30 |
| Figura 10 - Planta baixa do projeto em Paredes de Concreto.....   | 30 |
| Figura 11 – Habitação em Alvenaria Convencional em fase de construção.....  | 31 |
| Figura 12 – Revestimento argamassado de paredes internas e externas.....  | 31 |
| Figura 13 – Tripé da Sustentabilidade.....  | 42 |
| Figura 14 – Componentes da madeira.....   | 47 |
| Figura 15 – Planos de corte da madeira.....   | 52 |
| Figura 16 - Elementos que compõem as paredes externas.....  | 56 |
| Figura 17 - A produção mundial anual de 27 materiais dos quais depende a sociedade industrializada. A escala é logarítmica..... | 58 |
| Figura 18 - Fissura vertical em pilar de concreto aparente.....   | 59 |
| Figura 19 - Corrosão da armadura.....   | 62 |
| Figura 20 – Recuperação de fissuras em alvenaria.....   | 70 |
| Figura 21 – Recuperação de fissuras ativas com selante flexível.....  | 71 |
| Figura 22 – Carbono na atmosfera ao longo do tempo.....   | 85 |

## LISTA DE QUADROS

|   |     |
|---|-----|
| Quadro 1 – Parâmetros de sustentabilidade social e ambiental do sistema Wood-Frame que necessitam serem aprimorados.....              | 110 |
| Quadro 2 – Parâmetros de sustentabilidade social e ambiental do sistema Paredes de Concreto que necessitam serem aprimorados .....    | 111 |
| Quadro 3 – Parâmetros de sustentabilidade social e ambiental do sistema Alvenaria Convencional que necessitam serem aprimorados ..... | 112 |
| Quadro 4 - Parâmetros definidos na pesquisa que necessitam serem aprimorados em cada sistema construtivo.....                         | 122 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Coeficientes de CO <sub>2</sub> emitido e de energia incorporada para diferentes materiais de construção.....  | 33 |
| Tabela 2 – Estimativa de materiais para habitação de interesse social em Wood-Frame .....   | 34 |
| Tabela 3 – Volumes de concreto para habitação de interesse social em Paredes de Concreto .....  | 38 |
| Tabela 4 – Coeficientes de estimativa de materiais por área de construção.....  | 38 |
| Tabela 5 - Composição química média das madeiras de coníferas.....  | 46 |
| Tabela 6 – principais agentes de deterioração da madeira.....   | 63 |
| Tabela 7 – Cálculo das massas da habitação de interesse social em Wood-Frame.....   | 90 |
| Tabela 8 - Cálculo das massas, emissão de CO <sub>2</sub> e energia incorporada dos blocos de concreto de fundação da habitação de interesse social em Wood-Frame.....              | 94 |
| Tabela 9 - Cálculo das massas, emissão de CO <sub>2</sub> e energia incorporada da madeira serrada tratada e da madeira OSB para a habitação de interesse social em Wood-Frame..... | 94 |
| Tabela 10 - Cálculo das massas, emissão de CO <sub>2</sub> e energia incorporada do revestimento interno de gesso da habitação em Wood-Frame.....                                   | 95 |
| Tabela 11 – Cálculo das massas da habitação de interesse social em Paredes de Concreto.....   | 96 |
| Tabela 12 – Cálculo da emissão de CO <sub>2</sub> e energia incorporada do concreto e do concreto armado.....   | 96 |
| Tabela 13 - Cálculo das massas, CO <sub>2</sub> emitido e energia incorporada para a estrutura de concreto armado da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional.....   | 97 |
| Tabela 14 - Cálculo da massa, CO <sub>2</sub> emitido e energia incorporada para a alvenaria cerâmica da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional.....               | 98 |
| Tabela 15 - Cálculo das massas, CO <sub>2</sub> emitido e energia incorporada do revestimento argamassado da habitação de interesse social de Alvenaria Convencional.....           | 98 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 16 – Resumo da energia incorporada e da emissão de CO <sub>2</sub> para os três tipos de habitação de interesse social.....   | 99  |
| Tabela 17 - Fatores de sustentabilidade social para cada sistema construtivo.....  | 103 |
| Tabela 18 - Fatores de sustentabilidade ambiental para cada sistema construtivo.....   | 105 |
| Tabela 19 - Fatores de sustentabilidade social e ambiental para cada sistema construtivo.....  | 106 |
| Tabela 20 (Tabela 16 corrigida) – Resumo da energia incorporada e da emissão de CO <sub>2</sub> para os três tipos de habitação de interesse social considerando sua durabilidade..... | 107 |
| Tabela 21 - Fatores de sustentabilidade social para cada sistema construtivo considerando o fator durabilidade.....  | 107 |
| Tabela 22 - Fatores de sustentabilidade ambiental para cada sistema construtivo considerando o fator durabilidade.....   | 108 |
| Tabela 23 - Fatores de sustentabilidade social e ambiental para cada sistema construtivo considerando a durabilidade.....  | 109 |
| Tabela 24 - Valores do metro quadrado para cada empresa de Wood-Frame, a média e o desvio padrão.....  | 113 |
| Tabela 25 - Valores do metro quadrado para cada empresa de Alvenaria Convencional, a média e o desvio padrão.....  | 114 |
| Tabela 26 – Valor médio do m <sup>2</sup> por sistema construtivo e da habitação correspondente de 40 m <sup>2</sup> de área.....  | 114 |
| Tabela 27 (Tabela 26 corrigida) – Valor médio do m <sup>2</sup> por sistema construtivo considerando a durabilidade.....   | 115 |
| Tabela 28 – Total de investimento para a construção de 2 milhões de unidades habitacionais de 40 m <sup>2</sup> de área, em cada sistema construtivo, considerando a durabilidade..... | 115 |
| Tabela 29 – Diferença econômica total associada à consideração do parâmetro durabilidade de sustentabilidade na construção de 2 milhões de habitações.....                             | 116 |
| Tabela 30 - Fatores de sustentabilidade para cada sistema construtivo considerando habitações isoladas.....  | 118 |
| Tabela 31 - Fatores de sustentabilidade para cada sistema construtivo considerando a durabilidade.....   | 118 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|              |  |
|--------------|--|
| ABCP         | Associação Brasileira de Cimento Portland                  |
| ABNT         | Associação Brasileira de Normas Técnicas                   |
| ACV          | Avaliação Do Ciclo de Vida                                 |
| CBIC         | Câmara Brasileira da Indústria da Construção               |
| CCA          | Arseniato de Cobre Cromatado – CCA                         |
| CUB          | Custo Unitário Básico da Construção Civil                  |
| FJP          | Fundação João Pinheiro                                     |
| GEE          | Gases do Efeito Estufa                                     |
| IPCC         | Intergovernmental Panel on Climate Change                  |
| MCMV         | Minha Casa Minha Vida                                      |
| OSB          | Oriented Strand Board                                      |
| PAC          | Programa de Aceleração do Crecimento                       |
| PNHs         | Políticas Nacionais de Habitação                           |
| SindusCon-MG | Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 19 |
| <b>2 OBJETIVOS</b> .....   | 23 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....  | 23 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....   | 23 |
| <b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | 23 |
| 3.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL SELECIONADAS.....   | 25 |
| 3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....  | 32 |
| <b>3.2.1 Etapa 1: Cálculo do CO<sub>2</sub> emitido e da energia incorporada</b> .....       | 32 |
| 3.2.1.1 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Wood-Frame.....             | 33 |
| 3.2.1.2 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Parede de Concreto.....     | 37 |
| 3.2.1.3 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Alvenaria Convencional..... | 38 |
| <b>3.2.2 Etapa 2: Outros Aspectos de Sustentabilidade</b> .....                              | 39 |
| <b>3.2.3 Etapa 3: Estudo Econômico</b> .....   | 40 |
| <b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | 41 |
| 4.1 SUSTENTABILIDADE.....  | 41 |
| <b>4.1.1 Sustentabilidade na Construção Civil</b> .....                                      | 43 |
| 4.2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....   | 44 |
| <b>4.2.1 Origem dos recursos naturais a serem utilizados</b> .....                           | 44 |
| 4.2.1.1 Concreto.....  | 44 |
| 4.2.1.2 Alvenaria de blocos cerâmicos.....   | 45 |
| 4.2.1.3 Madeira.....   | 46 |
| 4.3 FABRICAÇÃO.....  | 48 |
| <b>4.3.1 O processo de fabricação do cimento e do concreto armado</b> .....                  | 48 |
| <b>4.3.2 O processamento da alvenaria de blocos cerâmicos</b> .....                          | 50 |
| <b>4.3.3 O processamento da madeira</b> .....  | 51 |
| 4.3.3.1 Desdobro.....  | 51 |
| 4.3.3.2 Tratamento prévio.....   | 51 |
| 4.3.3.3 Secagem.....   | 53 |
| 4.3.3.4 Oriented Strand Board (OSB) .....  | 55 |



|  |           |
|--|-----------|
| 4.4 PRODUÇÃO DOS MATERIAIS CONCRETO, MADEIRA E ALVENARIA.....                      | 57        |
| 4.5 DURABILIDADE DOS MATERIAIS.....  | 58        |
| <b>4.5.1 Durabilidade do concreto.....</b>   | <b>58</b> |
| 4.5.1.1 Fissuras.....  | 59        |
| 4.5.1.2 Carbonatação.....  | 60        |
| 4.5.1.3 Corrosão.....  | 61        |
| <b>4.5.2 Durabilidade da madeira .....</b>   | <b>62</b> |
| <b>4.5.3 Durabilidade da alvenaria de blocos cerâmicos.....</b>                    | <b>64</b> |
| 4.6 MANUTENÇÃO.....  | 65        |
| <b>4.6.1 Manutenção do concreto.....</b>   | <b>65</b> |
| 4.6.1.1 Tratamento de fissuras por injeção, selagem e costura.....                 | 65        |
| 4.6.1.2 Tratamento da Carbonatação.....  | 66        |
| 4.6.1.3 Tratamento da Corrosão.....  | 67        |
| <b>4.6.2 Manutenção da madeira.....</b>  | <b>67</b> |
| 4.6.2.1 Métodos de preservação.....  | 68        |
| <b>4.6.3 Manutenção da alvenaria de blocos cerâmicos.....</b>                      | <b>70</b> |
| 4.7 CONFORTO TÉRMICO, ACÚSTICO E RESISTÊNCIA AO FOGO.....                          | 71        |
| 4.8 DESPERDÍCIO E ENTULHO.....   | 72        |
| 4.9 RECICLAGEM E DESCARTE.....   | 73        |
| <b>4.9.1 Reciclagem e descarte do concreto.....</b>                                | <b>73</b> |
| <b>4.9.2 Reciclagem e descarte da madeira.....</b>                                 | <b>74</b> |
| <b>4.9.3 Reciclagem e descarte dos blocos cerâmicos .....</b>                      | <b>75</b> |
| 4.10 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....                       | 76        |
| 4.11 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....                          | 78        |
| <b>4.11.1 Impactos ambientais do concreto.....</b>                                 | <b>78</b> |
| <b>4.11.2 Impactos ambientais da madeira.....</b>                                  | <b>80</b> |
| <b>4.11.3 Impactos ambientais dos blocos cerâmicos.....</b>                        | <b>81</b> |
| 4.12 RENOVABILIDADE.....   | 83        |
| 4.13 ENERGIA INCORPORADA E EMISSÕES DE GASES.....                                  | 84        |
| 4.14 BENEFÍCIOS SOCIAIS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS HABITACIONAIS.....                  | 87        |
| 4.15 ANÁLISES DE CUSTOS: O CUB – CUSTO UNITÁRIO BÁSICO DA<br>CONSTRUÇÃO CIVIL..... | 89        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>90</b> |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1 ETAPA 1: DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> E DA ENERGIA INCORPORADA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS TRÊS MODELOS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL..... | 90         |
| <b>5.1.1 Cálculo relacionados a habitação de interesse social em Wood-Frame....</b>  | <b>90</b>  |
| <b>5.1.2 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Paredes de Concreto.....</b>   | <b>95</b>  |
| <b>5.1.3 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Alvenaria Convencional.....</b>  | <b>97</b>  |
| 5.2 ETAPA 2: OUTROS ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE.....  | 101        |
| 5.3 ETAPA 3: ESTUDO ECONÔMICO.....   | 112        |
| 5.4 COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO.....   | 117        |
| <b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>   | <b>122</b> |
| 6.1 CONCLUSÕES.....  | 122        |
| 6.2 RECOMENDAÇÕES.....   | 123        |
| <b>7 REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>125</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Callister, (2020) os problemas que envolvem os materiais estão provavelmente mais entranhados na nossa cultura do que a maioria de nós se dá conta. Sob uma perspectiva histórica, o desenvolvimento e o avanço das sociedades estiveram intimamente ligados às habilidades dos seus membros produzir e manipular materiais para satisfazer as suas necessidades. De fato, as civilizações antigas foram designadas de acordo com o seu nível de desenvolvimento em relações aos materiais (Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro). Respostas a perguntas relacionadas a problemas envolvendo o acesso a materiais mais adequados estão intimamente associados ao desenvolvimento de muitas tecnologias que tornam a nossa existência tão confortável.

No mundo, são consumidas cerca de 20 bilhões de toneladas de materiais de engenharia (Fig. 17) por ano, com uma média de 2,7 toneladas por pessoa (ASHBY, 2021). De acordo com o mesmo autor, os materiais mais utilizados são os da indústria da construção. Assim, em 2020, o consumo de concreto foi de 1010 ton, o de madeira estrutural superou as 109 ton e o de alvenaria as 109 ton/ano. No Brasil, em relação ao cimento para a produção de concreto, em 2021, o setor vendeu 64,7 milhões de toneladas (ABCP, 2022). Quanto à produção de madeira, a produtividade média foi de 40,5 m<sup>3</sup>/há, distribuídos em aproximadamente 7,8 milhões de hectares pelo país (SHIGUE, 2018). Quanto as indústrias de cerâmica vermelha, há 5.578 mil no Brasil, produzindo anualmente cerca de 5,9 bilhões de blocos cerâmicos (ANICER, 2024).

A rápida urbanização exacerbou ainda mais os défices habitacionais em todo o mundo (MOGHAYEDI, 2023). No entanto, o acesso equitativo a um abrigo digno e acessível continua a ser um direito humano fundamental, conforme consagrado em várias declarações das Nações Unidas (OMER, 2020). No Brasil, investimentos significativos em materiais são exigidos pelo programa de habitação social Minha Casa, Minha Vida (MCMV), que desempenha um papel crucial na redução do déficit habitacional brasileiro. O programa reuniu governos e empresariado para gerar

empregos e prover teto especialmente para pessoas mais vulneráveis, expostas a condições indignas de moradia e que puderam pagar, dentro de suas condições, pela nova conquista (CBIC, 2019). Entre 2009 e 2019, foram firmados 5,7 milhões de contratos de construção, gerando 3,5 milhões de empregos diretos até dezembro de 2018, com uma média de 390 mil empregos por ano (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2023). Em dezembro de 2023, o governo federal estabeleceu a meta de zerar o déficit habitacional até 2026, comprometendo-se a entregar dois milhões de unidades habitacionais no Brasil. O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), lançado em 2024, prevê R\$ 610 bilhões para o eixo das cidades sustentáveis e resilientes e a quantia foi dividida de forma que R\$ 105,65 bilhões serão para investimentos em habitação (GOVERNO FEDERAL, 2023). O programa MCMV teve um peso significativo no mercado imobiliário, representando 75% das unidades habitacionais lançadas e 78% das unidades vendidas em 2018, segundo relatório da Fundação Getúlio Vargas - FGV para a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias - ABRAINC. Assim, a discussão sobre políticas públicas relacionada à construção de habitações de interesse social é essencial para aliviar as dificuldades enfrentadas pela população.

Internacionalmente, as construções atuais, embora cada vez mais eficientes, carecem de uma análise comparativa numa perspectiva holística (MARRERO, 2024). Segundo o mesmo autor, os esforços centram-se na atualidade em minimizar o consumo de água e energia através da concepção de sistemas mais eficientes; porém, outra grande parcela deste consumo, causada indiretamente pelos processos de produção dos materiais de construção, é geralmente desconsiderada.

No Brasil, o programa MCMV gera emissões de CO<sub>2</sub> e consome energia durante sua produção à medida que requer somas de grande porte de materiais. Segundo Ashby (2021), a produção de materiais é uma fonte importante de poluição, liberando cerca de 20% das emissões globais de CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> se destaca como a principal preocupação entre as emissões industriais, causando danos globais por provocar a intensificação do efeito estufa e as consequentes mudanças climáticas.

Internacionalmente, há um consenso sobre a necessidade de reduzir as emissões de carbono, enquanto nacionalmente, há um foco na redução do consumo de energia, que está diretamente ligado à produção de CO<sub>2</sub>. A energia incorporada é a energia utilizada durante a fase de fabricação de um edifício, compreendendo o conteúdo energético de todos os materiais utilizados na construção do mesmo (RAMESH; PRAKASH; SHUKLA, 2010). À medida que os edifícios se tornam mais eficientes energeticamente e emitem menos dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante o seu funcionamento, é cada vez mais urgente concentrar-se mais na energia incorporada, o que inclui a produção de materiais (LU et al., 2024).

As construções também têm amplo impacto econômico, ambiental e social ao longo de seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até a demolição, passando por todas as etapas de produção, transporte, elaboração de projetos, execução e manutenção (INVIDIATA; LAVAGNA; GHISI, 2018). O impacto ambiental do sector da edificação é enorme, sendo responsável pela utilização de 40% dos recursos naturais extraídos nos países industrializados, pelo consumo de 70% da energia eléctrica e de 12% da água potável, e pela produção de 45 –65% dos resíduos depositados em aterros (OMER, 2020).

Nesse contexto, o conceito de sustentabilidade abrange ações presentes que não limitem as futuras opções econômicas, sociais e ambientais. Significa utilizar os recursos naturais sem esgotá-los, garantindo-os para as próximas gerações. Proposto como solução para diversos problemas globais, o desenvolvimento sustentável visa manter ou melhorar a sustentabilidade de um sistema, apoiando-se em um tripé: atingir simultaneamente sustentabilidade econômica, sustentabilidade ambiental e sustentabilidade social (BRUNDTLAND, 1991). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), criados em 2015, incentivam as empresas a abordarem os desafios da sustentabilidade (OMER, 2020).

Nesse sentido, para mitigar esses problemas, o setor da construção civil precisa se reinventar em direção a modelos mais sustentáveis. As organizações

devem adaptar seus processos produtivos para promover a sustentabilidade social, ambiental e econômica, impactando todas as atividades do setor. Em relação ao aspecto social, isso implica em aprimoramentos de parâmetros relacionados à limitação geográfica de empresa, aceitação social, durabilidade, manutenção, desempenho térmico, desempenho acústico, segurança frente ao fogo e tempo de execução de obra. Em relação ao aspecto ambiental, a sustentabilidade implica em desenvolver sistemas de produção que não prejudiquem o meio ambiente, considerando parâmetros como energia incorporada nos materiais, emissões de gás carbônico, renovabilidade, geração de resíduos, descarte, reciclagem e outros impactos ambientais. As empresas precisam inovar rapidamente, não se concentrando apenas em lucro financeiro.

Na construção civil brasileira, o sistema construtivo Alvenaria Convencional é o método mais empregado. Em países como Canadá, EUA e Chile o sistema construtivo Wood Frame é comumente utilizado – 90% no Canadá, 75% nos EUA e 60% no Chile (ZANOTO, ROTTER; CAMPOS, 2018). No Japão e nos países escandinavos, a construção pré-fabricada em concreto ocupa uma posição vantajosa, sendo possível conferir seu avanço tecnológico nos últimos anos (ABCIC, 2020).

Sendo assim, a presente pesquisa propõe uma análise dos diferentes sistemas construtivos utilizados na construção de habitações de interesse social no Brasil: Alvenaria Convencional, Wood-Frame e Paredes de Concreto, considerando não apenas os custos de construção, mas também os aspectos de sustentabilidade social e ambiental associados a cada sistema. Esses aspectos relacionados aos materiais e aos sistemas construtivos são parâmetros centrais que precisam ser conhecidos para o processo de tomada de decisão. Dessa forma, esse estudo busca oferecer subsídios para formuladores de políticas públicas, profissionais da construção civil, universidades, escolas e demais partes interessadas na promoção de soluções habitacionais sustentáveis.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Comparar a sustentabilidade entre habitações de interesse social, a serem executadas com materiais de três sistemas construtivos diferentes: alvenaria convencional, paredes de concreto e madeira (Wood-Frame).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o material mais adequado para a construção de habitações de interesse social do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, considerando parâmetros como energia incorporada nos materiais, emissões de gás carbônico, renovabilidade, geração de resíduos, descarte, reciclagem e outros impactos ambientais.
- Avaliar o material mais adequado para a construção de habitações de interesse social do ponto de vista da sustentabilidade social, considerando aspectos como limitação geográfica e aceitação social, durabilidade, manutenção, desempenho térmico, desempenho acústico, segurança frente ao fogo e tempo de execução.
- Avaliar o material mais adequado para a construção de habitações de interesse social do ponto de vista da sustentabilidade econômica, elaborando uma análise de custos para cada modelo habitacional.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa desta dissertação foi planejada para propor, do ponto de vista da sustentabilidade, o sistema construtivo mais adequado para a edificação de habitação de interesse social: Wood-Frame<sup>1</sup>, Paredes de Concreto, ou Alvenaria Convencional.

---

<sup>1</sup> Wood-Frame é um sistema composto por perfis de madeira que em conjunto com placas estruturais formam painéis estruturais capazes de resistir às cargas bem como de transmiti-las até a fundação (VIRTUHAB, 2023).

Para a obtenção das informações necessárias foram pesquisadas bases como Google Acadêmico, Periódicos CAPES, SciELO, entre outras. Assim, foram abordados aspectos ambientais, econômicos e sociais associados ao uso destes três materiais: alvenaria, concreto e madeira.

O desenvolvimento do estudo está representado no fluxograma a seguir (Fig. 1):

Figura 1 - Fluxograma da pesquisa



Fonte: Autor (2024)

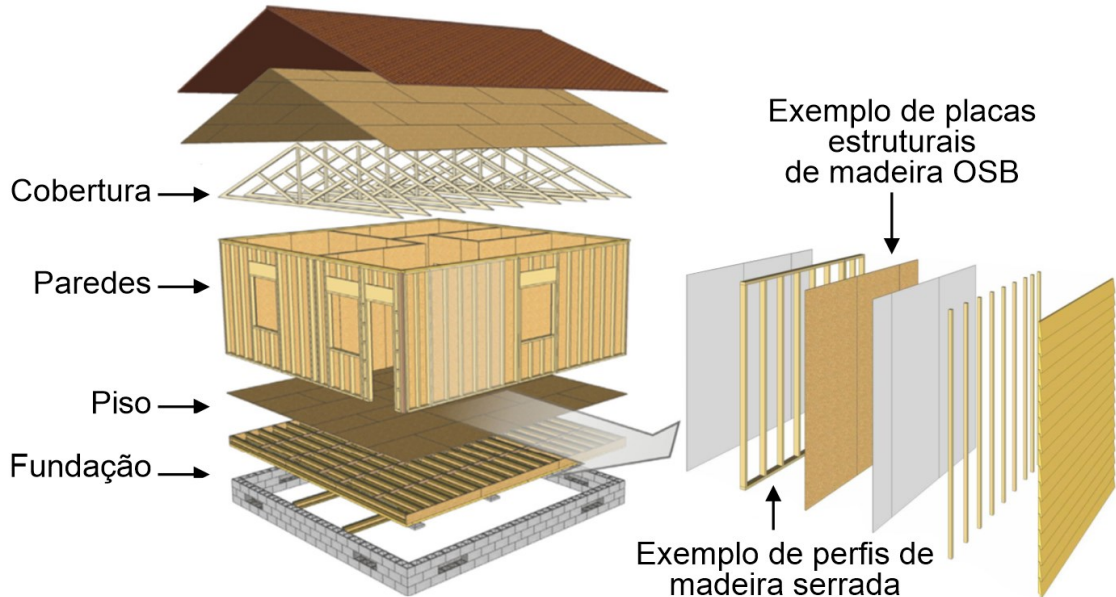


### 3.1 HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL SELECIONADAS

Foram selecionadas habitações de interesse social de três tipos de sistemas construtivos: Alvenaria Convencional, Wood-Frame e Paredes de Concreto.

Em síntese, o sistema construtivo Wood Frame é um sistema composto por perfis de madeira que em conjunto com placas estruturais de madeira OSB (Oriented Strand Board) formam painéis estruturais capazes de resistir às cargas verticais (telhados e pavimentos), perpendiculares (ventos), bem como de transmitir as cargas até a fundação (VIRTUHAB, 2023). A norma ABNT NBR 16143 (2013, p. 3) define painel OSB como chapa de partícula ou painel formada por camadas de partículas ou feixes de fibras com resinas fenólicas, que são orientados em uma mesma direção e então prensados para sua consolidação. A Figura 2 demonstra os subsistemas desse sistema construtivo.

Figura 2 - Subsistemas do sistema construtivo Wood-Frame

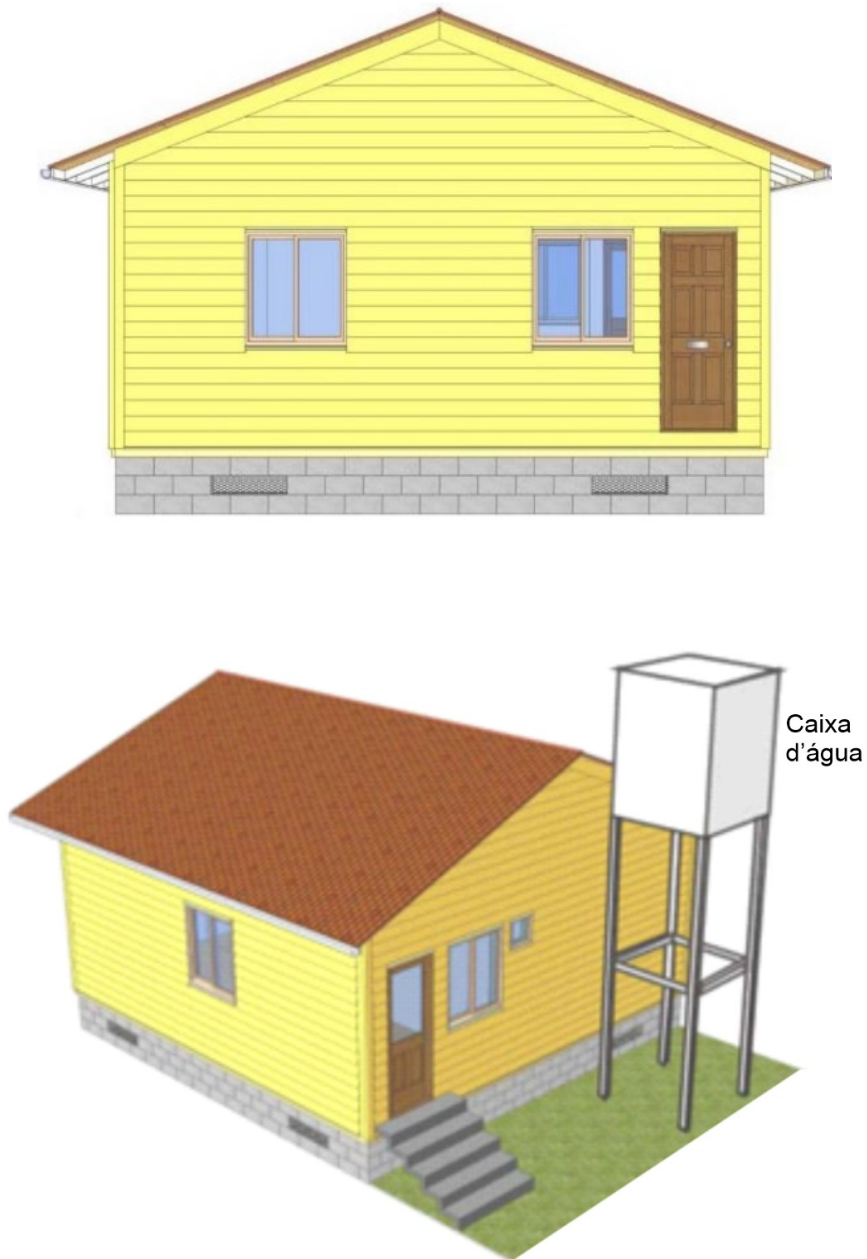


Fonte: Adaptado de Espíndola (2009)

Como modelo de uma habitação de interesse social em Wood-Frame para essa pesquisa, foi selecionado o projeto de Espíndola (2009).

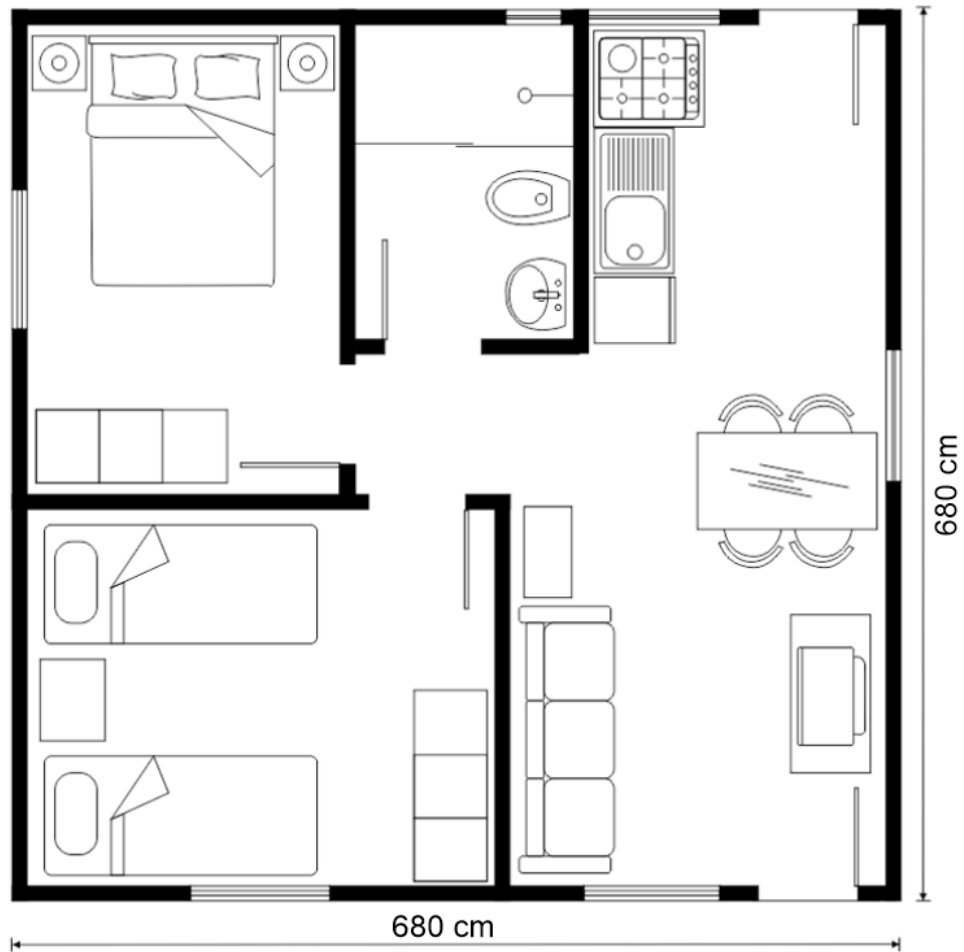
A perspectiva e a disposição do projeto arquitetônico com os ambientes descritos estão apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente. A área da habitação, para o pavimento existente é de 46,24 m<sup>2</sup>. O pé direito projetado no arquitetônico é de 2,60 m para o pavimento existente. Além disso, o projeto está composto por 4 cômodos: cozinha/sala/sala de jantar em conceito aberto, dois quartos e um banheiro.

Figura 3 – Perspectivas do projeto em Wood-Frame



Fonte: Espindola (2009)

Figura 4 – Planta baixa do projeto em Wood-Frame



Fonte: Espindola (2009)

Segundo a Construtora Contempla (2024), em relação ao sistema construtivo Paredes de Concreto, resumidamente, é aquele em que as habitações são pré-fabricadas, de modo que a grande maioria das partes que formarão a habitação com um todo são produzidas industrialmente antes das obras começarem. Nas Figuras 5 e 6 é possível visualizar um exemplo em que uma parte que formará a habitação é pré-fabricada. Trata-se de um painel de vedação para que, juntamente com outros, seja formada uma das paredes. Nota-se que formas metálicas (Figura 5) estão sendo preenchidas por concreto (Figura 6). Em seguida, elas ficarão em um lugar específico para o endurecimento do concreto até o ponto de as placas estarem prontas para serem levadas à obra.

Figura 5 – Pré-fabricação de um painel de vedação que formará parte de uma parede



Fonte: Construtora Contempla (2024)

Figura 6 – Pré-fabricação de um painel de vedação que formará parte de uma parede



Fonte: Construtora Contempla (2024)

Após a fabricação de cada uma das peças que formará a habitação como um todo, as peças são transportadas até o canteiro de obras e, com o uso de mão de obra especializada, são montadas de acordo com o projeto. A figura 7 demonstra exemplo disso, com a montagem de uma das partes que formará a habitação, tratando-se de

um painel de vedação que formará uma parede. A figura 8 demonstra a parede montada.

Figura 7 – Montagem de painel de vedação para a construção de uma parede.



Fonte: Construtora Contempla e Revista Construa (2019)

Figura 8 – Parede montada de uma habitação de interesse social.



Fonte: Construtora Contempla e Revista Construa (2019)

Como modelo de uma habitação de interesse social em Paredes de Concreto para essa pesquisa, foi selecionada o projeto de uma habitação de interesse social da Construtora Contempla (<https://contempla.eng.br>). A perspectiva e a disposição do projeto arquitetônico com os ambientes descritos estão apresentadas nas Figuras 9 e 10, respectivamente. A área da edificação, para o pavimento existente é de 44,13 m<sup>2</sup>.

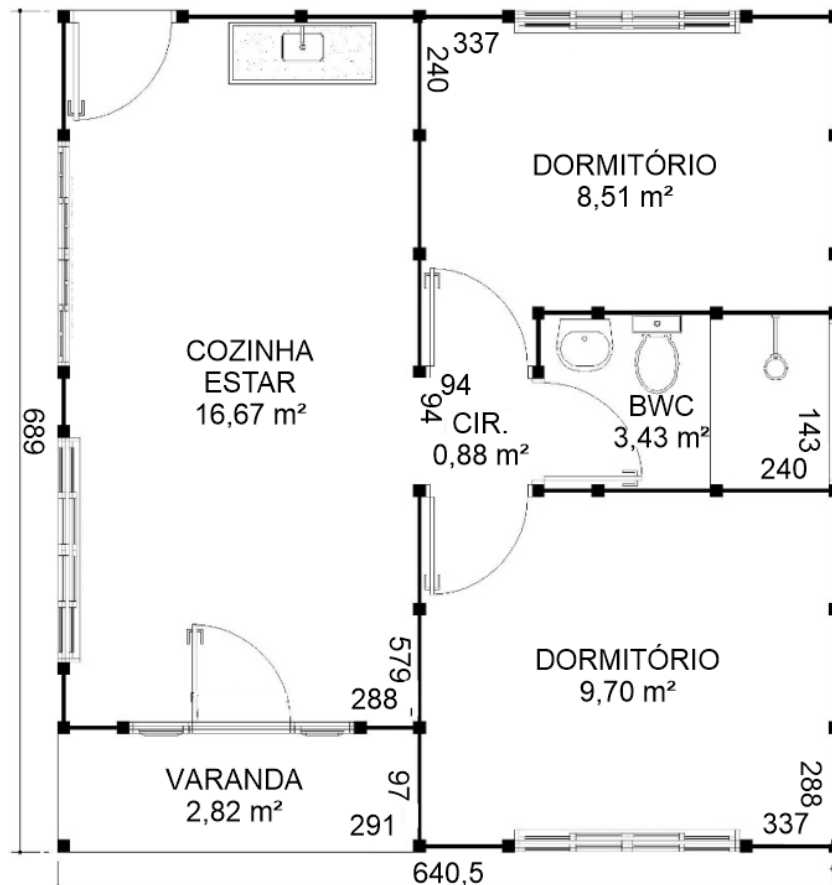
O pé direito projetado no arquitetônico é de 2,60 m para o pavimento existente. Além disso, o projeto está composto por 4 cômodos (cozinha/sala/sala de jantar em conceito aberto, dois quartos e um banheiro) e uma varanda.

Figura 9 – Perspectivas do projeto em Paredes de Concreto



Fonte: Construtora Contempla (2023)

Figura 10 – Planta do projeto em Paredes de Concreto



Fonte: Construtora Contempla (2023)

Em relação ao sistema construtivo Alvenaria Convencional, trata-se daquele em que há a construção da edificação no local da obra com estrutura em concreto armado e com vedação em tijolos cerâmicos (Figura 11). A alvenaria de tijolos cerâmicos possui função apenas de vedação, ou seja, proteção contra todos os tipos de agentes externos como, por exemplo, chuva, sol e vento. Para sustentação da habitação é necessária a utilização da estrutura em concreto armado, como viga, pilares, lajes e fundações.

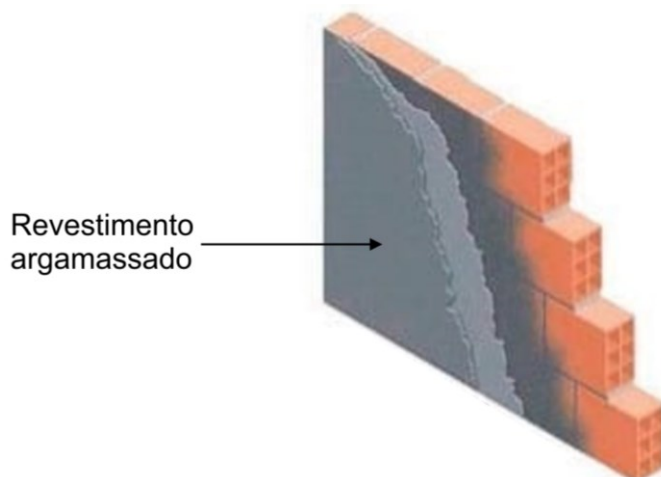
Figura 11 – Habitação em Alvenaria Convencional em fase de construção



Fonte: Lacerda e Gonçalves (2022)

Nesse sistema construtivo, o revestimento das paredes internas e externas geralmente é feito com revestimento argamassado de acordo com o que pode ser visto na Figura 12. O sistema é chamado de convencional por ser tradicionalmente o método mais empregado na construção civil brasileira.

Figura 12 – Revestimento argamassado de paredes internas e externas



Fonte: Autor (2024)

Como modelo de uma habitação de interesse social em Alvenaria Convencional para essa pesquisa, foi selecionado o mesmo projeto de habitação de interesse social da Construtora Contempla (Figuras 9 e 10). A partir da área da edificação, 44,13 m<sup>2</sup>, foi feita uma estimativa da massa dos materiais, alvenaria e concreto, por meio de uma metodologia já estabelecida na área da construção civil (Daré, 2015). Esta metodologia estabelece coeficientes de estimativa dos materiais necessários por área de construção.

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

O estudo tem como finalidade determinar o modelo de construção mais sustentável, considerando aspectos de sustentabilidade ambiental, social e econômica.

Entre os aspectos ambientais, foram quantitativamente calculados o CO<sub>2</sub> emitido e a energia incorporada para cada material. Para isso, foi necessário calcular em primeiro lugar as massas dos mesmos. Outros aspectos ambientais foram estudados qualitativamente de forma comparativa entre os três modelos habitacionais.

Os parâmetros de sustentabilidade social foram comparativamente estudados de forma semiquantitativa e o estudo econômico foi quantitativo.

Assim, o trabalho foi dividido em três diferentes etapas:

- i) Cálculo do CO<sub>2</sub> emitido e da energia incorporada para os três modelos de habitação de interesse social;
- ii) Estudo de outros aspectos de sustentabilidade;
- iii) Estudo econômico.



### 3.2.1 Etapa 1: Cálculo do CO<sub>2</sub> emitido e da energia incorporada

Na primeira etapa, com base em estudos bibliográficos, foram levantados os quantitativos das massas dos materiais de construção que são necessários para a execução de três projetos de habitação de interesse social, relacionados com os materiais dos três sistemas de construção diferentes: Wood-Frame, Paredes de Concreto e Alvenaria Convencional. Seguidamente, foi obtida a relação total das quantidades de energia incorporada e de CO<sub>2</sub> emitido na produção dos materiais necessários para a execução de cada projeto, multiplicando-se a massa total de cada material pelos coeficientes da Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada para diferentes materiais de construção

| Material                  | CO <sub>2</sub> emitido (kg/kg) | Energia incorporada (MJ/kg) | Referência    |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------|
| Bloco de Concreto         | 0,061                           | 0,94                        | Ashby, 2021   |
| Madeira Serrada Tratada   | 0,77                            | 8,26                        | Fischer, 2020 |
| Madeira OSB*              | 1,34                            | 14,32                       | Fischer, 2020 |
| Placa de Gesso Acartonado | 0,33                            | 6                           | Ashby, 2021   |
| Concreto Armado           | 0,21                            | 2,49                        | Ashby, 2021   |
| Concreto                  | 0,095                           | 1,3                         | Ashby, 2021   |
| Bloco Cerâmico            | 0,22                            | 2,8                         | Ashby, 2021   |
| Argamassa                 | 0,061                           | 0,94                        | Ashby, 2021   |

\*A norma ABNT NBR 16143 (2013, p. 3) define painel OSB como chapa de partícula ou painel formada(o) por camadas de partículas ou feixes de fibras com resinas fenólicas, que são orientados em uma mesma direção e então prensados para sua consolidação.

Fonte: Autor  
(2024)

#### 3.2.1.1 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Wood-Frame

Para o cálculo das massas necessárias para a construção da habitação de interesse social em Wood-Frame, foi utilizada a Tabela 2 de estimativa de materiais de Espindola (2019).

Para o cálculo da massa total dos blocos de concreto da fundação, inicialmente foi feita uma pesquisa de mercado sobre a massa unitária dos blocos e logo após essa massa unitária foi multiplicada pela quantidade total de blocos. Para obtenção das quantidades de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada para os blocos de concreto de fundação, essa massa total dos blocos foi multiplicada pelo coeficiente de massa de CO<sub>2</sub> emitido por kg de massa do material e pelo coeficiente de quantidade de MJ por kg de massa do material, que constam na Tabela 1.

A partir das dimensões dos materiais e das suas quantidades que estão apresentadas na Tabela 2 (Espindola, 2019), foram feitos cálculos para a obtenção de informações necessárias, como os volumes e massas totais da madeira serrada tratada, da madeira de OSB bem como do gesso de revestimento interno. A fim de obter as quantidades de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada para esses materiais, a massa total de cada um desses materiais foi multiplicada pelo coeficiente de massa de CO<sub>2</sub> emitido por kg de massa do material e pelo coeficiente de quantidade de MJ por kg de massa do material, que constam na Tabela 1.

Tabela 2 – Estimativa de materiais para habitação de interesse social em Wood-Frame

(continua)

| Fundação   |              |            |     |
|--|--------------|------------|-----|
|  |              |            |     |
| Material   |              | Quantidade |     |
| Blocos de concreto estrutural<br>19 cm × 19 cm × 39 cm |              | 158        | un. |
| Blocos canaleta de concreto<br>19 cm × 19 cm × 39 cm   |              | 24         | un. |
| Piso   |              |            |     |
|  |              |            |     |
| Material   |              | Quantidade |     |
| Soleira  | 5 cm × 15 cm | 27,20      | m   |

Tabela 2 – Estimativa de materiais para habitação de interesse social em Wood-Frame

|   |                      |          | (continua)     |
|---|----------------------|----------|----------------|
| Vigas I suporte                               | banzo 3 cm × 6 cm    | 51,20    | m              |
|   | alma OSB 18mm × 20cm | 12,80    | m              |
| Vigas I piso                                  | banzo 3cm × 6cm      | 486,00   | m              |
|   | alma OSB 18mm × 20cm | 121,50   | m              |
| Fecham. lateral OSB 25mm × 20cm               |                      | 27,20    | m              |
| Enrijecedores 5 cm × 7 cm                     |                      | 17,34    | m              |
| Chapa OSB piso 15,5 mm                        |                      | 46,50    | m <sup>2</sup> |
| <b>Paredes</b>                                |                      |          |                |
| <b>Meio painel fechado (60 cm)</b>            |                      | <b>5</b> | <b>un.</b>     |
| Montante 4 cm × 9 cm                          |                      | 8,15     | m              |
| Travessa 4 cm × 9 cm                          |                      | 1,20     | m              |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>59,7 cm × 271,7 cm  |                      | 1        | un.            |
| Gesso acartonado 12 mm<br>59,7 cm × 271,7 cm  |                      | 1        | un.            |
| <b>Meio painel janela (60 cm)</b>             |                      | <b>1</b> | <b>un</b>      |
| Montante 4 cm × 9cm                           |                      | 11,87    | m              |
| Travessa 4 cm × 9 cm                          |                      | 1,20     | m              |
| Verga 4 cm × 9 cm                             |                      | 0,52     | m              |
| Contra-verga 4 cm × 9 cm                      |                      | 0,44     | m              |
| Chapa OSB parede 12mm<br>59,7 cm × 271,7 cm   |                      | 1        | un.            |
| Gesso acartonado 12 mm<br>59,7 cm × 271,7 cm  |                      | 1        | un.            |
| Janela madeira basculante 40 cm<br>× 60 cm    |                      | 1        | un.            |
| <b>Painel fechado (120 cm)</b>                |                      | <b>3</b> | <b>un.</b>     |
| Montante 4 cm × 9 cm                          |                      | 10,87    | m              |
| Travessa 4 cm × 9 cm                          |                      | 2,40     | m              |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm |                      | 1        | un.            |

Tabela 2 – Estimativa de materiais para habitação de interesse social em Wood-Frame

| (continua)   |          |            |
|--|----------|------------|
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1        | un.        |
| <b>Painel janela (120 cm)</b>                      | <b>3</b> | <b>un.</b> |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 12,83    | m          |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 2,40     | m          |
| Verga 4 cm × 9 cm                                  | 1,20     | m          |
| Contra-verga 4 cm × 9 cm                           | 1,04     | m          |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1        | un.        |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1        | un.        |
| Janela madeira 94 cm × 104<br>cm duas folhas abrir | 1        | un         |
| <b>Painel porta (120 cm)</b>                       | <b>5</b> | <b>un.</b> |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 16,22    | m          |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 2,54     | m          |
| Verga 4 cm × 9 cm                                  | 0,88     | m          |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1        | un.        |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1        | un.        |
| porta madeira interna<br>74 cm × 214 cm            | 3        | un         |
| porta madeira externa<br>74 cm × 214 cm            | 2        | un         |
| <b>Painel duplo fechado e<br/>fechado (240 cm)</b> | <b>8</b> | <b>un.</b> |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 19,02    | m          |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 4,80     | m          |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2        | un.        |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2        | un.        |
| <b>Painel duplo fechado e janela (240 cm)</b>      | <b>2</b> | <b>un.</b> |

Tabela 2 – Estimativa de materiais para habitação de interesse social em Wood-Frame

|  |       | (conclusão)    |  |
|--|-------|----------------|--|
| Montante 4 cm × 9cm                                | 18,93 | m              |  |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 4,79  | m              |  |
| Verga 4 cm × 9 cm                                  | 1,14  | m              |  |
| Contra-verga 4 cm × 9 cm                           | 1,06  | m              |  |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2     | un.            |  |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2     | un.            |  |
| Janela madeira 94 cm × 104<br>cm duas folhas abrir | 1     | un             |  |
| <b>Travessa superior dupla<br/>4 cm × 9 cm</b>     |       |                |  |
|  | 41,6  | m              |  |
| <b>Revestimento externo</b>                        |       |                |  |
| Impermeabilizante "tyvek"                          | 84    | m <sup>2</sup> |  |
| Ripas 4 cm × 5 cm                                  | 68    | m              |  |
| "Sidings" 20 cm × 2,5 cm                           | 216   | m              |  |

Fonte: Espíndola (2019)

### 3.2.1.2 Cálculos relacionados à habitação de interesse social em Parede de Concreto

O cálculo das massas necessárias para a construção da habitação em Paredes de Concreto foi realizado a partir dos volumes de concreto informados pela Construtora Contempla conforme a Tabela 3. A partir do volume foi calculada a massa total de concreto, multiplicando-o pela densidade do concreto. A fim de obter as quantidades de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada para o concreto, a massa total foi multiplicada pelo coeficiente de massa de CO<sub>2</sub> emitido por kg de massa do material e pelo coeficiente de quantidade de MJ por kg de massa do material, que constam na Tabela 1.

Tabela 3 – Volumes de concreto para habitação de interesse social em Paredes de Concreto

| Item                         | Quantidade | Volume unitário (m <sup>3</sup> ) | Volume total (m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Pilar (uni)                  | 42         | 0,032                             | 1,34                           |
| Fundação (uni)               | 32         | 0,28                              | 4,45                           |
| Viga Superior (m)            | 41,3       | 0,01                              | 0,41                           |
| Placas (uni)                 | -          | -                                 | 3,42                           |
| Viga Inferior (m)            | 47         | 0,057                             | 2,68                           |
| Contrapiso (m <sup>2</sup> ) | 44,5       | 0,05                              | 2,23                           |

Fonte: Adaptado de Construtora Contempla (2024)

### 3.2.1.3 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Alvenaria Convencional

Para o cálculo das massas necessárias para a construção da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional, foi utilizado o método de estimativa de materiais proposto por Daré (2015). Em relação ao projeto utilizado, o mesmo da Construtora Contempla foi usado no que diz respeito a área total da edificação. Segundo o método proposto, a tabela 4 dá uma estimativa da quantidade de material dos serviços considerados por metro quadrado de construção.

Tabela 4 – Coeficientes de estimativa de materiais por área de construção

| Item                  | Unidade                         | Coefficiente |
|-----------------------|---------------------------------|--------------|
| Estrutura de concreto | m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> | 0,15         |
| Alvenaria externa     | m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> | 0,9          |
| Alvenaria interna     | m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> | 1,2          |
| Revestimento externo  | m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> | 0,75         |
| Revestimento interno  | m <sup>2</sup> / m <sup>2</sup> | 2,9          |

Fonte: Adaptado de Daré (2023)

Serão comparados apenas os materiais diferentes para os três projetos arquitetônicos apresentados, já que os outros componentes dos projetos podem ser compostos por materiais semelhantes.

### **3.2.2 Etapa 2: Outros Aspectos de Sustentabilidade**

A segunda etapa consistiu em uma pesquisa bibliográfica sobre a origem e a fabricação/produção dos materiais madeira, concreto e blocos cerâmicos, bem como sobre os aspectos sociais e outros aspectos ambientais relacionados a esses materiais de interesse. Em relação aos aspectos sociais, a pesquisa foi a respeito da limitação geográfica e aceitação social, durabilidade, manutenção, isolamento térmico/acústico, segurança frente ao fogo e tempo de execução. No que diz respeito aos aspectos ambientais, a pesquisa foi sobre o caráter renovável (ou não) dos materiais, desperdício e resíduos da construção, reciclagem, descarte e impactos ambientais dos materiais selecionados. Desta maneira, foi possível obter uma visão de conjunto das vantagens e desvantagens do uso de cada material na construção civil, bem como de sua sustentabilidade.

Quanto a limitação geográfica e aceitação social, tratou-se a respeito de quais sistemas construtivos são mais acessíveis, no sentido de mais localidades serem atendidas por empresas que fabricam as habitações de interesse social de cada sistema construtivo. Além disso, também foi visto qual sistema construtivo goza de excelente aceitação por parte dos usuários, arquitetos e engenheiros, que podem oferecer resistência a um sistema construtivo. No que se refere a durabilidade e a manutenção foi possível determinar qual tipo de habitação de interesse social apresenta maior vida útil em anos. Acerca do desempenho térmico, acústico e segurança frente ao fogo, em uma análise comparativa entre os sistemas construtivos, foi possível constatar qual possui melhor desempenho. Sobre o tempo de obra, foi possível concluir quais sistemas construtivos são mais ágeis e industrializados, podendo atender à urgência na demanda por habitações.

Com relação ao caráter renovável e a origem, foi possível concluir qual sistema construtivo apresenta limitações de disponibilidade pela extração ou produção. No

tocante aos resíduos e ao desperdício, foi determinado qual sistema é inovador e com redução significativa de resíduos, bem como qual sistema apresenta maiores desvantagens, como a quebra de paredes para reparos, gerando desperdício e aumentando significativamente os resíduos da construção. Com relação à reciclagem e ao descarte, concluiu-se que material é classificado como perigoso por ter elementos tóxicos bem como qual atenção é necessária no momento de descartar esse material. Quanto aos impactos ambientais, foi possível perceber quais sistemas construtivos destacam-se negativamente. Foi visto que a exposição a alguns componentes pode causar sérios problemas ao meio ambiente e a saúde de seres humanos.

A partir das informações obtidas, foram elaboradas tabelas de score dos parâmetros ambientais e sociais estudados, com sinais + e -, numa tentativa de estabelecer semiquantitativamente a sustentabilidade dos sistemas construtivos objeto de estudo. Quanto mais sinais +, mais sustentável o sistema é. Os parâmetros estudados foram avaliados de forma comparativa para os três modelos habitacionais, visando determinar sua contribuição à sustentabilidade das construções.

### **3.2.3 Etapa 3: Estudo Econômico**

Na terceira etapa, foi efetuado um estudo econômico comparativo relacionado à construção das habitações de interesse social em Wood-Frame, em Paredes de Concreto e em Alvenaria Convencional. O estudo abrange valores de material e de mão de obra. Os valores sofrem mudanças com o passar do tempo, portanto trata-se de um estudo aproximado.

A princípio, foram consultadas diversas empresas que fabricam habitações de interesse social nos três sistemas construtivos. Foram coletados três orçamentos de cada empresa relacionada a cada sistema construtivo. A partir disso, por meio de cálculos foram desenvolvidas tabelas com os preços médios do metro quadrado de cada sistema construtivo pesquisado, bem como com o desvio padrão desses valores.

Em seguida, os valores médios do metro quadrado de cada sistema construtivo foram adaptados ao parâmetro durabilidade e manutenção das edificações. Desse



modo, foi possível concluir qual sistema construtivo estudado apresentou o menor valor de preço metro quadrado.

Por fim, foi feito um estudo, aplicando o preço do metro quadrado de cada sistema construtivo ao contexto atual brasileiro. Desse modo, foi feita uma avaliação no que diz respeito ao déficit habitacional e o objetivo de gestão do Governo Federal em relação ao programa social Minha Casa Minha Vida, em relação ao número de unidades habitacionais a serem entregues. Assim sendo, para cada sistema construtivo, foi analisado qual o valor total a ser investido para que o número de unidades habitacionais a serem entregues possa ser atingida. Também foi realizada uma compilação de resultados para poder chegar à conclusão sobre qual sistema construtivo é mais sustentável.

#### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para conhecer o estado da arte do tema proposto foram estudados os tópicos de sustentabilidade referentes aos materiais de construção civil madeira, concreto e bloco cerâmico nos seguintes aspectos: origem e fabricação, produção, quantidades, durabilidade e manutenção, conforto térmico, acústico e segurança contra fogo, desperdício e entulho, reciclagem e descarte, vantagens e desvantagens, impactos ambientais, energia incorporada, emissões de CO<sub>2</sub>, renovabilidade, benefícios sociais, qualidade, aspectos econômicos, como o Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB), bem como as fontes de dados para os cálculos das massas de concreto, de madeira e de alvenaria.

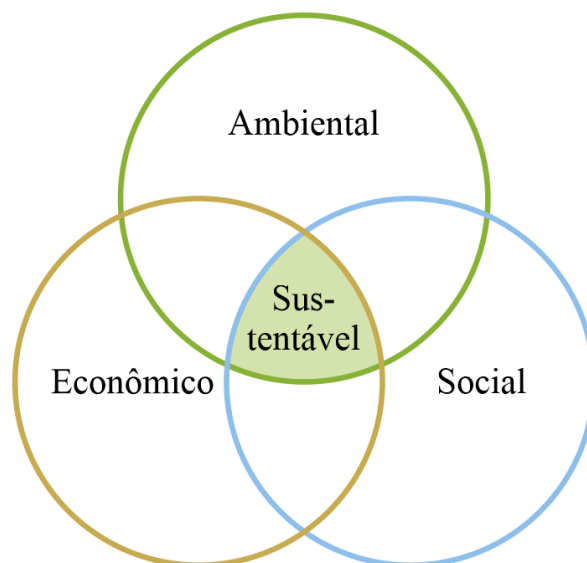
##### **4.1 SUSTENTABILIDADE**

Segundo Carvalho e Marioka (2016), sustentabilidade pode ser definida como o “[...] princípio que assegura que nossas ações de hoje não limitarão a gama de opções econômicas, sociais e ambientais disponíveis para as futuras gerações.”.

Assim, sustentabilidade significa fazer uso dos recursos naturais sem esgotá-los, garantindo seus direitos a este respeito às gerações futuras. De acordo com as mesmas autoras, vale lembrar também que o significado primário do termo sustentabilidade, segundo o Dicionário Houaiss (Houaiss et al., 2009, p. 1866), é “característica ou condição do que é sustentável”, ou seja, daquilo que “é passível de sustentação”, que, por sua vez, é sinônimo de “conservação” e “manutenção”. O desenvolvimento sustentável é entendido por Carvalho e Marioka (2016), da seguinte forma: “[...] é proposto pelos governos e líderes corporativos como solução para uma grande gama de problemas que agora estão começando a fazer parte da pauta internacional. Essas autoras consideram que o desenvolvimento sustentável é “[...] o caminho para guiar mudanças e melhorias no sentido de manter ou melhorar a sustentabilidade do sistema.”

O conceito de desenvolvimento sustentável para uma sociedade se apoia em um tripé: atingir simultaneamente sustentabilidade econômica, sustentabilidade ambiental e sustentabilidade social. A Figura 13 ilustra esse conceito.

Figura 13 – Tripé da Sustentabilidade



Fonte: Adaptado de Ashby (2015)

#### 4.1.1 Sustentabilidade na Construção Civil

De acordo com Marques (2022), as construções absorvem recursos e contribuem para a transformação de áreas, tendo consequências econômicas e impactos no meio ambiente e na saúde humana, ao longo do seu ciclo de vida. Além disso, a indústria da construção tem importância expressiva quando comparada às demais indústrias, pelos efeitos causados ao meio ambiente. Segundo o mesmo autor, a construção civil é uma das maiores atividades geradoras de impactos ambientais negativos, tanto pelo consumo de recursos naturais, quanto pela modificação da paisagem, ou ainda, pela geração de resíduos. Dados apontam que o setor consome 40% de toda energia produzida no mundo, extrai 30% dos materiais do meio natural, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água do planeta e ocupa 12% das terras.

De maneira resumida, de acordo com Marques (2022), o impacto ambiental da construção civil depende de uma enorme cadeia produtiva, a qual vai desde a extração de matérias-primas, até o final da vida útil do empreendimento, passando pelas etapas de produção e transporte de materiais e equipamentos, pela concepção e elaboração de projetos, pela execução (construção), além das práticas de uso e manutenção, e, ao final da vida útil, a demolição, sempre com a destinação de resíduos gerados ao longo da vida útil. Devido aos impactos negativos que a construção civil causa, torna-se fundamental que esse setor busque se reinventar para caminhar para modelos mais sustentáveis. Segundo Ferreira (2023), com a criação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em setembro de 2015, que consistem em uma Declaração, 17 ODS e 169 metas, que devem ser atingidos até 2030, as empresas são explicitamente chamadas a resolver os desafios do desenvolvimento sustentável.

Segundo Marques (2022), na indústria da construção civil, o desafio da sustentabilidade assumiu, há alguns anos, um papel de destaque na agenda brasileira. O setor está cada vez mais consciente sobre a relevância do seu papel no contexto da mitigação e adaptação dos efeitos das mudanças climáticas e da necessidade de melhoria das condições de vida no planeta. Nesse contexto, as políticas de desenvolvimento sustentável, responsabilidade social empresarial, análise de ciclo de vida, mudanças climáticas, entre outras, têm implicações práticas

em toda e qualquer atividade, acarretando a revisão dos procedimentos que resultam em elevado consumo de materiais e geração de resíduos, na geração de gases de efeito estufa e no consumo de água e energia.

Para que as organizações possam contribuir para a sustentabilidade, conforme Marques (2022), devem modificar seus processos produtivos, quando for necessário, para se tornarem ecologicamente sustentáveis. Isto implica em construir sistemas de produção que não causem impactos negativos e da mesma forma que estejam contribuindo para a recuperação de áreas degradadas ou oferecendo produtos e serviços que contribuam para a melhoria da performance ambiental dos consumidores e clientes. Das empresas, há que se ter grande potencial para inovar, evoluindo em ritmo acelerado, não estando concentradas apenas no resultado financeiro de suas atividades, mas buscando também a qualidade ambiental e justiça social.

## 4.2 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

### 4.2.1 Origem dos recursos naturais a serem utilizados

#### 4.2.1.1 Concreto

De acordo com Cajazeira (2011), o material usualmente conhecido na construção civil como cimento é denominado mundialmente como cimento portland. O cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento portland não se decompõe mais. O cimento é um dos mais importantes materiais de construção, com vastíssimo campo de aplicação, incluindo desde a construção civil de habitações, estradas e barragens, a diversos tipos de produtos acabados, como telhas de fibrocimento, pré-moldados, caixas de água e outros (Cajazeira, 2005).

O concreto armado é um material de construção inventado na Europa em meados do século XIX. Ele consiste na combinação do concreto – uma pasta feita de

agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água, conhecida desde a Antiguidade com uma armadura de aço. A novidade está justamente na reunião da propriedade de resistência à tração do aço com a resistência à compressão do concreto, que permite vencer grandes vãos e alcançar alturas extraordinárias. Além disso, o concreto é um material plástico, moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos. Inicialmente empregado apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir de fins do século XIX o concreto armado passa a ser utilizado também nas edificações (SCARI, 2021). O concreto armado é produzido em escala industrial e viabiliza construções de grande porte, como pontes, arranha-céus e outros, entre eles aqueles novos objetos arquitetônicos característicos do cenário do mundo moderno do século XX. O concreto armado é um material composto pela associação do concreto com o aço de modo que estabeleçam um sólido único. Entretanto o uso do concreto armado pode ser considerado recente, pois começou a ser usado efetivamente há menos de 100 anos em construções com embasamento técnico e modelos de cálculo racionais.

#### 4.2.1.2 Alvenaria de blocos cerâmicos

De acordo com Costa (2014), a alvenaria é um sistema construtivo tradicional que tem sido utilizado em larga escala pelo homem, estando sua origem e história contida na própria história das antigas civilizações, sendo o sistema com maior aceitação, através de construções de habitações, monumentos, pontes, templos religiosos etc.

De acordo com as observações de Bauer (2019), o bloco cerâmico é um agrupamento de minerais, predominantemente compostos por silicatos de alumínio hidratados. Esses minerais possuem a característica singular de formar uma pasta plástica que, ao entrar em contato com a água, é capaz de manter a forma moldada, secar e endurecer mediante a influência do calor.

Segundo Santos (1998), no Brasil a alvenaria iniciou no período colonial, com o emprego da pedra e tijolo de barro cru. Os primeiros avanços na técnica construtiva foram marcados, já no Império, pelo uso do tijolo de barro cozido, a partir de 1850,

proporcionando construções com maiores vãos e mais resistentes à ação das águas. Já no final do século XIX, a precisão dimensional dos tijolos permitia a aplicação de alguns conceitos em direção a racionalização e industrialização.

Segundo Souza (2022), alvenaria de vedação é conhecida no Brasil como alvenaria convencional, sendo a mais utilizada. As paredes são feitas apenas para sustentar o seu próprio peso; neste caso, a fundação, pilares, vigas e lajes são as que fazem as absorções de todas as cargas do empreendimento construído. Em suma, tal alvenaria tem particularmente a finalidade de realizar as divisões dos ambientes.

#### 4.2.1.3 Madeira

Em relação à composição química elementar da madeira, essa é constituída basicamente de Carbono (entre 49 a 50%), Oxigênio (entre 44 a 45%), Hidrogênio (em torno de 6%) e Nitrogênio (entre 0,1 e 1%), valores que não se alteram muito em função da espécie (CORREA, 2016).

Os componentes químicos presentes na madeira são a celulose, hemicelulose (polioses) e lignina que são chamados de compostos fundamentais ou macromoleculares, e os extrativos e elementos inorgânicos (cinzas) que são os ditos acidentais ou minoritários (CORREA, 2016).

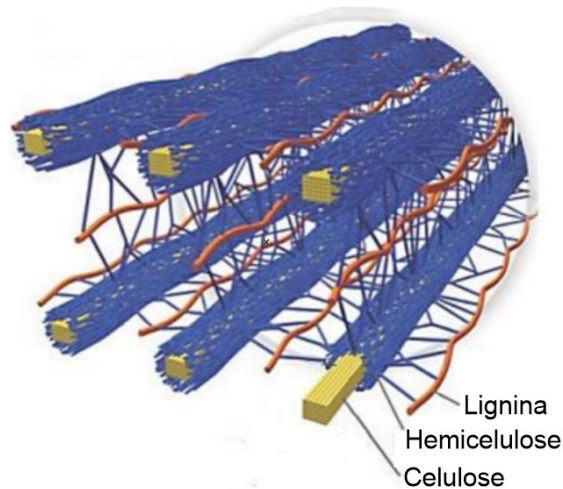
Tabela 5 - Composição química média das madeiras de coníferas.

| Constituintes | Coníferas |
|---------------|-----------|
| Celulose      | 42 ± 2%   |
| Polioses      | 27 ± 2%   |
| Lignina       | 28 ± 2%   |
| Extrativos    | 5 ± 3%    |

Fonte: CORREA (2016)

Um esquema dos componentes aparece abaixo, na Figura 14:

Figura 14 – Componentes da madeira



Fonte: Santos, 2015

O Brasil é um país florestal, onde cerca de 463 milhões de hectares, correspondendo à 54,4% de todo o território nacional, é coberto por florestas (SUIGUE, 2018), o que o coloca em segundo lugar entre os países com maior área florestal atrás somente da Rússia. Existe ainda uma pequena parcela do total de áreas florestais, representando apenas cerca de 1,5% de sua área total, que é composta pelas chamadas florestas plantadas, que são aquelas criadas artificialmente através da prática da silvicultura, destinada à exploração de seus recursos. Apesar de ter uma área pouco representativa em comparação às florestas nativas, com cerca de 7,8 milhões de hectares distribuídos por diversos estados de norte a sul do país, as florestas plantadas são responsáveis por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais no Brasil (SUIGUE, 2018). Além disso, a produtividade do setor está em torno de 40 a 41 m<sup>3</sup>/ha. ano, o que coloca as florestas plantadas brasileiras entre as mais produtivas do mundo, inclusive acima de países com tradição no setor florestal como a Finlândia (SUIGUE, 2018). E ainda, apesar de ter uma produção significativamente inferior, em parte devido às pressões para a redução do desmatamento, as florestas nativas também são exploradas, sendo o Brasil um dos maiores produtores e também um dos maiores consumidores de madeira tropical do mundo (SUIGUE, 2018). Diante deste cenário de abundância de recursos florestais com elevadas taxas de produtividade, aliado a uma indústria de base florestal que explora tais recursos, o Brasil faz muito pouco uso da madeira como material construtivo.

Apesar do setor da construção civil ser um grande consumidor deste recurso, ele é usado principalmente para fins de caráter provisório, principalmente em andaimes e fôrmas de escoramento para concreto. Outro uso comum da madeira é na forma de móveis, esquadrias e produtos de acabamento, como pisos e forros. Porém, é incomum a sua utilização compondo a estrutura principal ou a vedação de edificações.

### 4.3 FABRICAÇÃO

#### 4.3.1 O processo de fabricação do cimento e do concreto armado

As matérias-primas para a produção do cimento devem suprir cálcio e sílica em formas e proporções adequadas, sendo os silicatos de cálcio os principais componentes do cimento portland. Os materiais que ocorrem naturalmente como pedra calcária, giz, mármore e conchas do mar são fontes industriais comuns de cálcio e são materiais a base de carbonato de cálcio (CAJAZEIRA, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2002) o cimento Portland é composto de clínquer e de adições, sendo o clínquer o seu principal componente e está presente em todos os tipos de cimento Portland. As adições podem variar de um tipo de cimento para outro e são principalmente elas que definem os diferentes tipos de cimento.

No processo de fabricação do cimento, as principais etapas são as seguintes:

- Primeiro, o calcário e a argila são misturados e moídos a fim de se obter uma certa "mistura crua" de produto. O processo de moagem é feito num moinho de bolas ou de rolos de impacto. O moinho também fica estrategicamente colocado contra uma corrente de gás quente - aqui ocorre a secagem do material;
- Depois de moído, o produto é estocado em silos onde é feita a homogeneização (equalização) dos materiais;



- Aqui vem o processo de clínquerização, ou melhor, o aquecimento do material cru. No pré-aquecedor, correm os gases quentes da combustão;
- Em seguida, o conteúdo é jogado num forno rotativo (1400°C), que funciona à base de óleo pesado, petróleo, carvão mineral ou vegetal. Várias reações químicas são desencadeadas como as decomposições de carbonato de magnésio e carbonato de cálcio. Após o aquecimento, o clínquer, como é chamado o material formado, é bruscamente resfriado em ar frio por duas vezes;
- O clínquer é estocado em silos para a produção do cimento;
- O clínquer é misturado ao gesso, usado para regular o tempo de "grude" do cimento;
- O material passa por uma moagem definitiva, onde é medida a quantidade exata das substâncias convenientes para a qualidade do produto final;
- Após moído, o cimento é transportado para silos de estocagem, onde é extraído e ensacado por ensacadeiras automáticas em sacos de 25 ou 50 kg. Parte da produção pode ser entregue no local da obra a granel (silo-reboque).

O concreto é uma pasta feita de agregados miúdos e graúdos, cimento, areia e água. Conforme Cajazeira (2011), o concreto armado consiste na combinação do concreto com uma armadura de aço. De acordo com Virtuhab (2023), as fases da produção do concreto armado são mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura. A mistura tem por intuito dar homogeneidade ao concreto, isto é, fazer com que ele apresente a mesma composição em qualquer ponto de sua massa. Pode ser manual – quando realizada no masseiro com o auxílio de pás e enxadas – ou mecanizada – quando realizada com o auxílio de uma betoneira.

Transporte: Depois de misturado, o concreto será transportado para o local de aplicação, através dos vários modos, horizontal, vertical ou outros; O lançamento é a colocação do concreto no local de aplicação, em geral, nas formas. Começa a endurecer após quatro horas da adição da água. Em seguida é a fase de adensamento: pela constituição do concreto armado (com armaduras de ferro em seu

interior), há chances de ficarem vazios na estrutura. O adensamento é feito normalmente com o uso de um vibrador.

A cura é a fase de secagem do concreto. Ela é importantíssima: se não for feita de modo correto, este não terá a resistência e a durabilidade desejadas. Ao contrário do que se possa pensar, para uma boa cura não basta deixar o concreto simplesmente secar ao tempo, já que o sol e o vento o secam imediatamente. É um processo mediante o qual se mantém um teor de umidade satisfatório, evitando a evaporação de água da mistura, garantindo ainda, uma temperatura favorável ao concreto durante o processo de hidratação dos materiais aglomerantes, de modo que se possam desenvolver as propriedades desejadas.

#### **4.3.2 O processamento da alvenaria de blocos cerâmicos**

De acordo com as observações de Bauer (1994), o bloco cerâmico é um agrupamento de minerais, predominantemente compostos por silicatos de alumínio hidratados. Esses minerais possuem a característica singular de formar uma pasta plástica que, ao entrar em contato com a água, é capaz de manter a forma moldada, secar e endurecer mediante a influência do calor. Os blocos fabricados são predominantemente constituídos de argila, podendo apresentar uma variedade de modelos e dimensões, geralmente assumindo a forma de paralelepípedos. Após a queima, sua coloração torna-se avermelhada, e eles possuem furos ao longo de seu comprimento.

Segundo Bauer (1994), o procedimento de elaboração de materiais, empregados na construção civil, feitos de cerâmica vermelha, passa por uma série de fases. Este processo produtivo se dá na seguinte ordem: extração do barro, preparo da matéria-prima, moldagem, secagem, cozimento e esfriamento. A etapa de queima, que pode ser considerada a principal na fabricação de materiais cerâmicos, é muito importante na produção do bloco. A argila, ao passar pela queima, sofre transformações estruturais devido ao aquecimento e esfriamento.

### 4.3.3 O processamento da madeira

O processamento para a produção de madeira serrada, compreende as etapas de desdobro, tratamento prévio e secagem da madeira. Nos itens a seguir serão apresentadas algumas das características mais gerais dessas etapas, buscando identificar também, como esses procedimentos acontecem na prática (GAVA, 2005).

#### 4.3.3.1 Desdobro

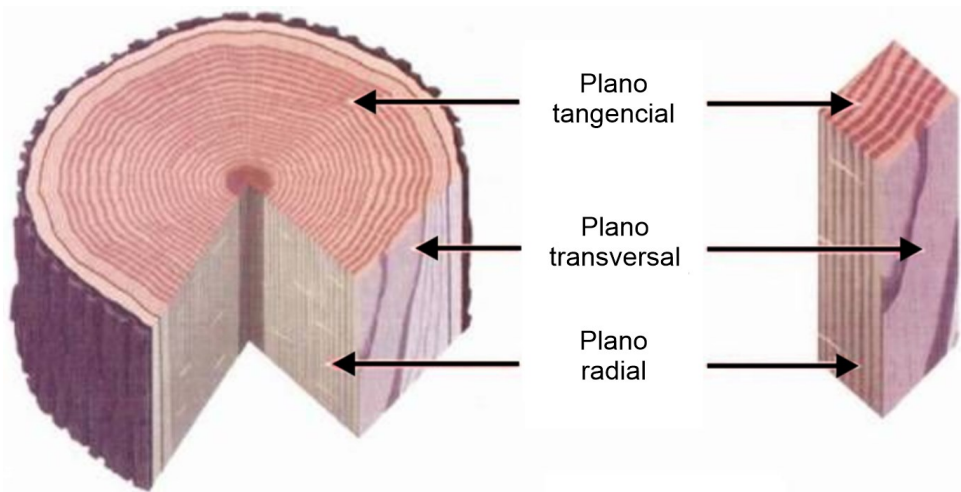
O desdobro consiste na subdivisão da tora em pranchas segundo um plano de corte previamente estabelecido, em função do tipo de produto que se deseja obter. Inicia-se com a atividade de movimentação das toras, através da sua organização no pátio da serraria e transporte para a serra onde se realizará o corte, que é o procedimento que define a espessura bruta das peças.

De acordo com Lima (1990), o corte está diretamente relacionado à qualidade final do lenho, proporcionando maior ou menor proporção de madeira juvenil; quanto da geometria das peças, proporcionando maior ou menor regularidade.

Segundo o mesmo autor, enquanto nas médias empresas a linha de produção é totalmente mecanizada, desde a movimentação das toras no pátio, nas pequenas empresas, o desdobro das toras é feito geralmente por meio de serras de fita, com avanço mecânico das toras e bitolamento manual.

De acordo com Santos et al (2000), o corte pode ser efetuado segundo três planos distintos: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial (Figura 15). O ideal é que se obtenha a maior quantidade possível de madeira radial, que apresenta menor possibilidade de defeitos de secagem, mas que no entanto, utiliza métodos para obtenção mais caros, com menor produção e rendimento (GAVA, 2005).

Figura 15 – Planos de corte da madeira



Fonte: Adaptado de Santos et al (2000)

A etapa de desdobro compreende ainda o refilo, que é o corte das laterais brutas definindo a seção transversal, e o destopo, que consiste na regularização dos comprimentos das peças serradas.

#### 4.3.3.2 Tratamento prévio

A madeira, por ser material orgânico tem a propriedade de se decompor sob a ação de agentes físico-químicos e biológicos. Por esse motivo, de uma maneira geral, após o processo de desdobro, especialmente quando a empresa utiliza processos de secagem ao ar livre, a madeira deve ser submetida a um tratamento preservativo, que geralmente é feito através da impregnação por substâncias químicas.

Nas pequenas serrarias esse tratamento é comumente efetuado através da imersão da peça, por alguns segundos, em soluções contendo sais hidrossolúveis com o objetivo principal de evitar o aparecimento de fungos e manchas de bolor e mofo, especialmente durante o processo de secagem.

Segundo Virtuhab (2023), a madeira precisa passar por processo de tratamento em autoclave para ficar imune ao ataque de cupins. De acordo com as especificações técnicas, a pressão de trabalho da autoclave é de 11,0 kgf/cm<sup>2</sup> e a temperatura é de

65° C. No tratamento em autoclave a madeira a ser tratada deverá estar descascada e no seu estado seco (20% a 25% de teor de umidade) e, a rigor, qualquer tipo de produto preservativo poderá ser utilizado (oleoso, oleosolúvel ou hidrossolúvel). Entretanto sempre haverá aquele tratamento mais adequado para uma finalidade de uso específico da madeira tratada e dos resultados do tratamento requeridos. Atualmente, todas as substâncias utilizadas para a preservação da madeira são altamente tóxicas não só aos insetos como também aos seres humanos (DE MEDEIROS DOMINGOS, 2022). Mesmo assim, é bastante comum nas pequenas empresas que os operários manuseiem a madeira impregnada com essas substâncias sem um mínimo de cuidado e equipamentos de proteção, colocando em risco a sua saúde. Existe uma dificuldade em reunir num mesmo produto todas as características desejáveis para um bom preservativo de madeira. Os do tipo hidrossolúvel são os mais utilizados, possuindo em sua formulação metais e várias substâncias químicas, como arsênio, cobre, cromo, flúor, boro e zinco, sendo que, cada uma dessas tem finalidades diferentes no preservativo em si, tais como: fixação, redução da corrosão e proteção a agentes xilófagos. No Brasil, os principais preservantes químicos utilizados para o tratamento da madeira são o creosoto e o arseniato de cobre cromatado (CCA).

Logo após passar por esse processo, a madeira é encaminhada para o pátio de secagem, o que de acordo com Lima (1990), limita ainda mais a ação da solução protetora, já que a mesma é passível de lixiviação.

#### 4.3.3.3 Secagem

Quando uma tora de pinus é desdobrada, seu teor de umidade é bastante alto, entre 120 e 200% com respeito à madeira seca (GAVA, 2005). Considerando que a madeira, especialmente a de pinus, é um material altamente higroscópico, a mesma está sujeita a alterações volumétricas, em função das constantes trocas de umidade com o ambiente.

Considerando ainda que por conta dessa característica, os componentes construtivos podem apresentar, depois de prontos, defeitos como por exemplo o

surgimento de frestas acima dos limites aceitáveis, caso em sua confecção sejam utilizadas peças de madeira ainda “verde”, é recomendável que os procedimentos de usinagem sejam realizados somente quando a madeira apresentar teores de umidade adequados.

Para tanto, torna-se necessário secar a madeira até que esta atinja a umidade de equilíbrio ao ar, que varia conforme o local. De acordo com Gava (2005), nas cidades onde o clima é mais seco, a umidade de equilíbrio situa-se entre 10 e 12%; nas de clima mais úmido, entre 15 e 18%.

A autora explica ainda que, no processo de secagem a madeira perde inicialmente a água livre, que é a água que se encontra nos espaços intra e intercelulares, e depois a água higroscópica, que é a água presente nas paredes celulares e encontra-se na faixa de 0 a 30% de umidade.

A fase mais crítica do processo ocorre no momento em que a madeira começa a perder a água higroscópica, pois é quando a madeira necessita de mais energia e maiores prazos de secagem. Devido às contrações volumétricas que ocorrem na madeira, favorecida pela perda de umidade, é nessa fase que ocorrem os principais defeitos e a madeira apresenta-se mais favorável ao ataque de fungos (GAVA, 2005). Os defeitos mais comuns que ocorrem nesta etapa são as rachaduras, fendilhamentos e empenamentos.

Uma correta execução da secagem da madeira reduz a incidência de defeitos, bem como sua susceptibilidade ao ataque de fungos e insetos e diminui o custo de transporte através da redução de peso. Além disso, melhoram as suas propriedades mecânicas e a sua trabalhabilidade, proporcionando um melhor acabamento e o condicionamento ao ambiente de uso uma vez que aumenta sua estabilidade dimensional (GAVA, 2005).

Existem basicamente dois processos de secagem: o natural, feito ao ar livre e o artificial, feito em estufas. Na secagem natural o processo está sujeito às variações de clima e temperatura, o que juntamente com a seção das peças, vai determinar o tempo necessário, que pode variar de 30 a 90 dias (GAVA, 2005).

Já no processo artificial, a secagem dura em média uma semana, contudo é necessário que se faça um rigoroso controle de temperatura e umidade, de forma a

reduzir as perdas por defeitos. Da mesma forma, devem-se empregar corretamente as técnicas de secagem ao ar livre. O ideal é que se obtenha uma secagem lenta e progressiva.

Gava (2005) já defendia a secagem artificial como forma de agregar valor à madeira de pinus. Segundo os autores, na região sul do Brasil, na década de 80 a secagem artificial era feita somente nas madeiras destinadas à exportação. Para a madeira destinada ao mercado interno, tanto a secagem quanto a estocagem eram feitas ao ar livre.

O mesmo ocorre ainda hoje, em relação às serrarias da região Sudoeste do Estado de São Paulo. De acordo com Gava (2005), nas pequenas empresas de processamento mecânico da madeira emprega-se, geralmente, o processo de secagem ao ar livre, por meio de varais ou entablicamento. Os processos de secagem por meio de estufas por sua vez, sendo mais onerosos, somente são encontrados nas médias e grandes empresas.

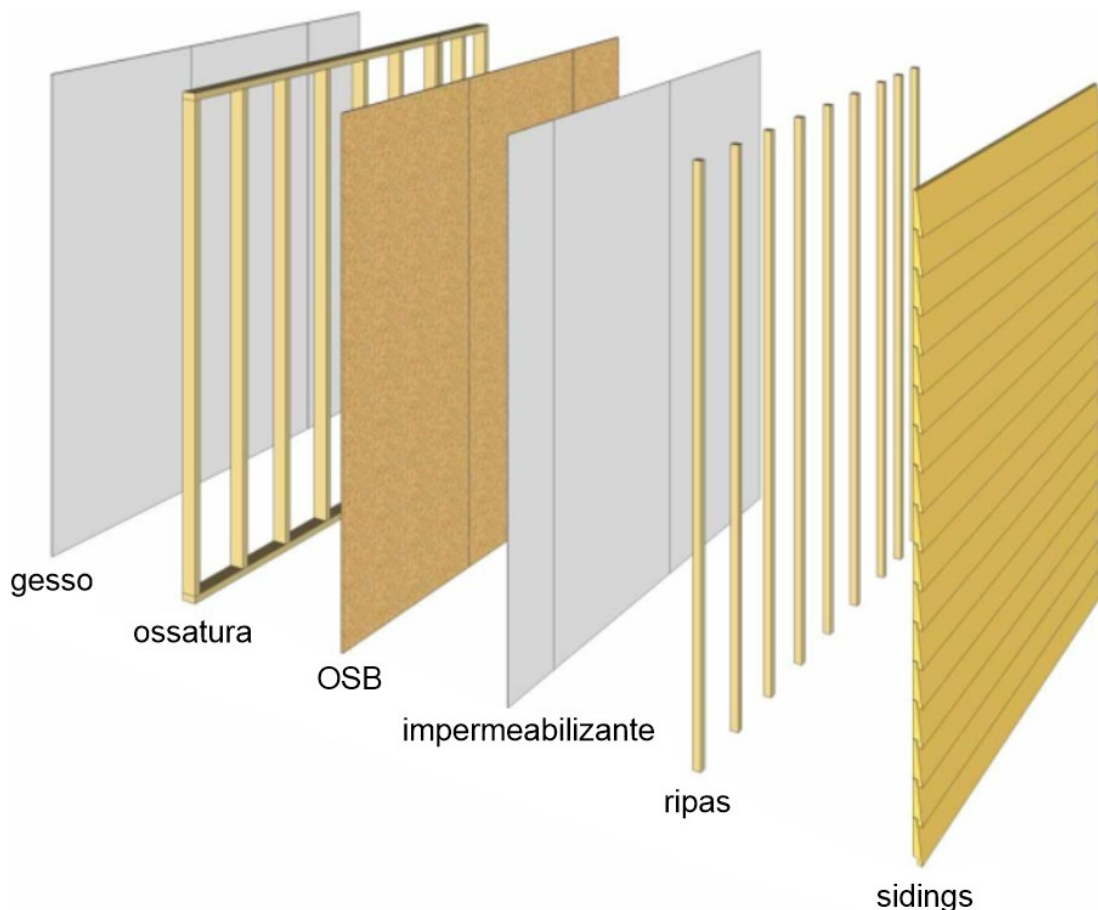
#### 4.3.4 Oriented Strand Board (OSB)

Segundo Shigue (2018), o painel OSB compõe a lista de painéis reconstituídos com fim estrutural, e se trata de um painel composto por finos fragmentos de fibra de madeira. A norma ABNT NBR 16143 (2013, p. 3) define painel OSB como chapa de partículas ou painel formada(o) por camadas de partículas ou feixes de fibras com resinas fenólicas, que são orientados em uma mesma direção e então prensados para sua consolidação.

De acordo com Shigue (2018), o OSB possui boas propriedades mecânicas, o que torna possível a sua aplicação na construção civil, por exemplo atuando como elemento de estabilização dos quadros estruturais no sistema construtivo wood frame e vedação, assim como na composição das vigas. O Wood Frame é um sistema composto por perfis de madeira que em conjunto com placas estruturais formam painéis estruturais capazes de resistir às cargas verticais (telhados e pavimentos), perpendiculares (ventos) e de corte, bem como de transmitir as cargas até a fundação (VIRTUHAB, 2023). Também são utilizados na construção de canteiros de obra e na

forma de tapumes. Os painéis OSB são fabricados de modo que os fragmentos maiores são dispostos nas partes externas dos painéis, com o seu sentido mais longo alinhado ao sentido de maior comprimento do painel. Na parte interior do painel as fibras menores são dispostas de forma aleatória. Os painéis OSB possuem resistência mecânica semelhante à de painéis compensados estruturais, tendo como vantagem o preço inferior (SHIGUE, 2018). No entanto, por ser composto de fragmentos relativamente grandes, a aparência de sua superfície não é uniforme, sendo possível observar facilmente a olho nu o entrelaçamento resultante da compactação de diversas pequenas lascas de madeira. A Figura 9 apresenta a configuração de uma parede externa de Wood-Frame. Enquanto a parede interna é constituída de madeira serrada tratada (ossatura) e gesso acartonado dos dois lados da ossatura, a parede externa pode ser constituída por gesso acartonado do lado interno da ossatura e OSB do seu lado externo, além dos demais elementos apresentados na Figura 16 (impermeabilizante, ripas e sidings).

Figura 16 - Elementos que compõem as paredes externas



Fonte: Adaptado de Espíndola (2009)



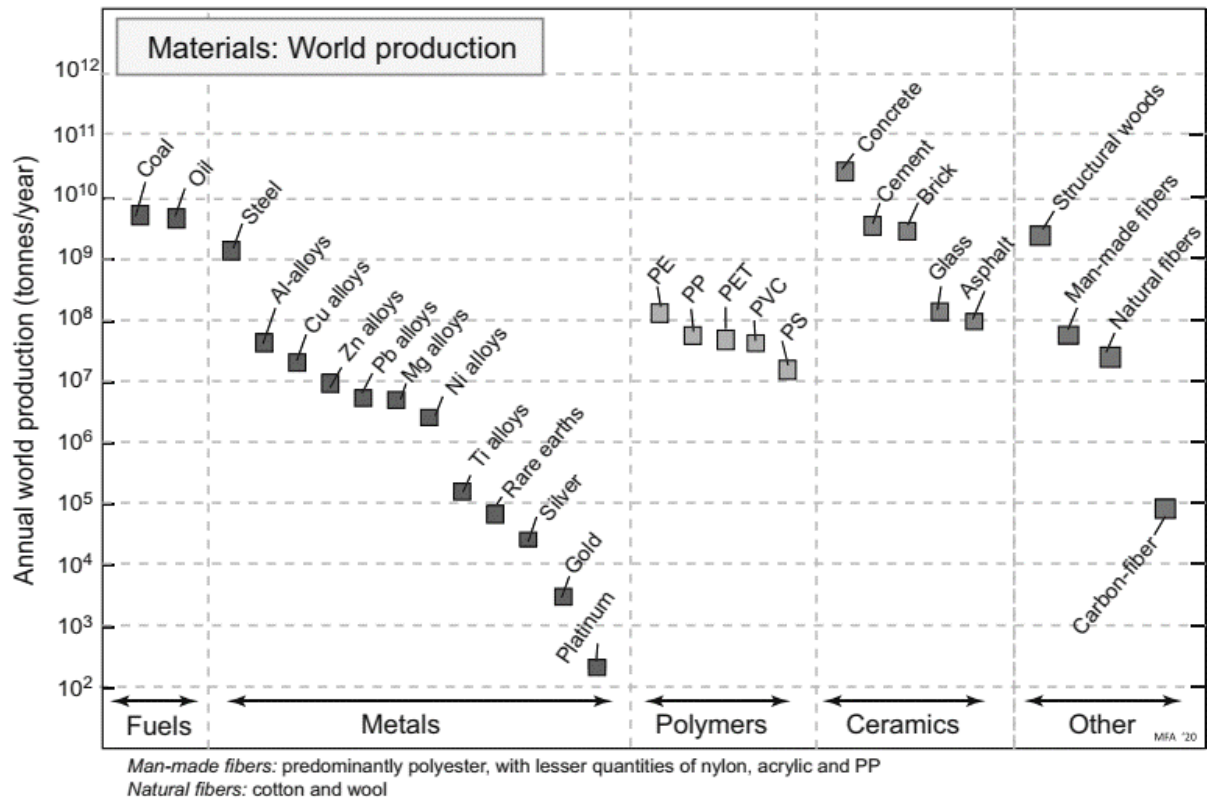
#### 4.4 PRODUÇÃO DOS MATERIAIS CONCRETO, MADEIRA E ALVENARIA

De acordo com Ashby (2020), em termos globais, são consumidos cerca de 20 bilhões ( $10^{10}$ ) de toneladas de materiais de engenharia por ano, uma média de 2,7 toneladas por pessoa. A Fig. 17 dá uma perspectiva: é um gráfico da produção primária dos materiais utilizados em maior quantidade. Tem algumas mensagens interessantes. Os realmente grandes, porém, são os materiais da indústria da construção. O aço é um deles, mas a produção de madeira para construção supera até mesmo a do aço quando medida em toneladas por ano (como no diagrama), e por ser 10 vezes mais leve, a madeira supera totalmente o aço quando medida em metros cúbicos por ano. Maior ainda é a produção de concreto, que supera a de todos os outros materiais combinados. Os outros grandes são asfalto (estradas), cimento (a maioria dos quais vai para concreto), tijolo e vidro.

Conforme a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), no Brasil, o setor de cimento terminou o ano de 2021 com um total de 64,7 milhões de toneladas de cimento vendidas. Conforme Shigue (2018), já a produtividade do setor de madeira no Brasil está em torno de 40 a 41  $m^3/há$ , com cerca de 7,8 milhões de hectares distribuídos por diversos estados de norte a sul do país. Quanto as indústrias de cerâmica vermelha, há 5.578 mil no Brasil, produzindo anualmente cerca de 5,9 bilhões de blocos cerâmicos (ANICER, 2024).

Na Figura 17, pode-se observar a alta produção dos materiais escolhidos para o presente estudo. Assim, o concreto ocupa o primeiro lugar entre todos os materiais, mais de  $10^{10}$  ton/ano, e a madeira estrutural o primeiro lugar na lista de “outros materiais”, superando as  $10^9$  ton/ano enquanto a alvenaria fica em terceiro lugar entre os materiais cerâmicos, ficando atrás apenas no concreto e do cimento, com  $10^9$  ton/ano.

Figura 17 - A produção mundial anual de 27 materiais dos quais depende a sociedade industrializada. A escala é logarítmica.



Autor: Ashby (2020)

## 4.5 DURABILIDADE DOS MATERIAIS

### 4.5.1 Durabilidade do concreto

Segundo Silvia (2019), a durabilidade do concreto é definida como sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataque químico, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração. Quando o concreto for usado para o que foi projetado, o mesmo irá durar e preservará sua forma, qualidade e capacidade. De acordo com Lopes, Oliveira e Cascudo (2022), no caso do sistema estrutural em concreto, a vida útil de projeto mínima é de 50 anos (considerando o menor nível de desempenho—nível inferior).

Conforme Silvia (2019), compreende-se que a combinação dos fatores ambientais como umidade, vento, chuva, temperatura, salinidade e agressividade

química e/ou biológica, conduzidos para a massa de concreto, da mesma maneira que a resposta dessa massa a tal ação, formam os principais elementos do processo de caracterização da durabilidade, sendo a água ou umidade tida como o principal elemento de todo o processo.

Na construção civil, o termo patologia é empregado quando o desempenho de uma estrutura, ou parte dela não está conforme planejado, seja na capacidade mecânica, funcional ou estética. São analisados também o tempo e condições de exposição, que remetem a associação de aspectos de durabilidade, vida útil e desempenho (SILVA apud ANDRADE E SILVA, 2005).

Dentre as principais causas e os problemas que podem acometer uma estrutura de concreto aparente, podemos citar algumas que prejudicam sua funcionalidade, a qualidade e sua durabilidade, destacando-se: fissuras, corrosão, carbonatação.

#### 4.5.1.1 Fissuras

São aberturas (Fig. 18) que acontecem no concreto armado sendo o caminho mais rápido de penetração dos agentes agressivos até a armadura (AMORIN, 2010).

Figura 18 - Fissura vertical em pilar de concreto aparente



Fonte: Amorin (2010)

Conforme descrito em Amorin (2010), os fatores que favorecem o aparecimento de fissuras em obras de construção civil são:

- Movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade;
- Atuação de sobrecargas ou concentração de tensões;
- Deformidade excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciados das fundações;
- Retração de produtos à base de ligantes hidráulicos;
- Alterações químicas de materiais de construção

#### 4.5.1.2 Carbonatação

É o processo físico-químico de neutralização da fase líquida intersticial do concreto, saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados. O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), os óxidos de enxofre ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ), e o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), presentes na atmosfera desencadeiam processo de reações químicas em contato com a estrutura. O processo recebe o nome de carbonatação devido à maior incidência de  $\text{CO}_2$  nas reações de neutralização.

A carbonatação reduz o pH do concreto que é acima de 12,5 para níveis abaixo de 9,5 e com isso, o concreto perde a camada protetora que envolve as armaduras de aço. O avanço acontece a partir da superfície para o interior da peça de concreto, quando atinge as armaduras gera sua despassivação, ou seja, o início da corrosão das armaduras.

A velocidade e profundidade da carbonatação dependem do meio ambiente (concentração de  $\text{CO}_2$ , chuva ácida, umidade relativa do ar, temperatura), das características do concreto endurecido (composição química do cimento, traço do concreto, execução, falhas, qualidade da cura).

#### 4.5.1.3 Corrosão

Conforme descrito em Amorin (2010), o concreto proporciona ao aço uma camada protetora ou passivadora, forma uma película em volta do aço devido à alta alcalinidade, pH acima de 12,5 sendo que esta película possui baixa condutividade iônica, baixa solubilidade, boa aderência ao aço, caracteriza-se por ser constituída de óxidos. Quando o pH fica abaixo de 11 a película pode ser destruída, proporcionando o aparecimento da corrosão. O aço é considerado passivo quando resiste à corrosão em meio onde existe tendência de o ferro passar do estado metálico para o iônico.

Nota-se que, além da formação da película passivante, o concreto pode reduzir a tendência ao processo de corrosão se for empregado de forma a ter baixa permeabilidade, o que pode minimizar a penetração de substâncias que provoquem a corrosão. A baixa permeabilidade eleva a resistividade elétrica do concreto, impedindo as correntes corrosivas eletroquímicas.

O início da corrosão ocorre após um período de tempo exposto às condições de neutralização da alcalinidade ou penetração de substâncias agressivas no concreto que envolve o aço, dependendo da concentração das substâncias que desencadeiam o processo de corrosão do aço, (AMORIN 2010).

Das substâncias presentes no ambiente que são agressivas à estrutura de concreto podemos destacar:  $\text{Cl}^-$  (cloretos),  $\text{S}^{2-}$  (sulfetos),  $\text{CO}_2$  (dióxido de carbono),  $\text{NO}_3^-$  (nitratos),  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$  (óxidos de enxofre) e fuligem; estas substâncias podem estar contidas no concreto ou serem absorvidas pelo concreto. Nitratos e óxidos de enxofre são os causadores da chuva ácida.

No processo de corrosão do aço ocorre à formação de óxidos e hidróxidos aumentando o volume, exercendo tensões de expansões no concreto e conseqüentemente, provocando as fissuras na estrutura, facilitando a penetração de agentes agressivos (Figura 19).

Figura 19 - Corrosão da armadura.



Fonte: Amorin (2010)

#### 4.5.2 Durabilidade da madeira

De acordo com Campos (2002), para garantir a durabilidade de uma estrutura é essencial o conhecimento da cadeia produtiva da madeira utilizada, considerando-se a importância em cada etapa do processo de produção (derrubada, retirada da árvore da floresta, transporte, armazenamento, desdobro, secagem, usinagem, pré-fabricação e aplicação). Não se pode afirmar que uma peça de madeira é durável ou pouco durável, sem se precisarem suas condições de exposição, simultaneamente aos riscos de deterioração presentes. Nos primeiros momentos de concepção do projeto, devem-se considerar as condições de exposição da estrutura. No detalhamento, é imprescindível que o projetista considere as condições de exposição relativas ao solo, à umidade e às intempéries.

Brito (2014) descreve que a deterioração da madeira geralmente é originária em uma das três categorias principais: biológicas, físicas e químicas. O autor descreve que os danos detectados em uma determinada estrutura de madeira podem ter três

principais origens: agentes bióticos, agentes abióticos e oriundos de anomalias estruturais.

Complementa-se que as manifestações patológicas em estruturas de madeira oriundas de anomalias estruturais no Brasil, também podem ser originárias de três principais causas: anomalias na concepção estrutural, falhas durante a execução, ausência e/ou falhas em manutenções. Diante da grande quantidade de fatores apresentados por renomados pesquisadores, organizam-se sucintamente na Tabela 5 os principais agentes de deterioração da madeira.

Tabela 6 – principais agentes de deterioração da madeira

(continua)

| Agentes de Deteorização da Madeira |           |   |
|------------------------------------|-----------|---|
| <b>Agentes bióticos</b>            | Bactérias |   |
|                                    | Fungos    | Fungos manchadores                              |
|                                    |           | Fungos emboladores                              |
|                                    |           | Fungos apodrecedores                            |
|                                    |           | Fungos de podridão parda ou cúbica              |
|                                    |           | Fungos de podridão branca ou fibrosa            |
|                                    |           | Fungos de podridão mole                         |
|                                    | Insetos   | Térmitas isoptas (Cupins-de-madeira)            |
|                                    |           | Térmitas-de-madeira-seca                        |
|                                    |           | Térmitas-de-madeira-úmida                       |
|                                    |           | Térmitas-subterrâneos                           |
|                                    |           | Térmitas-epígeos                                |
|                                    |           | Térmitas-arborícolas                            |
|                                    |           | Brocas-de-madeira                               |
|                                    |           | Brocas que atacam árvores vivas                 |
|                                    |           | Brocas que infestam árvores recém-abatidas      |
|                                    |           | Brocas que infestam a madeira durante a secagem |
|                                    |           | Brocas de madeira seca                          |
|                                    |           | Formigas-carpinteiras                           |
|                                    |           | Abelhas-carpinteiras                            |

|                   |  |  |
|-------------------|--|--|
|                   | Perfuradores marinhos                  | Moluscos                                   |
|                   |  | Teredinidae                                |
|                   |  | Crustáceos                                 |
|                   |  | Pholadidae                                 |
|                   |  | Limnoria                                   |
|                   |  | Sphaeroma telebrans                        |
| Agentes abióticos | Agentes físicos                        | Patologias de origem estrutural            |
|                   |  | Instabilidade                              |
|                   |  | Remoção de elementos estruturais           |
|                   |  | Fraturas incipientes                       |
|                   |  | Movimentos de nós e distorções             |
|                   |  | Deformações, deslocamentos e flechas       |
|                   |  | Presença de defeitos naturais              |
|                   |  | Danos mecânicos                            |
|                   |  | Danos por animais                          |
|                   |  | Danos por vandalismo                       |
|                   | Agentes químicos                       | Corrosão em ligantes                       |
|                   |  | Efeito da corrosão da madeira              |
|                   | Agentes atmosféricos ou Meteorológicos | Ação da luz ultravioleta                   |
|                   |  | Intemperismo                               |
|                   |  | Danos por inchamento e retração da madeira |
|                   |  | Ações de vento nas estruturas              |
|                   | Danos devido ao fogo                   | Raios atmosféricos                         |
|                   |  |  |

Fonte: Brito (2014)

Em relação ao Wood-Frame, Prazeres, Alberti e Arakawa (2022) afirmam que devido ao seu design flexível possuir uma grande variedade de revestimento e materiais, é um sistema de relativamente alta durabilidade, com vida útil estimada em 50 anos. De acordo com Espíndola, para aumentar e garantir a sua durabilidade foi preponderante a utilização de madeira beneficiada de pinus atrelada ao seu tratamento químico com CCA em autoclave. Adalberto e Filho (2009) evidenciam que



a durabilidade da madeira passou a ser alcançada através de preservação química de toda a seção transversal das peças.

#### **4.5.3 Durabilidade da alvenaria de blocos cerâmicos**

Segundo Gomes e Lacerda (2014), a alvenaria possui grande durabilidade comparada a outros materiais, sendo responsável pelas propriedades de resistência à umidade e movimentos térmicos, resistência à pressão do vento, a boa estanqueidade de água, resistência mecânica ao fogo e segurança para usuários e ocupantes. As antigas catedrais europeias, são exemplos da habilidade empregada na construção convencional. Essas estruturas centenárias continuam a desafiar as intempéries, destacando a durabilidade e longevidade que os métodos tradicionais podem proporcionar (ALISSON, 2023). Gonçalves e Lacerda (2022) afirma que uma das vantagens que mais se destacam no meio da alvenaria é boa durabilidade, chegando a cem anos, sem manutenção e proteção.

### **4.6 MANUTENÇÃO**

#### **4.6.1 Manutenção do concreto**

De acordo com Villanueva Favretto e Rosa (2023), a realização de manutenção tem como consequência direta o prolongamento da durabilidade e da vida útil da edificação. Uma estratégia de manutenção exige, em princípio, um programa de inspeções sistemáticas, que levem a identificar a necessidade, o momento correto e a extensão da intervenção em uma estrutura. Desta forma, as inspeções constituem parte fundamental do processo de manutenção, devendo considerar os aspectos de segurança, funcionalidade e estética, que são grandemente influenciados pela relação da estrutura com as condições ambientais e seu tempo de utilização.

Durante a inspeção, para a elaboração de diagnóstico com a determinação das possíveis causas de dano e dos fatores que influenciam os danos, podem ser necessários, além da inspeção visual, alguns ensaios que possam direcionar melhor os diagnósticos.

#### 4.6.1.1 Tratamento de fissuras por injeção, selagem e costura

A primeira etapa do processo de reparo de fissuras em concreto é a identificação da causa, pois se apenas tratar a fissura e não o seu agente causador, a medida acaba se tornando paliativa e não há solução para o problema. Além da causa, o tratamento de fissuras depende de sua profundidade, sendo que nas fissuras mais superficiais há a possibilidade de tratamentos mais simplificados.

Segundo Vieira (2017) se a causa da fissura estiver ligada a agressividade do meio há ainda a necessidade da criação de uma barreira ao transporte nocivo de líquidos e gases para dentro das fissuras, impedindo a contaminação do concreto e até das armaduras.

Para tratar apenas as fissuras tem-se as seguintes opções: injeção de fissuras, selagem de fissuras e costura de fissuras.

De acordo com Vieira (2017), a técnica de injeção de fissuras garante o seu preenchimento, sendo que nas passivas, aquelas que não se desenvolvem com o tempo, indicam-se materiais rígidos como epóxi ou grouts, e para fissuras ativas injetam-se resinas acrílicas e poliuretânicas.

Conforme esse autor, a selagem é utilizada para vedação de fissuras ativas pela utilização de um material necessariamente aderente, resistente mecânica e quimicamente, não retrátil e com módulo de elasticidade suficiente para adaptar-se à deformação da fenda.

Ele também explica que a técnica de costura é utilizada em fissuras cuja causa se encontra na capacidade resistente. Dessa forma, é utilizado um reforço na estrutura por armaduras a fim de aumentar a resistência à tração. Em função do seu aspecto e propósito, essas armaduras são chamadas grampos.

#### 4.6.1.2 Tratamento da Carbonatação

Em casos de estruturas onde a carbonatação se encontra avançada, propiciando o início da despassivação e corrosão da armadura, as técnicas mais empregadas para que seja realizada a reparação da estrutura antes do processo de corrosão iniciar ou ainda na fase inicial, são as técnicas de reparação convencional e o procedimento de realcalinização do concreto (RAMOS, 2019).

A reparação convencional consiste na retirada da camada de cobrimento do aço que se encontre carbonatada e posteriormente substituída por uma nova camada protetora de concreto ou a utilização de argamassa polimérica.

#### 4.6.1.3 Tratamento da Corrosão

O procedimento mais comum para a recuperação de estruturas de concreto armado sujeitas à corrosão envolve a remoção dos materiais das áreas deterioradas e a substituição por material novo, sendo essa metodologia largamente utilizada no mundo todo (ZAGO, 2021). Porém, para que esse reparo convencional tenha uma longa durabilidade, é necessário remover o material contaminado em sua totalidade, sendo mais indicada para reparos localizados. Na maioria dos casos, mesmo que a estrutura não apresente manifestações patológicas visíveis, há trechos deteriorados internamente, em locais aparentemente são. A reparação de áreas com danos visíveis pode começar a atuar como cátodo frente àquelas regiões adjacentes que permanecerem sem reparo, acelerando o processo de deterioração dessas.

#### **4.6.2 Manutenção da madeira**

Adalberto e Filho (2009) destacam que poucos anos de exposição seriam suficientes para o aparecimento de sintomas de deterioração da madeira, devido à ausência de preservativos para impedir a proliferação de fungos.

Contudo, o autor também escreve que as construções de madeira têm a grande vantagem de que praticamente qualquer elemento pode ser reparado ou substituído, condição impensável para estruturas de concreto. Entretanto, como uma simples troca de peça pode constituir uma árdua tarefa, é preferível evitar a reposição através da proteção dos elementos estruturais mais importantes. É a isso que se refere o adequado detalhamento de projeto.

Uma questão grave para solucionar é o problema do fogo. Um incêndio pode ter diferentes causas: instalações elétricas mal colocadas, descargas atmosféricas, proximidade de componentes construtivos da obra com locais de incidência de fogo como, por exemplo, fogão, lareira e churrasqueira. Esse tipo de fatalidade, nas obras de madeira, está geralmente relacionado ao descuido que pode acontecer em qualquer obra. Salienta-se que existem dispositivos técnicos construtivos que impedem a propagação do fogo, como películas antifogo, além de soluções de projetos para obras de madeira que permitam uma independência das partes de uma construção (muito usada nos EUA para obras em painéis de madeira).

#### 4.6.2.1 Métodos de preservação da madeira

Segundo Castro e Guimarães (2018), o método de tratamento da madeira pode ser dividido em duas categorias. A primeira, denominada passiva, que se baseia na propriedade da madeira de absorver o preservante, sendo a quantidade de produto absorvido irregular e não controlável. Nessa primeira classe de tratamento, incluem-se os tratamentos de pincelagem, aspersão, pulverização e imersão. A segunda classe, a ativa, baseia-se em métodos artificiais (basicamente vácuo para remover a seiva e pressão para introduzir o preservante), permitindo um maior controle da quantidade de produto absorvido pela madeira. Esse tipo de sistema inclui todos os métodos que utilizam a autoclave (SILVA, 2008).

Segundo Souza e Demenigui (2016), o alcatrão é um subproduto da carbonização das matérias-primas: madeira, turfa, lignito, xisto betuminoso e hulha. O creosoto de alcatrão do carvão de pedra, seu destilado, é o mais tradicional produto de tratamento de madeira de todos os tempos. O creosoto de madeira é o destilado

do alcatrão ou breu de madeira. Este é o mais antigo preservante conhecido pelo homem. No Egito antigo foi usado na conservação de cadáveres.

O pentaclorofenol é outro preservante da madeira, sendo obtido por cloração direta do fenol catalisada pelo Cloreto de alumínio ( $AlCl_3$ ). O CCB (Borato de Cobre Cromatado) é uma mistura de sulfato de cobre, ácido bórico e bicromato de potássio, que pode ser misturado de modo artesanal, aplicado por imersão ou em autoclave.

Ainda segundo Souza e Demenigui (2016), O CCA (arseniato de cobre cromatado) é um sal hidrossolúvel muito eficiente e usado desde 1930. Basicamente, o arsênio é o agente inseticida, o cobre, fungicida, e o cromo, o elemento fixador. Atualmente é o preservante hidrossolúvel mais utilizado em todo o mundo, normalmente aplicado em autoclave.

No Brasil, os principais preservantes químicos utilizados para o tratamento da madeira são o creosoto e o arseniato de cobre cromatado (CCA). Segundo Fagundes (2003), a utilização do creosoto tem diminuído muito em função do aspecto característico escuro e oleoso causado na madeira. Já a madeira tratada com CCA, vem sendo cada vez mais utilizada para fins estruturais; porém este produto vem gerando muita controvérsia em vários países que ainda o utilizam, pois estudos mostram que a exposição aos componentes do CCA – Cobre, Cromo e Arsênico – pode causar sérios problemas a saúde dos seres humanos e ao meio ambiente (FAGUNDES, 2003).

Kats e Salem (2005) citam alguns estudos que mostram acréscimo na taxa de mortalidade por câncer entre carpinteiros expostos à madeira tratada com CCA devido ao excessivo aumento nos casos de câncer de pulmão e leucemia. Segundo Thomasson et al. (2006), o contato a longo prazo com o arsênio pode afetar o fígado e provocar queda de cabelos e unhas, anemia, dermatites, tumores malignos e defeitos genéticos.

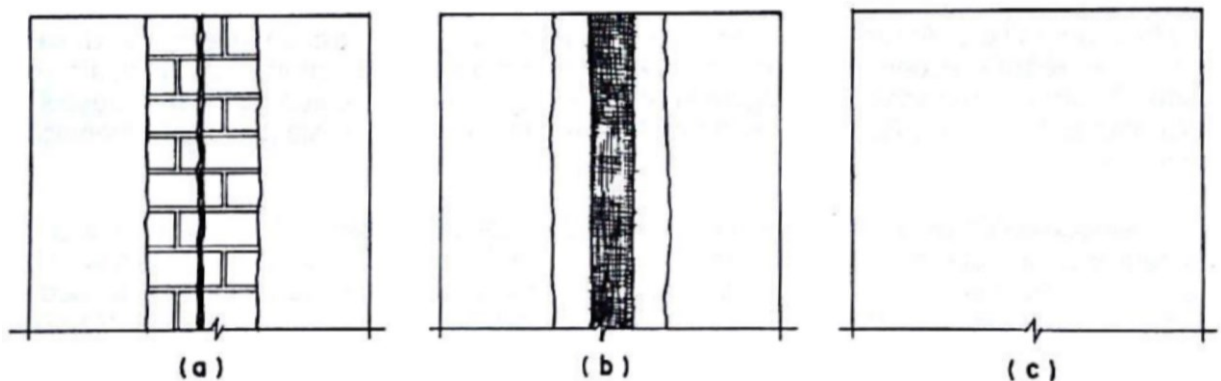
Segundo Souza e Demenigui e (2017), alguns fabricantes de produtos químicos já oferecem alternativas para o CCA, como por exemplo, o Borato de Cobre Cromatado (CCB) e o composto chamado Cobre Alcalino/Arseniato de Cobre Amoniacal (ACA). Porém, as normas técnicas que regulamentam a utilização do CCA no Brasil ainda o consideram como um produto seguro e que fornece grande durabilidade (FAGUNDES, 2003). No entanto, o mercado para este produto vem

sendo limitado, como ocorre na maioria dos países da Comunidade Europeia, onde o CCA já foi banido há algum tempo.

#### 4.6.3 Manutenção da alvenaria de blocos cerâmicos

Segundo Thomaz (2020), os destacamentos entre pilares e paredes poderão ser recuperados mediante a inserção de material flexível no encontro parede/pilar. Nas paredes revestidas, no caso de destacamentos provocados por retração da alvenaria, poder-se-á empregar uma tela metálica leve, inserida na nova argamassa a ser aplicada e transpassando o pilar aproximadamente 20 cm para cada lado. Neste tipo de recuperação a tela poderá ser fixada na alvenaria com o emprego de pregos ou cravos de metal e deverá estar medianamente distendida; a alvenaria e o pilar deverão ser chapiscados após a colocação da tela, e a argamassa de recuperação deverá ter baixo módulo de deformação (traço 1:2:9 em volume). No caso de fissuras provocadas por movimentações iniciais acentuadas, cuja variação na abertura passa a ser vinculada unicamente a movimentações higrotérmicas da própria parede (Figura 20-a), diversos autores sugerem a utilização de tela metálica ou à interseção de uma bandagem (Figura 20-b) que propicie a dessolidarização entre o revestimento e a parede na região da fissura (Figura 20-c). A Figura 20 ilustra um exemplo de recuperação para os casos anteriores.

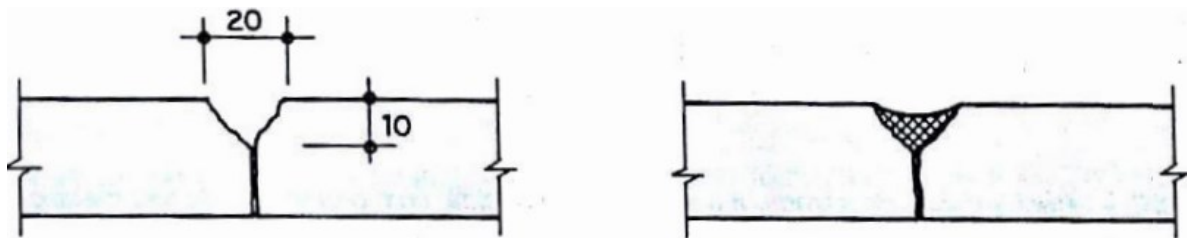
Figura 20 – Recuperação de fissuras em alvenaria



Fonte: Thomaz (2020)

A recuperação de fissuras ativas, de acordo com Thomaz (2020), desde que os movimentos não sejam muito pronunciados, poderá também ser tentada com o próprio sistema de pintura da parede. Nesse caso, a pintura deve ser reforçada com uma finíssima tela de náilon ou polipropileno, com aproximadamente 10 cm de largura, requerendo-se a aplicação de seis a oito demãos de tinta elástica, à base de resina acrílica, poliuretânica etc. Sempre que possível, entretanto, a recuperação de trincas ativas deve ser efetuada com selantes flexíveis (poliuretano, silicone etc.), abrindo-se na região da trinca um sulco com formato de V, com aproximadamente 20 mm de largura e 10 mm de profundidade, conforme a Figura 21.

Figura 21 – Recuperação de fissuras ativas com selante flexível



Fonte: Thomaz (2020)

Nas fissuras provocadas por enfraquecimento localizado na parede, seja pela presença de aberturas de portas, janelas ou pela inserção de tubulações, bem como nas fissuras em paredes por movimentações térmicas de lajes de cobertura ou pelo sobrecarregamento oriundo da deflexão de componentes estruturais, qualquer uma das soluções anteriormente apontadas pode ser empregada na recuperação da parede trincada (THOMAZ, 2020).

#### 4.7 CONFORTO TÉRMICO, ACÚSTICO E RESISTÊNCIA AO FOGO

É preciso garantir a satisfação das pessoas que vão frequentar a habitação de interesse social, permitindo que se sintam termicamente confortáveis. Além disso, o conforto térmico melhora o desempenho em atividades intelectuais, manuais e

perceptivas, e contribui para a conservação de energia, evitando desperdícios com aquecimento e refrigeração de modo desnecessário.

Por outro lado, é possível definir conforto acústico como uma sensação auditiva de bem-estar para executar as atividades necessárias em um determinado ambiente. Por exemplo, uma habitação de interesse social que proporciona conforto acústico permite desenvolver uma atividade sem ter desvios de foco e atenção provocados por ruídos excessivos sejam eles internos ou externos.

Já os objetivos fundamentais da segurança contra incêndio são minimizar o risco à vida e reduzir a perda patrimonial.

Segundo Roza e Favretto (2023), em uma análise comparativa de desempenho entre sistemas, o Wood-Frame obteve o pior desempenho no quesito resistência ao fogo. Apesar disso, segundo os autores trata-se de uma obra com melhor conforto térmico e acústico. Quanto aos demais sistemas, eles apresentaram melhor resistência ao fogo, mas desempenho térmico e acústico inferior.

#### 4.8 DESPERDÍCIO E ENTULHO

A indústria da construção civil é responsável globalmente por aproximadamente 40% da geração de resíduos sólidos. (CBCS, 2013). A preocupação com a sustentabilidade e as medidas de mitigação dos impactos ambientais no setor da construção civil, que consistem principalmente na redução dos resíduos gerados, são destaque no cenário nacional. (MMA, 2014).

Segundo Mass e Tavares (2017), na construção civil brasileira, há predominância do uso de processos essencialmente artesanais, com baixa produtividade e muito desperdício, como a alvenaria convencional. De acordo com os autores, há elevado consumo de matéria-prima, alarmantes índices de perdas e desperdícios, e conseqüente grande geração de resíduos de construção civil (RCC). Gomes e Lacerda (2014), relatam as desvantagens do uso da alvenaria como, principalmente, a desconstrução (quebra de paredes para reparos), que gera desperdício e aumento significativo dos resíduos da construção. De acordo com os mesmos autores, uma desvantagem da alvenaria é o retrabalho, especialmente no



que diz respeito às passagens de tubulações hidráulicas e elétricas. Outras desvantagens são a necessidade de revestimentos adicionais para se buscar uma textura lisa devido a tortuosidade das paredes.

Em relação ao Wood-Frame, Gomes e Lacerda (2014) ressaltam que: a geração de uma obra é relativamente com menos resíduos. A produção de resíduos para a construção de uma residência de 37,8m<sup>2</sup> de padrão popular, em ambos os sistemas construtivos (wood frame e alvenaria convencional), foi avaliada por Santos et al. (2016). Em relação à geração de resíduos, a unidade habitacional avaliada produziu um volume de 0,65m<sup>3</sup> no sistema Wood frame, enquanto a unidade construída pelo método convencional gerou 6,50m<sup>3</sup> de resíduos.

Segundo Zeule e Serra, a utilização da industrialização contribui significativamente para reduzir os resíduos gerados em canteiro de obras. Estes autores efetuaram uma comparação entre duas obras, sendo a Obra A em estrutura de concreto armado, moldado in loco, com vedação em blocos cerâmicos, e a Obra B em painel pré-moldado de concreto. Durante a execução das duas obras, verificaram o quantitativo de resíduos gerados. A Obra B apresentou padrão superior à Obra A, por considerar sistema construtivo sem perdas na vedação, sem necessidade de reboco argamassado e com definição antecipada e compatibilizada em projeto para as instalações prediais. Ainda segundo eles, com o desenvolvimento de um sistema inovador, como o de Paredes de Concreto, foi possível obter redução de 81% na geração dos resíduos, se comparados com o processo tradicional.

## 4.9 RECICLAGEM E DESCARTE

### 4.9.1 Reciclagem e descarte do concreto

A porcentagem de agregado que constitui o concreto gira em torno de 60 a 80% de sua composição. A questão que envolve a utilização de agregados naturais é que estes têm fonte finita, porém são preferidos por conta da facilidade de se encontrar o material à venda e pelo baixo valor de mercado, além de proporcionar um produto final de boa qualidade nos concretos produzidos.

Unindo os fatores de que a reserva natural de fontes de agregados é finita, e que a cada dia que passa a quantidade de resíduos da construção disposta no planeta aumenta, reciclar os resíduos de construção civil de Classe A (NÓBREGA, 2022), transformando-os em agregados, se tornou uma alternativa para minimizar o impacto ambiental causado pelas ações humanas na extração de matéria-prima e pela geração de resíduos. A reciclagem tem se tornado cada vez mais visível, por necessidade de preservação ambiental, e também por motivações políticas.

Os resíduos da construção civil são extremamente heterogêneos, o que dificulta seu processo de reciclagem e reutilização na construção civil, principalmente quanto à sua utilização na produção de concretos. Dependendo da amostra de material, sua composição pode sofrer grande variabilidade em função da fonte de origem ou do tipo de construção, prejudicando seu aproveitamento pelas indústrias (NÓBREGA, 2022).

#### **4.9.2 Reciclagem e descarte da madeira**

Toda madeira tratada tem um ciclo de vida em serviço, e ao fim desse período existem as seguintes opções: a reutilização ou destinação final. A primeira gera um impacto positivo na conservação de florestas, diminuição do uso de aterros sanitários e amplia as oportunidades no ramo da reciclagem (CANDATEN apud LEPAGE, 2010). Tanto a reutilização quanto a reciclagem do material tratado que está depositado em pátios, são promissoras.

Dentre as formas de destinação final comumente aplicadas aos resíduos de madeira tratada, estão os aterros industriais e as tecnologias de tratamento térmico, sendo que essa segunda apresenta estudos muito incipientes. No Brasil, os resíduos de madeira tratada são classificados como perigosos Classe 1, conforme a norma ABNT-NBR 10.004 (2004), por isso, é necessária atenção no momento de descartar esse material. A respeito dos aterros industriais, esses seguem a normatização determinada pela ABNT-NBR 10157 (ABNT, 1987), que trata da disposição de resíduos considerados perigosos no Brasil. Essa forma de descarte do material é adequada a curto prazo (CANDATEN, 2021), visto que, estudos que apresentem

outras maneiras de depositar o material contaminado de metais pesados ainda são poucos.

Com relação às tecnologias de tratamento térmico, ou seja, a incineração da madeira tratada com Arseniato de Cobre Cromatado - CCA, aparece como uma opção e descarte para esse tipo de material, porém, a legislação deve ser observada, principalmente devido a emissão dos gases tóxicos provenientes da volatilização dos metais pesados que compõem o CCA, sendo que no Brasil, existem poucos incineradores que possuem o licenciamento adequado para essa prática (CANDATEN, 2021).

De maneira geral, os resíduos de madeira tratada atualmente seguem os seguintes destinos: disposição em aterros, reutilização em decks e demais produtos de menor dimensão, geração de outros produtos particulados, aplicação de tratamento curativo visando aumentar a vida útil da madeira em campo e pirólise, ou seja, o processo “Chartherm”. Mesmo que haja uma lixiviação dos metais do material ao longo do tempo em serviço, uma quantidade considerável de Cobre, Cromo e Arsênio ficam no produto até o final de sua vida útil (CANDATEN, 2021).

#### **4.9.3 Reciclagem e descarte dos blocos cerâmicos**

De acordo com e Matuti e Santana (2019), dados demonstram que há déficits no reaproveitamento de resíduos de blocos cerâmicos. Além disso, a gestão correta de resíduos de construção tanto protege a saúde pública como abre caminho para a fabricação de novos materiais para o setor da construção civil.

Segundo Matuti e Santana (2019), as empresas são capazes de fazer o manejo correto do resíduo com a implementação de um sistema de gestão eficaz que é baseado em programas específicos e treinamentos. A reciclagem de resíduo de construção civil como agregado para ser misturado no material é a alternativa mais difundida e aceita no meio técnico por possuir estudos mais consolidados. Os resíduos de blocos cerâmicos apresentam grande potencial para sua reutilização, gerando novos materiais ou agregados, também sendo aplicados na composição de materiais já existentes para melhorar sua qualidade, durabilidade ou resistência. A

reutilização feita conforme as normas, gera grande benefício ao meio ambiente, diminuindo a quantidade de resíduos que seriam descartados de maneira incorreta que iriam para na natureza ou até mesmo na zona urbana.

Conforme Matuti e Santana (2019), o aproveitamento dos resíduos de blocos cerâmicos da construção civil é viável e contribui para o futuro sustentável do mundo. Aproveitar os resíduos reduz gastos na compra de novos insumos, reduz o volume de resíduos e contribui para a produção de insumos mais baratos. A sustentabilidade, tão almejada pela sociedade atual, certamente só será atingida se a construção civil, umas das principais consumidora de matéria-prima e geradora de resíduos, tornar-se sustentável. A correta gestão dos seus resíduos já é um importante passo para a realização disto.

#### 4.10 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Para Gomes e Lacerda (2014), a construção em alvenaria apresenta diversas vantagens, tais como boas estanqueidades à água, resistência mecânica ao fogo, e durabilidade superior quando comparada a outros materiais. A facilidade na produção, com montagem in loco, e o baixo custo dos componentes contribuem para sua atratividade. Além disso, a alvenaria goza de excelente aceitação tanto por parte dos usuários quanto da sociedade brasileira. Entretanto, segundo os mesmos autores, é importante considerar as desvantagens associadas à alvenaria. A execução da obra pode ser mais demorada, resultando em baixa produtividade. Além disso, a dependência do domínio técnico centrado na mão de obra executora pode representar um desafio, especialmente em contextos nos quais há escassez de trabalhadores qualificados. A obtenção de texturas lisas pode exigir materiais adicionais, o que impacta nos custos. Ademais, a desconstrução, necessária para reparos, pode ser complexa, gerando desperdício e aumentando a quantidade de resíduos da construção.

Gomes e Lacerda (2014), também ressaltam que as vantagens do Wood-Frame são: a geração de uma obra limpa e seca (não utilização de água no processo) com menos resíduos; a pré-construção em ambiente industrializado, reduzindo o

tempo de obra; utilização de madeira de reflorestamento, sendo a única matéria-prima renovável na construção civil; estabilidade do preço da matéria-prima (madeira); conforto térmico e acústico ao usuário e resistência da construção. O autor destaca também algumas desvantagens do sistema: necessidade de mão de obra especializada para a construção da edificação; baixa oferta de mão de obra especializada; preconceito da sociedade em relação a casas de madeira; altura máxima de cinco pavimentos. Da mesma forma, Deeke (2009) descreve que a principal desvantagem é a limitação de fornecedores no Brasil, tendo uma produção de matéria-prima restrita para o sistema construtivo. Uma desvantagem importante é que no Brasil, os resíduos de madeira tratada são classificados como perigosos Classe 1, conforme a norma ABNT-NBR 10.004 (2004), por isso, é necessária atenção no momento de descartar esse material.

De acordo com a Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), a abordagem construtiva utilizando pré-fabricados de concreto apresenta diversas vantagens em comparação a outros métodos construtivos. No âmbito da sustentabilidade, esse sistema demonstra alta eficiência produtiva e impacto ambiental reduzido, resultando em até 80% menos resíduos sólidos em comparação com construções convencionais. No que tange à flexibilidade, as estruturas pré-fabricadas possibilitam a projeção de futuras ampliações, permitindo a inclusão de esperas e estruturas não essenciais, proporcionando a flexibilidade necessária para ajustes no layout conforme as necessidades futuras das famílias. Quanto à segurança, as peças são produzidas em ambientes industriais sob rigorosos controles de qualidade, assegurando alta qualidade na construção e reduzindo a dependência de mão-de-obra no canteiro de obras, ferramentas e processos operacionais. A agilidade também é um ponto positivo, visto que as estruturas pré-fabricadas podem reduzir o prazo de execução entre 25% e 50%, atendendo à urgência na demanda por habitações. Em relação à organização, a construção pré-fabricada minimiza desperdícios, pois os materiais são calculados e instalados de maneira eficiente, otimizando o uso do espaço disponível. Entretanto, segundo SIENGE (2019), esse sistema apresenta algumas desvantagens. Uma delas é limitação em relação ao formato, pois para se construir um projeto extremamente arrojado com formatos elípticos, por exemplo, a construção pré-fabricada pode não ser a melhor solução. Isso se deve à dificuldade em encontrar materiais

industrializados ou formas nestas geometrias. No entanto, são raras as casas inclusive de Alvenaria Convencional e em Wood-Frame que tem estes formatos. Outra desvantagem é a Limitação geográfica e de acesso. A limitação geográfica ou de acesso pode ser determinante pois nem toda localidade é atendida por empresas de pré-fabricados. A necessidade de mão de obra treinada e qualificada é outro aspecto negativo. A mão de obra para a construção civil convencional necessita menos qualificação e treinamento do que em uma construção pré-fabricada. Isso se deve às técnicas de construção serem mais específicas para garantir o funcionamento adequado do sistema construtivo.

#### 4.11 IMPACTOS AMBIENTAIS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

##### 4.11.1 Impactos ambientais do concreto

De acordo com Maury e Blumenschein (2012) a indústria cimenteira é fonte poluidora e por sua vez geradora de impactos à saúde. Seus impactos no meio ambiente vão desde a contaminação do ar, na britagem da pedra calcária, até o ensacamento do produto final. Pode-se afirmar que uma fábrica de cimento polui praticamente ao longo de todo seu processo industrial. A fina poeira, repleta de óxidos químicos, pode produzir doenças pulmonares graves, além da irritação dos olhos, ouvidos e fossas nasais. Nas proximidades das unidades industriais, e também intramuros, entre os trabalhadores do setor, são bastante conhecidos os variados problemas de saúde.

Desprende-se que as questões de saúde resultantes do processo produtivo do cimento são relevantes e causam impactos sociais negativos nas regiões atingidas. As plantas de fabricação de cimento estão entre as maiores fontes de emissão de poluentes atmosféricos perigosos. A fase extrativa causa contaminação de solos e cursos d'água, erosões, cavas abandonadas e rios assoreados. Na fase de produção do cimento, propriamente dita, há muita geração de material particulado suspenso que pode causar problemas de saúde, tanto nas comunidades próximas às fábricas, como nos trabalhadores envolvidos no processo produtivo. O papel do setor nas mudanças

climáticas, a despeito de haver controvérsias, é inegavelmente significativo: o nível total de emissão de CO<sub>2</sub> faz da indústria de cimento uma fonte de emissão de gases de efeito estufa, há alta emissão deste gás na fase de clínquerização do cimento.

Nas proximidades das fábricas pode haver a inviabilização da agricultura em função da deposição de resíduos oriundos do processo produtivo. O controle da poluição deste tipo de indústria tem sido considerado simples e bastante difundido, podendo ser feita a instalação de filtros que permitam eliminar a contaminação do ar e ao mesmo tempo reduzir algumas perdas na produção. Entretanto, este tipo de controle não tem sido plenamente efetivo e as iniciativas de ações sustentáveis para o setor são ainda incipientes, apesar de alguns estudos mais avançados (MAURY, 2012). Com isso, ainda tem ocorrido muitos problemas de saúde no interior das fábricas e em áreas próximas às unidades de produção cimenteira.

Um exemplo relacionado a falta de controle plenamente efetivo é a Comunidade de Queima Lençol, onde compreende-se que algumas transformações definitivas precisam ser implantadas na localidade, onde o quadro atual é facilmente comparável aos de Contagem, Cubatão e Borregard, ocorridos no Brasil, na década de 1970. Outro exemplo, no Distrito Federal, na região da Fercal em Sobradinho, é a presença de duas grandes fábricas que geram impacto à saúde das comunidades próximas.

Embora os problemas associados ainda sejam extensos, apresentando-se em todo o decorrer do processo produtivo, verifica-se uma busca pela sustentabilidade no setor, especialmente na Europa e Estados Unidos, que vêm buscando por meio de iniciativas, a realização de novas práticas que conduzam a um aprimoramento e 'esverdeamento' da sua produção. Estas práticas preveem a adoção de metodologias, técnicas e equipamentos, além da realização de estudos e pesquisas e o envolvimento das partes interessadas com o objetivo de trocar experiências e aprimorar este processo produtivo. Dentre as estratégias identificadas, verifica-se que as fábricas de cimento são muito adequadas ao fechamento de ciclos com outras plantas de fabricação, o que pode gerar processos cada vez mais aproximados dos naturais, com a implantação de novos processos produtivos como a reciclagem, a reutilização e reaproveitamento. Resíduos oriundos de outras indústrias são passíveis de reciclagem e podem se reintegrar ao processo produtivo diminuindo substancialmente a extração de matéria-prima, e a queima de materiais em fornos de

altas temperaturas, diminuindo-se a emissão de gases de efeito estufa e a deposição destes resíduos no meio ambiente. Esta reciclagem e transformação, via simbiose industrial, são muito propícias e representam um novo setor para a indústria da construção, configurando-se como um produto de menor impacto ambiental e por sua vez à saúde humana.

#### **4.11.2 Impactos ambientais da madeira**

De acordo com Shigue (2018), por ser um material que é ao mesmo tempo renovável e ainda atua como estoque de carbono, as florestas e a madeira passam a atrair a atenção devido ao seu potencial para a redução das emissões de Gases do Efeito Estufa - GEE. Assim, há trabalhos que apontam para uma política de uso de madeira como iniciativa de mitigação das mudanças climáticas, como o relatório do Ministry of Foreign Affairs (2010) da Finlândia, que afirma que a exploração das florestas de maneira adequada permite que mais carbono seja estocado, uma vez que a utilização da madeira nos mais diversos produtos permite que o carbono estocado acompanhe todo o ciclo de vida do produto, e portanto, o contínuo processo de crescimento e renovação das florestas irá proporcionar o aumento gradual dos estoques de carbono através da utilização da madeira. De acordo com Shigue (2018), a redução das emissões de CO<sub>2</sub> pode ser feita através da utilização do material de diversas maneiras: como material construtivo; no interior de construções (seja como revestimento, pisos e forros ou como esquadrias); na forma de mobiliário, tanto para o uso interno quanto externo às edificações (como bancos públicos, pontos de ônibus); obras de infraestrutura como pontes; como papel e celulose e por fim na forma de embalagens e pallets.

No entanto existem conflitos relacionados à utilização da madeira e de produtos derivados, sendo o principal deles decorrente da relação com o processo de desmatamento das florestas naturais. De fato, essa questão é crucial em diversos países, inclusive no Brasil onde a maior fonte de emissão de GEE é resultado da mudança de uso do solo causada pela derrubada da floresta, extração de seus recursos de maior valor e posterior transformação em áreas destinadas à agropecuária (SHIGUE, 2018). Apesar disso, existem práticas para a extração de



recursos florestais que permitem a sua exploração de forma planejada e sustentável, dando condições para que a floresta se recupere, seja através da regeneração natural ou de plantios florestais. Assim, conforme aponta Shigue (2018) a utilização da madeira, desde que o material seja extraído de forma sustentável, é mais eficiente no processo de redução das emissões de GEE do que apenas a preservação das áreas florestais. Isto ocorre tendo em vista situações em que a madeira pode ser utilizada em grandes quantidades e em substituição à materiais não renováveis e que produzem maiores quantidades de GEE, como por exemplo, na construção civil.

Por outro lado, Soimakallio et al. (2016) afirmam justamente o contrário: é improvável que a utilização de madeira possa trazer significativas reduções nas emissões de CO<sub>2</sub>, tendo em vista um cenário projetado para os próximos 100 anos. Tal afirmação se baseia em simulações que apontam que os benefícios gerados pela utilização da madeira são praticamente anulados pela derrubada das florestas para a extração da madeira. Apesar de este ter sido o único estudo encontrado que traz a tona tais resultados, é importante contextualiza-lo pois indica que é necessária a realização de estudos mais aprofundados visando averiguar o verdadeiro potencial de redução das emissões de GEE à partir do aumento da utilização da madeira.

#### **4.11.3 Impactos ambientais dos blocos cerâmicos**

Segundo Dantas e Santos (2021), ao mesmo tempo em que as atividades ceramistas contribuem para o desenvolvimento econômico, elas também potencializam impactos ambientais. Dessa forma, faz-se necessário o planejamento ambiental desta atividade econômica, levando em consideração os princípios da sustentabilidade.

Conforme Freitas e Maciel (2013), é possível identificar os resíduos de cada etapa do processo produtivo e seus respectivos impactos. Em relação ao processo de matéria-prima, a principal matéria-prima da produção de cerâmica vermelha é a argila. Toda argila que abastece o processo é geralmente adquirida por meio de extração dos rios, barreiros, etc. Os principais impactos de caráter ambiental diagnosticado são a degradação do solo, o consumo de recurso natural e a poluição do ar por meio da

suspensão de material particulado, oriundo da extração, e da emissão de CO<sub>2</sub>. Pode-se identificar como impacto a saúde do trabalhador, nesta etapa, exposição a vibrações e ruídos oriundos da atividade do trator, e inalação do material particulado suspenso durante a extração e transporte da matéria-prima. A compra de argila de má qualidade, devido à falta de análise do solo antes do ato da compra, também ocasiona extração desnecessária do recurso do meio ambiente.

No que tange as etapas de estocagem, mistura e alimentação de matéria prima, o impacto de caráter ambiental diagnosticado, nesta etapa, foi a poluição do ar por suspensão de material particulado e emissão de CO<sub>2</sub> oriunda da atividade do trator. Quanto aos impactos causados à saúde do trabalhador, identificaram-se os mesmos impactos citados na etapa acima. Quanto a etapa de laminação, não foram identificados resíduos e impactos.

Em relação ao processo de extrusão, os impactos são oriundos do resíduo identificado de massa moldada com deformações. Este resíduo causa, como o impacto ao meio ambiente, o aumento do consumo de energia elétrica, água, e argila, visto que todos estes recursos utilizados na produção foram desperdiçados.

No que tange ao processo de corte, os resíduos identificados foram às aparas do corte de tijolos defeituosos no processo. É importante destacar que, os tijolos defeituosos no corte geram como impacto o aumento do consumo dos recursos de produção bem como custos adicionais devido à perda de energia elétrica e água.

Quanto ao processo de secagem, esta ocorre no pátio, exposto ao sol, levando um dia para secagem, salientado que caso ocorra chuva toda produção é perdida. Como impactos identificados nesta etapa estão o desperdício dos insumos de produção aplicados ao longo de todo processo, visto que quando a produção é perdida, tudo que foi utilizado, até então, também é perdido, o que gera custos adicionais. Quanto à saúde do trabalhador, a exposição deste ao sol é considerada um impacto.

Em relação ao processo de queima, como impactos, destacam-se: o consumo da lenha, poluição do ar por meio das cinzas e CO<sub>2</sub> liberado pela queima. Como impacto também está o desperdício em torno de peças quebradas ou de má qualidade, que ocasionam custos adicionais e a perda do calor do forno que poderia ser utilizada para outros fins. O impacto diagnosticado, no que tange a saúde do

trabalhador, está à exposição ao calor. Além disso, os resíduos já existentes são vendidos em uma pequena porcentagem para pavimentação de ruas.

No que tange a etapa de estocagem de produtos acabados e a de expedição, os resíduos identificados, nesta etapa, resumem-se a produtos quebrados. Estima-se um 10% destes resíduos entre as etapas de queima, estocagem e expedição. Para tanto, os impactos ambientais são oriundos do desperdício dos recursos de produção nesta porcentagem de perda.

#### 4.12 RENOVABILIDADE

Segundo Rodel (2005), a madeira apresenta aspectos importantes que a distingue de outros materiais, tais como a renovabilidade, consubstanciada na possibilidade crescente de viabilização técnico-econômica da produção sustentada de florestas nativas (manejo florestal). A madeira, como material renovável, não sofre as limitações de outros materiais cuja disponibilidade é determinada pela extração ou produção, que são sustentadas por jazidas finitas.

Conforme esse autor, os principais impactos advindos da utilização do concreto armado dizem respeito à extração no meio ambiente dos compostos do cimento (calcário, argila, etc.) e de seus agregados. Analisando os componentes do concreto, percebe-se que a extração de areia pode se configurar uma atividade danosa ao ambiente se não tomadas as medidas de resguardo adequadas, como, por exemplo, a concentração da extração no centro do curso de água e somente no pacote de areia de assoreamento, a fim de não ser alterado o seu leito, monitoramento do equilíbrio do canal, entre outros. Os principais danos são a retirada de cobertura vegetal, erosão/assoreamento e alteração paisagística (ocasionado pelas cavas de extração ao ar livre). Segundo o mesmo autor, no caso do cimento, composto essencialmente por argila, calcário, alumina e óxido de ferro, a sua produção gera volume imenso de dióxido de carbono. Já no caso do terceiro componente do concreto, a brita, os principais impactos ambientais causados pela extração destes materiais são o pó proveniente da pedra e a desfiguração da paisagem natural. Esta área explorada

pode ser recuperada com o plano de recuperação ambiental o qual pode incluir a colocação de terra vegetal, sementeira e plantação de vegetação da região.

#### 4.13 ENERGIA INCORPORADA E EMISSÕES DE GASES

Segundo Ashby (2021), há um certo grau de concordância internacional: o compromisso com a redução progressiva das emissões de carbono, geralmente interpretada como significando gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) ou gás carbônico equivalente ( $\text{CO}_2$  eq), um valor corrigido pelo potencial de aquecimento global das outras emissões gasosas. A nível internacional o foco é mais na redução do consumo de energia, dado que como este e a produção de  $\text{CO}_2$  estão intimamente relacionados, reduzir um geralmente reduz o outro. Isto é devido, segundo Sposto e Paulsen (2014), ao fato de a maior parte da energia ser gerada utilizando combustíveis fósseis, o que resulta em grande quantidade de emissões de  $\text{CO}_2$ . Portanto, há uma certa lógica em basear as decisões de projeto em uma fonte de energia e sua emissão de  $\text{CO}_2$ .

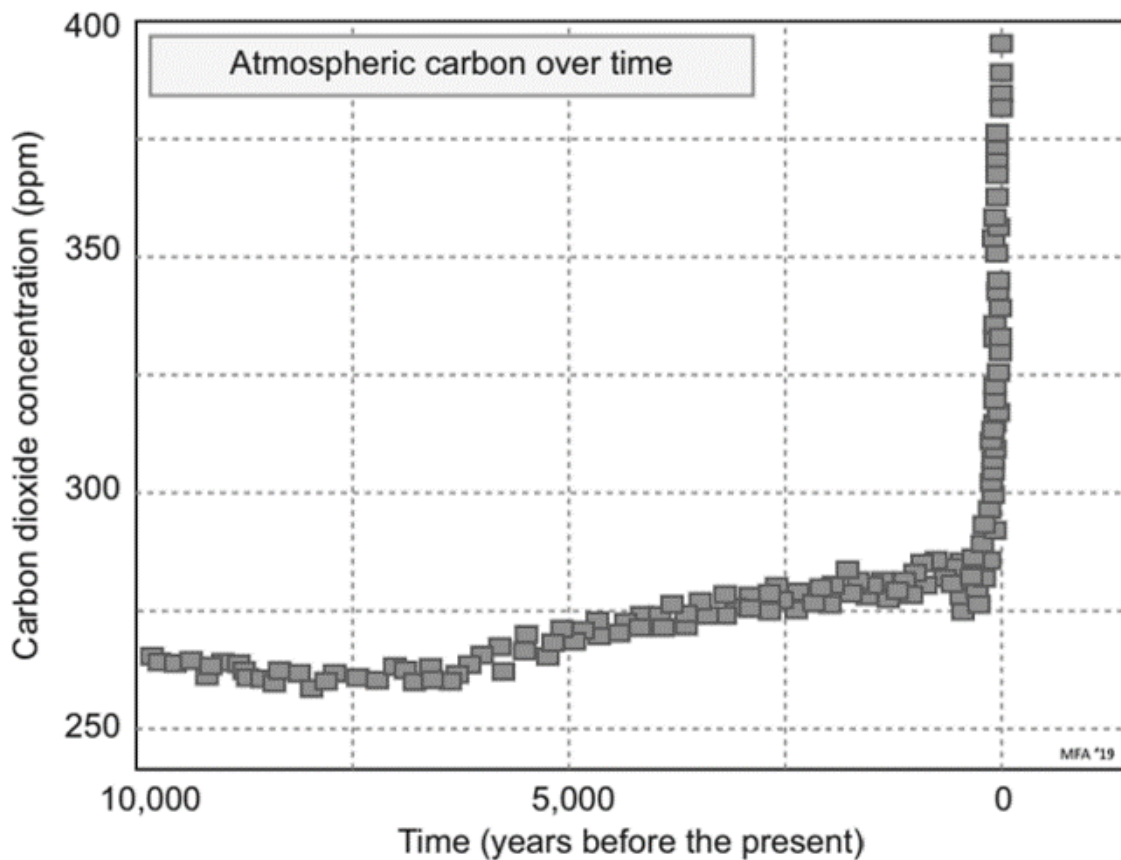
Ainda segundo o autor, a questão é que, das muitas emissões associadas à atividade industrial, é o  $\text{CO}_2$  a maior preocupação atual. É global em seu impacto, causando danos tanto às nações que o geram quanto às que não o geram. Está intimamente relacionado com o consumo de combustíveis fósseis, um recurso cada vez menor e uma fonte de tensão internacional. Os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC por suas siglas em inglês) argumentam que a redução das emissões de carbono é uma questão urgente. Nesta fase da estruturação de nosso pensamento sobre materiais e meio ambiente, considerar o consumo de energia e a liberação de  $\text{CO}_2$  atmosférico como métricas é uma simplificação lógica. A escolha certa de materiais pode minimizar a energia incorporada e a emissão de  $\text{CO}_2$ .

Medições geofísicas cada vez mais precisas permitem que o histórico de temperatura e carbono atmosférico seja rastreado, e modelos meteorológicos cada vez mais precisos permitem a exploração de cenários e a previsão de tendências futuras de ambos parâmetros. Estes estudos sugerem que o aumento da temperatura

do clima é causado por gases de efeito estufa, e que o CO<sub>2</sub> antropomórfico (produzido pelo homem) é a causa provável.

A concentração atmosférica global de CO<sub>2</sub> aumentou em ritmo acelerado desde o início da Revolução Industrial (por volta de 1750) e está agora em seu nível mais alto nos últimos 600.000 anos. A maior parte do aumento ocorreu entre 1950 e os dias atuais (Fig. 22).

Figura 22 – Carbono na atmosfera ao longo do tempo



Fonte: Ashby (2021)

De acordo com Ashby (2021), a pegada de CO<sub>2</sub> de um material é a massa de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera por unidade de massa de material, com unidades kg/kg. O CO<sub>2</sub> é uma preocupação devido ao seu potencial de aquecimento global (GWP), causado por sua capacidade de absorver e reter a radiação infravermelha do sol.

Nesse contexto, segundo Ashby (2021), por exemplo, as emissões de carbono durante os processos de fabricação de alguns materiais são os seguintes: 0,095 kg/kg para o concreto, 0,42 kg/kg para a madeira e 0,22 kg/kg para o tijolo comum.

De acordo com Neto (2011), uma das maiores fontes de poluição é a produção de materiais. Conforme Ashby (2021), a produção de materiais lança enormes quantidades de CO<sub>2</sub> na atmosfera; cerca de 20% do total global surge dessa forma. Goldemberg (2003) também destaca que o CO<sub>2</sub> é o principal contribuinte ao aquecimento por efeito estufa, emissão que comumente ocorre na fabricação de materiais de construção. Então é interessante perguntar: Quais materiais contribuem mais?

A energia incorporada total de um material ou componente engloba a energia necessária para as seguintes etapas: extração de matérias primas (retirada da matéria prima em sua forma bruta da natureza), fabricação de materiais (observando o tipo de material e as técnicas utilizadas na sua fabricação) e transporte dos materiais, verificando as quantidades e origens dos materiais empregados nas construções (NETO, 2011).

Nesse contexto, segundo Ashby (2021), por exemplo, as energias incorporadas de alguns materiais na fase anterior a sua utilização são as seguintes: 1,3 MJ/kg para o concreto, 8,26 MJ/kg para a madeira e 2,8 MJ/kg para o tijolo comum.

No que diz respeito ao cálculo da energia devido ao transporte, os materiais de construção são fabricados onde é mais barato fazê-los e depois transportados, frequentemente por grandes distâncias, até o ponto de venda e o local de construção. Nesse sentido, a energia associada ao transporte é calculada a partir da energia consumida por tonelada por quilômetro (MJ/tonelada·km).

Os Programas de Habitação de Interesse Social (HIS) requerem de investimentos de grande porte, nos quais são disponibilizadas somas significativas de materiais com diferentes energias incorporadas. Cerca de 44% da energia e 75% dos recursos naturais são consumidos no setor da construção (Pfeifer, 2011). Há necessidade, portanto, de se estimar este consumo para nortear escolhas de materiais que tenham menor energia incorporada e menores emissões de CO<sub>2</sub>, ou seja, materiais mais sustentáveis.

#### 4.14 BENEFÍCIOS SOCIAIS DAS POLÍTICAS PÚBLICAS HABITACIONAIS

De acordo com Camargo (2020), o país sofre historicamente com um déficit habitacional muito elevado, iniciado com a aceleração desordenada da urbanização começada nos anos 1950, e que só começou a ser olhada com mais atenção a partir do governo militar em 1964, com as primeiras políticas habitacionais mais estruturadas, as quais, no entanto, não cumpriram seus objetivos. As políticas habitacionais durante a Nova República sofreram com um hiato de praticamente duas décadas, elevando o déficit, atingindo, de acordo com os dados da Fundação João Pinheiro (FJP) (2005), 8,4% dos domicílios brasileiros, déficit habitacional que se concentra nas camadas mais baixas e perpetua a situação de desigualdade social vista nas áreas urbanas.

Em relação aos Programas de Habitação de Interesse Social (HIS), observa-se que em 2009 havia um déficit de cerca de 7,9 milhões de habitações (Brasil, 2009); no entanto, devido a um aumento inesperado na população, o déficit nessa década pode ter sido muito maior (Garcia, 2009). Para combater esta questão já foram aplicadas diversas políticas nacionais de habitação (PNHs), mas nenhuma com a dimensão e alcance pretendidos pelo programa Minha Casa, Minha Vida (MCMV) em 2009, num contexto de crise econômica global e desaceleração do crescimento do país. Entre os resultados alcançados, entre 2009 e 2019, foram realizados 5,7 milhões de contratos para construção, sendo entregues 4,3 milhões habitações. As obras geraram 3,5 milhões de empregos diretos desde o início do programa até dezembro de 2018, cerca de 390 mil empregos por ano, em média, segundo dados da CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção). Foram gerados R\$ 105,6 bilhões em tributos diretos e outros R\$ 57,8 bilhões em impostos indiretos, somando R\$ 163,4 bilhões, de maio de 2009 a junho de 2018, segundo relatório da FGV para a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias - Abrainc. Considerando todo o ciclo produtivo ao longo de nove anos, a arrecadação proporcionada pelo MCMV superou a soma dos subsídios dados no período. O programa tem um peso importante no mercado imobiliário. Em 2018, representou 75% das unidades habitacionais lançadas e 78% das unidades vendidas, segundo informações da Abrainc. Nesse

contexto. é importante a discussão em relação à política pública que contribuiu para amenizar a aflição da população.

Por outro lado, segundo a CNN Brasil (2023), o governo federal confirmou em dezembro de 2023 que zerar o déficit habitacional é uma das metas mais importantes da gestão, e que, até 2026, o Governo Federal entregará dois milhões de unidades habitacionais no Brasil. No lançamento do PAC desse ano, 2024, o governo federal afirma que o Programa de Aceleração do Crescimento pode gerar até 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos. Segundo o governo, com investimento de R\$ 1,7 trilhão, a maior fatia é para o eixo das cidades sustentáveis e resilientes. Serão R\$ 610 bilhões para o Minha Casa, Minha Vida, mobilidade urbana e esgotamento sanitário. Segundo a agência Brasil (2023), a quantia foi dividida de forma que: R\$ 105,65 bilhões para investimentos em habitação. A prioridade será fazer investimentos por meio de parcerias público-privadas.

Em referência à qualidade das habitações de interesse social, segundo Nascimento (de acordo com o site do jornal (<http://correio braziliense.lugarcerto.com.br>, consultado em 04/07/2013), a Caixa Econômica Federal reforçou a fiscalização sobre os empreendimentos do Programa Minha Casa, Minha Vida para evitar problemas na qualidade das construções. Em janeiro de 2023, o MCMV tem como meta contratar, até 2026, dois milhões de moradias.

Conforme a reportagem do site (<http://www.cimentoitambe.com.br>, consultado em 15/01/2014) o SindusCon-MG (Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais) em parceria com a CBIC (Câmara Brasileira da Indústria da Construção) preparou o guia “Principais Normas Técnicas – Edificações”. O livro elenca 881 normas aprovadas pela ABNT. Entre elas, 496 estão relacionadas a desempenho, projetos e especificação de materiais e sistemas construtivos. Outras 306 dizem respeito a controle tecnológico, 64 a execução de serviços, 13 a viabilidade, contratação e gestão e duas a manutenção.

Segundo Sinduscon-MG (2015), o cumprimento de normas técnicas tem caráter obrigatório, previsto em leis e instrumentos regulatórios, e proporciona isonomia técnica, sendo um referencial indispensável neste sentido. Cumpre também, o papel de ser um dos pilares da segurança jurídica, devendo ser encarado pelas



construtoras e profissionais como um referencial do estado da arte. Esta prática proporciona, ainda, ganhos de qualidade e desempenho dos componentes, elementos, sistemas e processos regulamentados pelas normas.

#### 4.15 ANÁLISES DE CUSTOS: O CUB – CUSTO UNITÁRIO BÁSICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O orçamento de uma obra, conforme comentado por Goldman (2004) é uma das informações que o empreendedor deve conhecer. A análise de custos é importante, pois a construção implica gastos consideráveis. Quando se trata de habitações de interesse social, trata-se de um assunto mais importante ainda, tendo em vista o número expressivo de habitações que são construídas com dinheiro público no Brasil. Por isso o orçamento deve ser determinado, a fim de indicar se o empreendimento estudado é viável ou não.

Segundo a Tabela de Composição de Preços para Construtores - TCPO (2010), fundamental para o sucesso de construtores, incorporadores e contratantes de obras públicas ou privadas, o orçamento não constitui um exercício de futurologia ou de adivinhação. Por isso, manter uma base de composições confiável é primordial para a elaboração de um bom orçamento. O Custo Unitário Básico (CUB) faz parte disso.

Segundo Weise, Moro, Reis e Flores (2018), o Custo Unitário Básico (CUB) é uma das metodologias utilizadas no Brasil para a elaboração de estimativas de custos, tratando da fase inicial dos empreendimentos, como viabilidade e planejamento. Ainda os mesmos autores afirmam que, nacionalmente falando, o CUB é o indexador mais indicado, sendo legalmente aceito em contratos “de financiamento de longo prazo na atividade imobiliária”.

De acordo com o item 3.9 da Norma Brasileira ABNT NBR 12721:2006, o conceito de Custo Unitário Básico é o seguinte: “Custo por metro quadrado de construção do projeto-padrão considerado, calculado de acordo com a metodologia estabelecida em 8.3, pelos Sindicatos da Indústria da Construção Civil, em atendimento ao disposto no artigo 54 da Lei nº 4.591/64 e que serve de base para a avaliação de parte dos custos de construção das edificações.”

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ETAPA 1: DETERMINAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E DA ENERGIA INCORPORADA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NOS TRÊS MODELOS DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

#### 5.1.1 Cálculo relacionados a habitação de interesse social em Wood-Frame

Para o cálculo das massas necessárias para a construção da habitação de interesse social em Wood-Frame, foram utilizados os dados da Tabela 2 (Seção 3.2.1.1.), adaptada de uma estimativa de materiais efetuada por Espindola (2019). A partir das dimensões das peças e de suas quantidades foi possível o cálculo das massas e de outros parâmetros, como o volume total de madeira serrada tratada, o volume total de madeira OSB, bem como a massa total de blocos de concreto das fundações e de gesso de revestimento interno, conforme pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 – Cálculo das massas da habitação de interesse social em Wood-Frame

(continua)

| Fundação  |              |            |     |                                |                          |            |
|---|--------------|------------|-----|--------------------------------|--------------------------|------------|
|   |              |            |     |                                |                          |            |
| Material  |              | Quantidade |     | Massa unitária (kg)            | Massa (kg)               |            |
| Blocos de concreto estrutural 19 cm × 19 cm × 39 cm |              | 158        | un. | 16,5                           | 2607                     |            |
| Blocos canaleta de concreto 19 cm × 19 cm × 39 cm   |              | 24         | un. | 15,9                           | 381,6                    |            |
| Piso  |              |            |     |                                |                          |            |
|   |              |            |     |                                |                          |            |
| Material  |              | Quantidade |     | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Massa (kg) |
| Soleira   | 5 cm × 15 cm | 27,20      | m   | 500                            | 0,20                     | 102,00     |

|   |                         |        |                |       |       |        |
|---|-------------------------|--------|----------------|-------|-------|--------|
| Vigas l<br>suporte                            | banzo 3 cm × 6<br>cm    | 51,20  | m              | 500   | 0,09  | 46,08  |
|   | alma OSB 18mm<br>× 20cm | 12,80  | m              |       | 0,05  | 23,04  |
| Vigas l<br>piso                               | banzo 3cm × 6cm         | 486,00 | m              | 500   | 0,87  | 437,40 |
|   | alma OSB 18mm<br>× 20cm | 121,50 | m              |       | 0,44  | 218,70 |
| Fecham. lateral OSB 25mm ×<br>20cm            |                         | 27,20  | m              | 500   | 0,14  | 68,00  |
| Enrijecedores 5 cm × 7 cm                     |                         | 17,34  | m              | 500   | 0,06  | 30,35  |
| Chapa OSB piso 15,5 mm                        |                         | 46,50  | m <sup>2</sup> | 500   | 0,72  | 360,38 |
| <b>Paredes</b>                                |                         |        |                |       |       |        |
| <b>Meio painel<br/>fechado (60 cm)</b>        |                         |        |                |       |       |        |
|   |                         | 5      | un.            |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9 cm                          |                         | 8,15   | m              | 500   | 0,15  | 73,35  |
| Travessa 4 cm × 9 cm                          |                         | 1,20   | m              | 500   | 0,022 | 10,80  |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>59,7 cm × 271,7 cm  |                         | 1      | un.            | 500   | 0,097 | 48,66  |
| Gesso acartonado 12 mm<br>59,7 cm × 271,7 cm  |                         | 1      | un.            | 1.000 | 0,097 | 97,32  |
| <b>Meio painel janela (60 cm)</b>             |                         |        |                |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9cm                           |                         | 11,87  | m              | 500   | 0,04  | 21,37  |
| Travessa 4 cm × 9 cm                          |                         | 1,20   | m              | 500   | 0,004 | 2,16   |
| Verga 4 cm × 9 cm                             |                         | 0,52   | m              | 500   | 0,002 | 0,94   |
| Contra-verga 4 cm × 9 cm                      |                         | 0,44   | m              | 500   | 0,002 | 0,79   |
| Chapa OSB parede 12mm<br>59,7 cm × 271,7 cm   |                         | 1      | un.            | 500   | 0,097 | 48,66  |
| Gesso acartonado 12 mm<br>59,7 cm × 271,7 cm  |                         | 1      | un.            | 1.000 | 0,097 | 97,32  |
| Janela madeira basculante<br>40 cm × 60 cm    |                         | 1      | un.            | -     | -     | -      |
| <b>Painel fechado (120 cm)</b>                |                         |        |                |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9 cm                          |                         | 10,87  | m              |       |       |        |
| Travessa 4 cm × 9 cm                          |                         | 2,40   | m              | 500   | 0,026 | 12,96  |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm |                         | 1      | un.            | 500   | 0,117 | 58,54  |

|  |       |     |       |       |        |
|--|-------|-----|-------|-------|--------|
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1     | un. | 1.000 | 0,117 | 117,08 |
| <b>Painel janela (120 cm)</b>                      |       |     |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 12,83 | m   | 500   | 0,139 | 69,28  |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 2,40  | m   | 500   | 0,026 | 12,96  |
| Verga 4 cm × 9 cm                                  | 1,20  | m   | 500   | 0,013 | 6,48   |
| Contra-verga 4 cm × 9 cm                           | 1,04  | m   | 500   | 0,011 | 5,62   |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1     | un. | 500   | 0,117 | 58,54  |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1     | un. | 1.000 | 0,117 | 117,08 |
| Janela madeira 94 cm × 104<br>cm duas folhas abrir | 1     | un  | -     | -     | -      |
| <b>Painel porta (120 cm)</b>                       |       |     |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 16,22 | m   | 500   | 0,292 | 145,98 |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 2,54  | m   | 500   | 0,046 | 22,86  |
| Verga 4 cm × 9 cm                                  | 0,88  | m   | 500   | 0,016 | 7,92   |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1     | un. | 500   | 0,195 | 97,57  |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 1     | un. | 1.000 | 0,195 | 195,13 |
| porta madeira interna<br>74 cm × 214 cm            | 3     | un  | -     | -     | -      |
| porta madeira externa<br>74 cm × 214 cm            | 2     | un  | -     | -     | -      |
| <b>Painel duplo fechado e<br/>fechado (240 cm)</b> |       |     |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 19,02 | m   | 500   | 0,548 | 273,89 |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 4,80  | m   | 500   | 0,138 | 69,12  |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2     | un. | 500   | 0,624 | 312,22 |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2     | un. | 1.000 | 0,624 | 624,43 |
| <b>Painel duplo fechado e<br/>janela (240 cm)</b>  |       |     |       |       |        |
| Montante 4 cm × 9cm                                | 18,93 | m   | 500   | 0,136 | 68,15  |
| Travessa 4 cm × 9 cm                               | 4,79  | m   | 500   | 0,034 | 17,24  |

|  |      |                |   |   |                             |
|--|------|----------------|---|---|-----------------------------|
| Verga 4 cm × 9 cm                                  | 1,14 | m              | 500                                     | 0,008                                   | 4,10                        |
| Contra-verga 4 cm × 9 cm                           | 1,06 | m              | 500                                     | 0,008                                   | 3,82                        |
| Chapa OSB parede 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2    | un.            | 500                                     | 0,156                                   | 78,05                       |
| Gesso acartonado 12 mm<br>119,7 cm × 271,7 cm      | 2    | un.            | 1.000                                   | 0,156                                   | 156,11                      |
| Janela madeira 94 cm × 104<br>cm duas folhas abrir | 1    | un             | -                                       | -                                       | -                           |
| <b>Travessa superior dupla<br/>4 cm × 9 cm</b>     |      |                |   |   |                             |
|  | 41,6 | m              | 500                                     | 0,150                                   | 74,88                       |
| <b>Revestimento externo</b>                        |      |                |   |   |                             |
| Impermeabilizante "tyvek                           | 84   | m <sup>2</sup> | -                                       | -                                       | -                           |
| Ripas 4 cm × 5 cm                                  | 68   | m              | 500                                     | 0,136                                   | 68,00                       |
| "Sidings" 20 cm × 2,5 cm                           | 216  | m              | 500                                     | 1,080                                   | 540,00                      |
| <b>Total</b>                                       |      |                |   |   |                             |
| <b>Volumes e massa totais</b>                      |      |                | <b>Densidade<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Volume<br/>total (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Massa<br/>total (kg)</b> |
| Madeira OSB  |      |                | 500                                     | 2,745                                   | 1.375,00                    |
| Madeira serrada                                    |      |                | 500                                     | 4,374                                   | 2.185,00                    |
| Gesso acartonado                                   |      |                | 1000                                    | 1,400                                   | 1400,00                     |
| Blocos de concreto                                 |      |                | -                                       | -                                       | 2.988,60                    |

Fonte: Autor (2024)

Para cada material constituinte da habitação em Wood-Frame, os valores de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada foram obtidos multiplicando a massa total do material em questão pelos valores unitários correspondentes, que constam na tabela 1 (Seção 3.2.1).

Os cálculos para o levantamento da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativa aos blocos de concreto de fundação, encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 - Cálculo das massas, emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada dos blocos de concreto de fundação da habitação de interesse social em Wood-Frame

| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> dos blocos de concreto</b>   |
|--|
| 2.988,60 kg (massa total) x 0,061 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = 182,30 kg de CO <sub>2</sub> emitido. |
| <b>Cálculo de energia incorporada dos blocos de concreto</b>   |
| 2.988,60 kg (massa total) x 0,94 MJ/kg (quantidade de MJ por kg de massa do material) = 2.809,28 MJ de energia incorporada.                    |

Fonte: Autor (2024)

Os cálculos para o levantamento da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativos à madeira serrada tratada e à madeira OSB, encontram-se na Tabela 9. Os valores de quantidade de CO<sub>2</sub> emitido por quilograma e de energia incorporada por quilograma de madeira OSB são maiores do que aqueles da madeira serrada tratada, pois trata-se de materiais com processos de produção diferentes.

Tabela 9 - Cálculo das massas, emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada da madeira serrada tratada e da madeira OSB para a habitação de interesse social em Wood-Frame

| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> referente a madeira serrada tratada</b>   |
|---|
| 2.185,00 kg x 0,77 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = 1.682,45 kg de CO <sub>2</sub> emitido. |
| <b>Cálculo de energia incorporada referente a madeira serrada tratada</b>   |
| 2.185,00 kg x 8,26 (quantidade de MJ por kg de massa do material) = 18.048 MJ de energia incorporada.                             |
| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> referente a madeira OSB</b>   |
| 1.375,00 kg x 1,34 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = 1.842,5 kg de CO <sub>2</sub> emitido.  |
| <b>Cálculo de energia incorporada referente a madeira OSB</b>   |
| 1.375,00 kg x 14,32 (quantidade de MJ por kg de massa do material) = 19.690 MJ de energia incorporada.                            |

Fonte: Autor (2024)

Os cálculos para o levantamento da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativas ao gesso de revestimento interno, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Cálculo das massas, emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada do revestimento interno de gesso da habitação em Wood-Frame

| Cálculo de emissão de CO <sub>2</sub> do gesso acartonado  |
|--|
| 1400 kg x 0,33 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = 462 kg de CO <sub>2</sub> emitido. |
| Cálculo de energia incorporada do gesso acartonado   |
| 1400 kg x 6 MJ/kg (quantidade de MJ por kg de massa do material) = 8.400 MJ de energia incorporada.                      |

Fonte: Autor (2024)

Por fim, a quantidade total de CO<sub>2</sub> e de energia incorporada para a residência de madeira foi obtida ao somar as suas quantidades relacionadas aos blocos de concreto de fundação, madeira serrada tratada, madeira OSB e gesso de revestimento interno, totalizando 4.169,25 kg para a emissão de CO<sub>2</sub> e 48.947 MJ para energia incorporada.

### 5.1.2 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Paredes de Concreto

O cálculo das massas necessárias para a construção da habitação em Paredes de Concreto foi realizado a partir dos volumes de concreto e concreto armado informados pela Construtora Contempla, multiplicando-os pela sua densidade correspondente, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 – Cálculo das massas da habitação de interesse social em Paredes de Concreto

|                 | Item                         | Quantidade | Volume Unitário (m <sup>3</sup> ) | Volume Total (m <sup>3</sup> ) | Densidade (kg/m <sup>3</sup> ) | Massa (kg) |
|-----------------|------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|
| Concreto Armado | Pilar (uni)                  | 42         | 0,032                             | 1,34                           | 2.500                          | 11.075     |
|                 | Viga Superior (m)            | 41,3       | 0,01                              | 0,41                           |                                |            |
|                 | Viga Inferior (m)            | 47         | 0,057                             | 2,68                           |                                |            |
|                 | Total                        | -          | -                                 | 4,43                           |                                |            |
| Concreto        | Fundação (uni)               | 32         | 0,1390                            | 4,45                           | 2.400                          | 24.240     |
|                 | Placas (uni)                 | -          | -                                 | 3,42                           |                                |            |
|                 | Contrapiso (m <sup>2</sup> ) | 44,5       | 0,05                              | 2,23                           |                                |            |
|                 | Total                        | -          | -                                 | 10,1                           |                                |            |

Fonte: Adaptado de Construtora Contempla (2024)

Os cálculos para o levantamento da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativas ao concreto armado e ao concreto, encontram-se na Tabela 12. Os valores de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada foram obtidos multiplicando a massa total do material em questão pelos valores unitários correspondentes, que constam na tabela 1 (Seção 3.2.1).

Tabela 12 – Cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada do concreto e do concreto armado

|  |
|--|
| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> do concreto armado</b>   |
| 11.075,00 kg x 0,21 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) =<br>2.325,75 kg de CO <sub>2</sub> emitido.  |
| <b>Cálculo de energia incorporada do concreto armado</b>   |
| 11.075,00 kg x 2,49 MJ/kg (quantidade de MJ por kg de massa do material) =<br>27.576,75 MJ de energia incorporada.                     |
| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> do concreto</b>  |
| 24.240,00 kg x 0,095 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) =<br>2.302,80 kg de CO <sub>2</sub> emitido. |
| <b>Cálculo de energia incorporada do concreto</b>  |
| 24.240,00 kg x 1,3 MJ/kg (quantidade de MJ por kg de massa do material) =<br>31.512,00 MJ de energia incorporada.                      |

Fonte: Autor (2024)



A quantidade de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada da habitação em Paredes de Concreto pode ser obtida somando os respectivos valores relacionados ao concreto armado e ao concreto. Desse modo, para a habitação de interesse social em Paredes de Concreto, a quantidade de energia incorporada total é de 59.088,75 MJ enquanto a quantidade total de CO<sub>2</sub> emitido é de 4628,55 kg.

### 5.1.3 Cálculos relacionados a habitação de interesse social em Alvenaria Convencional

Para o cálculo das massas necessárias para a construção da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional, foi utilizado um método de estimativa de materiais proposto por Daré (2015). Em relação ao projeto utilizado, o mesmo da Construtora Contempla foi usado no que diz respeito a área total da edificação (46,50 m<sup>2</sup>). Segundo o método proposto, e a partir da tabela de coeficientes de estimativa de materiais por área de construção (veja-se Tabela 4, Seção 3.2.1.3), foi possível estimar os volumes necessários de cada material para a construção da habitação, e a partir destes, as massas (multiplicando pela densidade correspondente), bem como a energia incorporada e o CO<sub>2</sub> emitido, multiplicando as massas pelos respectivos valores unitários (veja-se Tabela 1).

Os cálculos para o levantamento da quantidade das massas, de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativas à estrutura de concreto armado, encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo das massas, CO<sub>2</sub> emitido e energia incorporada para a estrutura de concreto armado da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional

|  |
|--|
| <b>Cálculo do volume de concreto da estrutura</b>  |
| 46,50 m <sup>2</sup> (área da edificação) x 0,15 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> (volume de concreto por metro quadrado de área da habitação) = 6,98 m <sup>3</sup> . |
| <b>Cálculo da massa de concreto da estrutura</b>   |
| 6,98 m <sup>3</sup> (volume de) x 2500 kg/m <sup>3</sup> concreto (densidade do concreto armado) = 17.437,5 kg.  |
| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> do concreto da estrutura</b>   |
| 17.437,50 kg x 0,21 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = 3.661,87 kg de CO <sub>2</sub> emitido.                                   |
| <b>Cálculo de energia incorporada do concreto da estrutura</b>   |
| 17.437,50 x 2,49 MJ/kg (quantidade de MJ por kg de massa do material) = 43.419,38 MJ de energia incorporada.   |

Fonte: Autor (2024)

Os cálculos para o levantamento da quantidade das massas, de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativas alvenaria externa, encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14 - Cálculo da massa, CO<sub>2</sub> emitido e energia incorporada para a alvenaria cerâmica da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional

|   |
|---|
| <b>Cálculo da área de alvenaria externa</b>   |
| 46,50 m <sup>2</sup> (área da edificação) x 0,9 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> (área de alvenaria externa por metro quadrado de área da habitação) = 41,85 m <sup>2</sup> |
| <b>Cálculo da área de alvenaria interna</b>   |
| 46,50 m <sup>2</sup> (área da edificação) x 1,2 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> (área de alvenaria interna por metro quadrado de área da habitação) = 55,80 m <sup>2</sup> |
| <b>Total de área de alvenaria</b>   |
| 41,85 m <sup>2</sup> (interna) + 55,80 m <sup>2</sup> (externa) = 97,65 m <sup>2</sup>  |
| <b>Cálculo da quantidade de tijolos</b>   |
| 36, 23 tijolos (quantidade que cabe em 1 m <sup>2</sup> de alvenaria) x 97,65 m <sup>2</sup> (área de alvenaria total) = 3.537,86 tijolos.                                |
| <b>Cálculo da quantidade da massa dos tijolos</b>   |
| 3.537,86 tijolos x 2 kg (massa de cada tijolo) = 7.075,7 kg.  |
| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> dos tijolos</b>   |
| 7.075,7 kg x 0,22 kg/kg (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = 1.556,65 kg de CO <sub>2</sub> emitido.  |
| <b>Cálculo de energia incorporada dos tijolos</b>   |
| 7.075,7 kg x 2,8 MJ/kg (quantidade de MJ por kg de massa do material) = 19.811,96 MJ de energia incorporada   |

Fonte: Autor (2024)

Os cálculos para o levantamento da quantidade das massas, de CO<sub>2</sub> emitido e de energia incorporada, relativas ao revestimento argamassado interno, encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Cálculo das massas, CO<sub>2</sub> emitido e energia incorporada do revestimento argamassado da habitação de interesse social de Alvenaria Convencional  
(continua)

**Cálculo da área do revestimento externo**

|   |
|---|
| $46,50 \text{ m}^2$ (área da edificação) x $0,75 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (área de revestimento externo por metro quadrado de área da habitação) = $34,88 \text{ m}^2$ |
| <b>Cálculo da área do revestimento interno</b>  |
| $46,50 \text{ m}^2$ (área da edificação) x $2,9 \text{ m}^2/\text{m}^2$ (área de revestimento interno por metro quadrado de área da habitação) = $134,85 \text{ m}^2$ |
| <b>Total de área de revestimento</b>  |
| $34,88 \text{ m}^2$ (interna) + $134,85 \text{ m}^2$ (externa) = $169,73 \text{ m}^2$   |
| <b>Cálculo do volume de revestimento</b>  |
| $169,73 \text{ m}^2$ x $2,75\text{cm}$ ( $0,0275\text{m}$ – espessura média do revestimento argamassado) = $4,67 \text{ m}^3$ .                                       |
| <b>Cálculo da quantidade da massa do revestimento</b>   |
| $4,67 \text{ m}^3$ x $2.100 \text{ kg}/\text{m}^3$ (densidade do revestimento) = $9.801 \text{ kg}$ .   |
| <b>Cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> do revestimento</b>   |
| $9.801 \text{ kg}$ x $0,061 \text{ kg}/\text{kg}$ (massa de CO <sub>2</sub> emitido por kg de massa do material) = $597,91 \text{ kg}$ de CO <sub>2</sub> emitido.    |
| <b>Cálculo de energia incorporada do revestimento</b>   |
| $9.801 \text{ kg}$ x $0,94 \text{ MJ}/\text{kg}$ (quantidade de MJ por kg de massa do material) = $9.212,94 \text{ MJ}$ de energia incorporada.                       |

Fonte: Autor (2024)

As quantidades de CO<sub>2</sub> e de energia incorporada relativas à habitação de interesse social em Alvenaria Convencional foram obtidas ao somar suas quantidades relacionadas a estrutura de concreto, alvenaria e revestimento, totalizando 72.444,28 MJ para energia incorporada e 5.816,43 kg para a emissão de CO<sub>2</sub>.

A Tabela 16 resume o total de energia incorporada e CO<sub>2</sub> para as habitações de interesse social em Wood-Frame, Paredes de Concreto e Alvenaria Convencional.

Tabela 16 – Resumo da energia incorporada e da emissão de CO<sub>2</sub> para os três tipos de habitação de interesse social

| Sistema Construtivo    | Emissão de CO <sub>2</sub> (kg) | Energia incorporada (MJ) |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Alvenaria Convencional | 5.816,43                        | 72.444,28                |
| Paredes de Concreto    | 4.628,55                        | 59.088,75                |
| Wood-Frame             | 4.169,25                        | 48.947,28                |

Fonte: Autor (2024)

É importante avaliar qual sistema construtivo é o mais sustentável em relação a emissão de CO<sub>2</sub> e a energia incorporada dos materiais. Ao analisar a Tabela 16, é possível perceber que a habitação de interesse social em Wood-Frame apresenta o menor valor de emissão de CO<sub>2</sub>, 4.169,25 kg, e o menor valor de energia incorporada, 48.947,28 MJ. Por outro lado, a habitação em Alvenaria Convencional apresentou os maiores valores de emissão de CO<sub>2</sub> e de energia incorporada, 5.816,43 kg e 72.444,28 MJ, respectivamente. O sistema construtivo em Paredes de Concreto apresentou valores intermediários, ocupando a segunda posição, apresentando 4.628,55 kg de emissão de CO<sub>2</sub> e 59.088,75 MJ de energia incorporada.

A emissão de CO<sub>2</sub> da madeira pode ser explicada, segundo Fischer (2020), pelo processo de fabricação da madeira em que a maior parte do consumo de energia ocorre na etapa de secagem. Porém, cerca de 90% do CO<sub>2</sub> emitido na produção de madeira provém de recursos biogênicos. Além disso, no processo de produção da madeira uma parcela significativa da energia incorporada (aprox. 78% da madeira tratada) é de fonte renovável, predominantemente devido ao uso intenso de biomassa lenhosa como fonte de energia, além da pequena parcela devida ao biodiesel na composição do diesel no Brasil.

Quanto ao tratamento da madeira serrada tratada, o mesmo adiciona 0,41 MJ/kg de energia à fase de produção, representando 5% da energia incorporada total e aproximadamente 2% das emissões de CO<sub>2</sub>. Este aumento pode ser atribuído ao processo de autoclavagem, que é efetuado a altas pressões e temperaturas relativamente elevadas.

De acordo com Ashby (2021), no que diz respeito a Avaliação de Ciclo de Vida Simplificada, é possível se concentrar nos fatores energia incorporada e emissão de CO<sub>2</sub>, que são os que provocam o maior impacto ambiental. Sendo assim, seria possível concluir que o sistema construtivo mais sustentável em termos ambientais para a construção de habitações de interesse social é o Wood-Frame, por apresentar os menores valores de emissão de CO<sub>2</sub> e de energia incorporada. Em segundo e terceiro lugar, estariam os sistemas de Paredes de Concreto e o de Alvenaria Convencional, respectivamente. Todavia foram também levados em consideração

outros aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental, social e econômica antes de se afirmar definitivamente qual habitação de interesse social é a mais sustentável, conforme pode ser visto a seguir.

## 5.2 ETAPA 2: OUTROS ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE

A segunda etapa iniciou-se com a pesquisa bibliográfica apresentada no Capítulo 4 sobre a origem e a fabricação/produção dos materiais madeira, concreto e blocos cerâmicos, bem como sobre os aspectos sociais e outros aspectos ambientais relacionados a esses materiais de interesse. Em relação aos aspectos sociais, a pesquisa foi a respeito da limitação geográfica das empresas, aceitação social dos sistemas construtivos pelos usuários, durabilidade, manutenção, isolamento térmico/acústico, segurança frente ao fogo e tempo de execução da obra. No que diz respeito aos aspectos ambientais, a pesquisa focou no caráter renovável (ou não) dos materiais, desperdício e resíduos da construção, reciclagem, descarte e impactos ambientais dos materiais selecionados. Desta maneira, foi possível obter uma visão de conjunto das vantagens e desvantagens do uso de cada material na construção civil, bem como de sua sustentabilidade.

A partir das informações obtidas, foram elaboradas tabelas de score dos parâmetros ambientais e sociais estudados, com sinais + e -, numa tentativa de estabelecer semiquantitativamente a sustentabilidade dos sistemas construtivos objeto de estudo. Quanto mais sinais +, mais sustentável o sistema é. Nesse contexto, foi decidido dar um peso maior aos três fatores que mais contribuem à sustentabilidade da construção: carácter renovável, emissões de CO<sub>2</sub> e energia incorporada nos diferentes materiais. Assim, a estes três fatores foi dado peso 2 e aos outros, peso 1.

Em relação aos fatores sociais, no que diz respeito à limitação geográfica e aceitação social, os sistemas construtivos em Wood-Frame e Paredes de Concreto destacam-se negativamente. A limitação geográfica ou de acesso pode ser determinante pois nem toda localidade é atendida por empresas que fabricam habitações de interesse social em Paredes de Concreto ou Wood-Frame. Por outro lado, o sistema de Alvenaria Convencional goza de excelente aceitação por parte dos

usuários, arquitetos e engenheiros, que podem oferecer resistência aos demais sistema por falta de conhecimento.

No que diz respeito a durabilidade, o sistema de construção em Paredes de Concreto e o de Alvenaria Convencional demonstraram-se serem os mais sustentáveis. Conforme, Lopes, Oliveira e Cascudo (2022), no caso do sistema Paredes de Concreto, a vida útil de projeto mínima é de 50 anos. A alvenaria se destaca, sendo de boa durabilidade, chegando a cem anos, sem manutenção e proteção de acordo com Gonçalves e Lacerda (2022). Por outro lado, a durabilidade da madeira é expressivamente menor, pois a sua vida útil máxima é estimada em 50 anos conforme Prazeres, Alberti e Arakawa (2022). É importante destacar que, em uma consulta elaborada pelo autor, diversos fornecedores de chapa de madeira OSB deram garantia do produto por apenas 240 meses (20 anos) enquanto outros fornecedores de madeira serrada tratada, em caso de uso exterior, fora de contato com o solo, e sujeitas às intempéries, deram prazo de 5 anos de garantia contra fungos apodrecedores e 15 anos contra cupins.

Quanto ao conforto térmico e acústico, o sistema Wood-Frame é mais sustentável. Segundo Roza e Favretto (2023), em uma análise comparativa de desempenho entre sistemas, o Wood-Frame obteve o pior desempenho no quesito resistência ao fogo. Apesar disso, segundo os autores trata-se de uma obra com melhor conforto térmico e acústico. Quanto aos demais sistemas, eles apresentaram melhor resistência ao fogo, mas desempenho térmico e acústico inferior.

Em relação ao tempo de execução, os sistemas Wood-Frame e Paredes de Concreto provaram serem os mais sustentáveis. É importante considerar a desvantagem da alvenaria: a execução da obra pode ser mais demorada, resultando em baixa produtividade. A agilidade do sistema Paredes de Concreto é um ponto positivo, visto que as estruturas pré-fabricadas podem reduzir o prazo de execução entre 25% a 50%, atendendo à urgência na demanda por habitações. Uma vantagem do Wood-Frame é a pré-construção em ambiente industrializado, reduzindo relativamente o tempo de obra.

A Tabela 17 foi elaborada com os scores relacionados aos parâmetros sociais estudados. De acordo com ela, a partir das scores com sinais de + e -, foi possível estabelecer semiquantitativamente que o sistema construtivo mais sustentável do

ponto de vista social é o de Alvenaria Convencional. O quesito Durabilidade e Manutenção foi decisivo neste resultado, devido às enormes diferenças entre os três sistemas construtivos. Uma habitação em Wood-Frame requer de manutenção contínua e sua durabilidade é pelo menos duas vezes menor que a de a habitação em Alvenaria Convencional. Este fato limita enormemente o conceito de sustentabilidade, que prioriza o uso dos recursos para as gerações futuras.

Tabela 17 - Fatores de sustentabilidade social para cada sistema construtivo

| Fatores                                 | Paredes de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|---|---------------------|------------|------------------------|
| Limitação geográfica e aceitação social | -1                  | -1         | +1                     |
| Durabilidade e manutenção               | +1                  | - 2        | + 2                    |
| Desempenho térmico e acústico           | -1                  | +1         | -1                     |
| Segurança frente ao fogo                | +1                  | -1         | +1                     |
| Tempo de execução                       | +1                  | +1         | -1                     |
| <b>Total (+)</b>                        | <b>+3</b>           | <b>+2</b>  | <b>+4</b>              |
| <b>Total (-)</b>                        | <b>-2</b>           | <b>-4</b>  | <b>-2</b>              |
| <b>Total</b>                            | <b>+1</b>           | <b>-2</b>  | <b>+2</b>              |

Fonte: Autor (2024)

Por outro lado, no que diz respeito aos aspectos ambientais, quanto ao caráter renovável e a origem, é possível concluir que o sistema de construção em Wood-Frame apresenta aspectos importantes, que o distinguem de outros materiais, tais como a renovabilidade, consubstanciada na possibilidade crescente de viabilização técnico-econômica da produção sustentada de florestas nativas (manejo florestal) ou plantadas. A madeira, como material renovável, não sofre as limitações de outros materiais cuja disponibilidade é determinada pela extração ou produção de jazidas finitas. Segundo John (2017), no Brasil, o uso de madeira como material de construção é relativamente pequeno, tendo sido estimado que, em 2011, tenham sido utilizados no mercado interno 5,5 Mm<sup>3</sup> (4 Mt) de madeira nativa e cerca de 50 Mm<sup>3</sup> (25 Mt) de madeira plantada. Deste total, somente uma pequena parte foi utilizada em aplicações estruturais (PUNHAGUI, 2014). O consumo de madeira, certamente, poderia ser

ampliado. Por outro lado, é preciso reconhecer que a maior parte da madeira amazônica não pode ser considerada renovável, pois a sua extração não permite que a floresta se recupere. Assim, parece mais razoável promover o uso da madeira plantada, que já dispõe de maior estrutura produtiva disseminada no país. No entanto, é importante destacar que, segundo John (2017), dada a elevada demanda de materiais de construção, muito dificilmente será possível dispensar qualquer dos principais materiais. Não existe madeira suficiente para substituir o concreto na construção.

Em relação aos resíduos, o sistema construtivo mais sustentável foi o sistema Paredes de Concreto. As desvantagens do uso da alvenaria neste quesito são grandes, principalmente durante a construção da habitação e na desconstrução (quebra de paredes para reparos), as quais geram desperdício e aumento significativo dos resíduos da construção. Por outro lado, a geração de uma obra em Wood-Frame é com menos resíduos, entretanto o sistema Parede de Concreto apresentou um padrão ainda melhor. Com desenvolvimento de um sistema inovador, foi possível obter redução de 81% na geração dos resíduos, se comparados com o processo tradicional (ZEULE e SERRA, 2015).

No que diz respeito a reciclagem e descarte, o sistema construtivo Paredes de Concreto e o Alvenaria Convencional são os mais sustentáveis. De acordo com a seção 4.9.2 Reciclagem e descarte da madeira, a madeira se destaca negativamente em diversos pontos como, por exemplo, seus resíduos serem combustíveis e conterem materiais tóxicos, bem como existem poucos incineradores que possuem o licenciamento adequado para essa prática.

Em relação aos impactos ambientais, todos os sistemas construtivos destacaram-se negativamente. Conforme pode ser visto na seção 4.6.3.1 Métodos de preservação, estudos sobre a madeira tratada com CCA mostram que a exposição aos componentes do CCA – Cobre, Cromo e Arsênico – pode causar sérios problemas a saúde dos seres humanos e ao meio ambiente. Na maioria dos países da Comunidade Europeia o mesmo já foi banido há algum tempo. A indústria cimenteira também é uma fonte poluidora e por sua vez geradora de impactos ao meio ambiente e à saúde de acordo com aquilo que foi visto na seção 4.11.1 Impactos ambientais do concreto. Seus impactos vão desde a poluição do ar, na britagem, até a contaminação do solo, água e doenças pulmonares graves. Segundo o demonstrado na seção 4.11.3



Impactos ambientais dos blocos cerâmicos, também é possível destacar diversos pontos negativos nas etapas do processo produtivo dos blocos cerâmicos. É possível citar entre eles a degradação do solo, a poluição do ar pela emissão de CO<sub>2</sub> e os desperdícios em diversas etapas.

A Tabela 18 foi elaborada com os scores relacionados aos parâmetros ambientais estudados. Para os sistemas Wood-Frame e Alvenaria Convencional foram dados respectivamente scores +1 e -1 para ambos os fatores emissão de CO<sub>2</sub> e energia incorporada, em função dos valores calculados (Tabela 16). Os valores correspondentes para o concreto foram aproximadamente intermediários entre os anteriores (Tabela 16), de maneira que o score dado foi também intermediário, ou seja, valor zero. Como a estes indicadores junto com o indicador renovabilidade foi dado peso 2, o resultado é o que aparece na Tabela 18. De acordo com ela, no que diz respeito aos parâmetros ambientais e a partir dos scores com sinais de + e -, foi possível estabelecer semiquantitativamente que o sistema construtivo Wood-Frame é o mais sustentável, haja visto que apresentou score +7. O sistema Paredes de Concreto ficou em seguida com score +2 e o sistema Alvenaria Convencional ficou em terceiro e último lugar com score -7.

Tabela 18 - Fatores de sustentabilidade ambiental para cada sistema construtivo

| Fatores                    | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|----------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| Caráter Renovável          | -2                 | +2         | -2                     |
| Emissão de CO <sub>2</sub> | 0                  | +2         | -2                     |
| Energia Incorporada        | 0                  | +2         | -2                     |
| Desperdício                | + 2                | +1         | -1                     |
| Resíduos                   | +1                 | +1         | -1                     |
| Reciclagem e Descarte      | +1                 | -1         | +1                     |
| Total (-)                  | -2                 | -1         | -8                     |
| Total (+)                  | +4                 | +8         | +1                     |
| <b>Total</b>               | <b>+2</b>          | <b>+7</b>  | <b>-7</b>              |

Fonte: Autor, 2024

Para determinar qual sistema construtivo é o mais sustentável de acordo com os parâmetros ambientais e os sociais, é necessário somar os scores das tabelas contendo os seus respectivos fatores, Tabela 17 e Tabela 18, o que foi feito na Tabela 19. Entretanto, é importante destacar que a Tabela 19 apresenta a classificação para os sistemas construtivos no caso de habitações individuais. Nesse contexto, o parâmetro limitação geográfica e aceitação social é determinante. Desse modo, é possível perceber que, tendo em vista que quanto mais sinais +, mais sustentável é a habitação de interesse social do sistema construtivo, com base nesse estudo, o sistema construtivo com materiais mais sustentáveis é o Wood-Frame, com +5, contanto que haja aceitação social e construtora do sistema em questão no local. De forma semelhante, em segundo lugar encontra-se o sistema construtivo Paredes de Concreto, com score +3. Em terceiro lugar, bem distante, encontra-se o sistema Alvenaria Convencional com score -5.

Tabela 19 - Fatores de sustentabilidade social e ambiental para cada sistema construtivo

| Fator de Sustentabilidade | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|---------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| Social                    | 1                  | -2         | +2                     |
| Ambiental                 | +2                 | +7         | -7                     |
| Total                     | +3                 | +5         | -5                     |

Fonte: Autor, 2024

Porém, quando se considera a diferente durabilidade dos três sistemas habitacionais e a construção de habitações sociais em grande número, os resultados apresentam-se muito diferentes. Nesse sentido, é importante discutir a respeito das implicações do fator durabilidade e manutenção do sistema Wood-Frame em relação a emissão de CO<sub>2</sub> e a energia incorporada, pois conforme visto anteriormente, diversos fornecedores de madeira OSB deram garantia do produto por apenas 240 meses (20 anos) enquanto outros fornecedores de madeira serrada tratada, em caso de uso exterior, fora de contato com o solo, e sujeitas às intempéries, deram prazo de 5 anos de garantia contra fungos apodrecedores e 15 anos contra cupins.

Assim, quando é tida em conta a durabilidade dos sistemas construtivos, e considerando, num cenário otimista para Wood-Frame, vidas úteis de 100, 75 e 50 anos para os sistemas em Alvenaria Convencional, Paredes de Concreto e Wood-Frame, respectivamente, se faz necessário corrigir a Tabela 16, tendo em conta que em 100 anos deverão ser construídas no mínimo duas habitações em Wood-Frame e 1,33 habitações em Paredes de Concreto para uma habitação em Alvenaria Convencional. Estes dados estão recolhidos na Tabela 20.

Tabela 20 (Tabela 16 corrigida) – Resumo da energia incorporada e da emissão de CO<sub>2</sub> para os três tipos de habitação de interesse social considerando sua durabilidade

| Sistema Construtivo    | Emissão de CO <sub>2</sub> (kg) | Energia incorporada (MJ)        |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Alvenaria Convencional | 5.816,43                        | 72.444,28                       |
| Paredes de Concreto    | 1,33 x 4.628,55 =<br>6.171,40   | 1,33 x 59.088,75 =<br>78.785,00 |
| Wood-Frame             | 2 x 4.169,25 = 8338,50          | 2 x 48.947,28 =<br>97.894,56    |

Fonte: Autor (2024)

O resultado da Tabela 20, considerando a durabilidade, aponta que o sistema construtivo com os melhores valores de CO<sub>2</sub> e energia incorporada é a alvenaria convencional, seguido de perto pelo sistema com paredes em concreto, sendo o Wood-Frame quem apresenta os piores resultados.

Em virtude da consideração da durabilidade, além da Tabela 20, as tabelas relacionadas aos scores sociais e ambientais também foram reelaboradas. Nesse sentido, a Tabela 21 foi elaborada com os scores relacionados aos parâmetros sociais estudados. De acordo com ela, a partir das scores com sinais de + e -, foi possível estabelecer semiquantitativamente que o sistema construtivo mais sustentável do ponto de vista social é o de Alvenaria Convencional.

Tabela 21 - Fatores de sustentabilidade social para cada sistema construtivo considerando o fator durabilidade

(continua)

| Fatores                                 | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|---|--------------------|------------|------------------------|
| Limitação Geográfica e Aceitação Social | -1                 | -1         | +1                     |
| Durabilidade e Manutenção               | +1                 | -2         | +2                     |
| Desempenho Térmico e Acústico           | -1                 | +1         | -1                     |
| Segurança frente ao fogo                | +1                 | -1         | +1                     |
| Tempo de Execução                       | +1                 | +1         | -1                     |
| Total (-)                               | -2                 | -4         | -2                     |
| Total (+)                               | +3                 | +2         | +4                     |
| Total                                   | +1                 | -2         | +2                     |

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 22 também foi elaborada com os scores relacionados aos parâmetros ambientais estudados. De acordo com ela, no que diz respeito aos parâmetros ambientais e a partir dos scores com sinais de + e -, foi possível estabelecer semiquantitativamente que o sistema construtivo Paredes de Concreto é o mais sustentável, haja visto que apresentara score +6. O sistema Alvenaria Convencional ficou em seguida com score +1 e o sistema Wood-Frame ficou em terceiro e último lugar com score -1.

Tabela 22 - Fatores de sustentabilidade ambiental para cada sistema construtivo considerando o fator durabilidade

| Fatores                    | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|----------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| Caráter Renovável          | -2                 | +2         | -2                     |
| Emissão de CO <sub>2</sub> | +2                 | -2         | +2                     |
| Energia Incorporada        | +2                 | -2         | +2                     |
| Desperdício                | +2                 | +1         | -1                     |
| Resíduos                   | +1                 | +1         | -1                     |
| Reciclagem e Descarte      | +1                 | -1         | +1                     |
| Total (-)                  | -2                 | -5         | -4                     |
| Total (+)                  | +8                 | +4         | +5                     |
| Total                      | +6                 | -1         | +1                     |

Fonte: Autor (2024)

Considerando os parâmetros sociais e ambientais somados, é possível perceber, a partir dos scores com sinais de + e -, com base nesse estudo, que o sistema construtivo mais sustentável para a construção de habitações de interesse social trata-se do Paredes de Concreto com score +7 ao passo que o sistema Alvenaria Convencional é o segundo mais sustentável, com score +3, e o sistema Wood-Frame é o terceiro com score -3. A Tabela 23 demonstra isso.

Tabela 23 - Fatores de sustentabilidade social e ambiental para cada sistema construtivo considerando a durabilidade

| Fator de Sustentabilidade | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|---------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| Social                    | +1                 | -2         | +2                     |
| Ambiental                 | +6                 | -1         | +1                     |
| Total                     | +7                 | -3         | +3                     |

Fonte: Autor (2024)

É possível perceber ainda, considerando o cenário mais otimista de manutenção das residências em Wood-Frame, com substituição de material a cada 20 anos, que apesar da madeira de pinus ser um material renovável, com ciclo de corte a cada 15 anos, em um momento o material produzido a partir das novas árvores serviria apenas para a manutenção das habitações já existentes, devido à proximidade de tempo entre o ciclo de corte e o tempo de manutenção, não servindo para a construção de novas habitações de interesse social em Wood-Frame.

É um fato que dada a elevada demanda de materiais de construção, muito dificilmente será possível dispensar qualquer dos principais materiais como o concreto, por exemplo. Todavia o consumo da madeira poderia ser mais otimizado se a sua propriedade de deterioração que é determinante fosse aprimorada por meio de novos preservativos que aumentem a sua durabilidade. Desse modo, em vez de utilizar a nova madeira para manutenção, conforme visto anteriormente, esse material poderia ser utilizado para novas habitações de interesse social, atendendo melhor a demanda por habitações em larga escala ao passo que também reduziria a longo prazo o impacto ambiental correspondente à emissão de CO<sub>2</sub> e à energia incorporada. Convém destacar que, em relação a sugestão de novos preservativos, há também

outros desafios determinantes pela frente, ou seja, é essencial a existência de construtora em todas as localidades, a aceitação social, bem como que os novos preservativos não sejam classificados como perigosos como o CCA, pois além de sua relação com sérios problemas de saúde aos seres humanos, há poucos incineradores para o descarte desse material. O quadro 1 apresenta os parâmetros sociais e ambientais de sustentabilidade que precisam ser aprimorados no sistema construtivo Wood-Frame.

Quadro 1 – Parâmetros de sustentabilidade social e ambiental do sistema Wood-Frame que necessitam serem aprimorados

| Aspecto de Sustentabilidade | Parâmetro de Sustentabilidade           |
|-----------------------------|---|
| Sociais                     | Limitação Geográfica e Aceitação Social |
|                             | Durabilidade e Manutenção               |
|                             | Segurança Frente ao Fogo                |
| Ambientais                  | Emissão de CO <sub>2</sub>              |
|                             | Energia Incorporada                     |
|                             | Reciclagem e Descarte                   |

Fonte: Autor (2024)

Além disso, conforme também foi visto, não existe madeira suficiente para substituir o concreto na construção. Assim sendo, diante da elevada demanda de materiais de construção, muito dificilmente será possível dispensar qualquer dos principais materiais.

Nesse estudo, o sistema construtivo Paredes de Concreto demonstrou ser o segundo sistema mais sustentável no aspecto social, e o primeiro quando somados os aspectos sociais e ambientais, sendo sua maior limitação o caráter não renovável. Entretanto convém destacar que há desafios determinantes que ainda precisam ser vencidos. Em primeiro lugar, o fator limitação geográfica e aceitação social é determinante. É necessário que toda localidade seja atendida por empresas que fabricam habitações de interesse social em Paredes de Concreto para que todos os

usuários possam ter acesso a esse sistema. Ademais, é importante que o sistema goze de excelente aceitação por parte dos usuários e profissionais da construção civil, que poderiam parar de oferecer resistência se conhecerem melhor as suas vantagens associadas à sustentabilidade. Também é importante que o sistema tenha melhor desempenho térmico e acústico. É igualmente fundamental que o governo desenvolva programas sociais que deem incentivos a empresas que trabalhem com o esse sistema construtivo bem como reduza as taxas para incentivar as pessoas a quererem construir. O quadro 2 apresenta os parâmetros sociais e ambientais de sustentabilidade que precisam ser aprimorados no sistema construtivo Paredes de Concreto.

Quadro 2 – Parâmetros de sustentabilidade social e ambiental do sistema Paredes de Concreto que necessitam serem aprimorados

| Aspecto de Sustentabilidade | Parâmetro de Sustentabilidade           |
|-----------------------------|---|
| Sociais                     | Limitação Geográfica e Aceitação Social |
|                             | Desempenho Térmico e Acústico           |

Fonte: Autor (2024)

No que diz respeito ao sistema construtivo Alvenaria Convencional, ele demonstrou ser o primeiro sistema construtivo mais sustentável em termos de sustentabilidade social e o segundo em geral para a construção de habitações de interesse social, devido ao baixo score em sustentabilidade ambiental. Isso se deve não apenas ao consumo da lenha, poluição do ar por meio das cinzas e pelo CO<sub>2</sub> liberado pela queima dos blocos cerâmicos, mas também pelo processo de fabricação do concreto e do concreto armado da estrutura, os quais também envolvem aquecimento e altos valores por quilograma de material tanto de CO<sub>2</sub> emitido quanto de energia incorporada. Nesse sentido, de acordo com o que foi possível perceber, esse sistema também apresenta desafios. Resta ainda evoluir tanto em parâmetros ambientais quanto sociais. Em relação aos parâmetros sociais, é importante que ele

progrida em relação ao desempenho térmico e acústico bem como em relação ao tempo de término da execução de habitação. No que diz respeito aos parâmetros ambientais, convém que amplie sua qualidade em alguns pontos como o desperdício e os resíduos. O Quadro 3 resume isso.

Quadro 3 – Parâmetros de sustentabilidade social e ambiental do sistema Alvenaria Convencional que necessitam serem aprimorados

| Aspecto de Sustentabilidade | Parâmetro de Sustentabilidade |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Sociais                     | Desempenho Térmico e Acústico |
|                             | Tempo de Execução             |
| Ambientais                  | Emissão de CO <sub>2</sub>    |
|                             | Energia Incorporada           |
|                             | Reciclagem e Descarte         |

Fonte: Autor (2024)

A identificação dos materiais que se destacam menos em cada aspecto de sustentabilidade é importante para o possível desenvolvimento futuro de soluções que aprimorem esses respectivos parâmetros, possibilitando assim futuramente um melhor atendimento à elevada demanda de materiais por meio não apenas dos sistemas construtivos Alvenaria Convencional, mas especialmente pelos sistemas construtivos Paredes de concreto e Wood-Frame.

### 5.3 ETAPA 3: ESTUDO ECONÔMICO

Na terceira etapa, foi efetuado um estudo econômico comparativo relacionado à construção das habitações de interesse social em Wood-Frame, em Paredes de Concreto e em Alvenaria Convencional. O estudo abrange valores de material e de mão de obra. Os valores sofrem mudanças com o passar do tempo, portanto trata-se de um estudo aproximado.



A análise de custos é importante, pois a construção implica gastos consideráveis. Quando se trata de habitações de interesse social, o assunto é mais importante ainda, tendo em vista o número expressivo de habitações que são construídas com dinheiro público no Brasil. Por isso o orçamento deve ser determinado, a fim de indicar se a escolha de determinado sistema construtivo é viável ou não. É importante destacar que a escolha de um método construtivo relativamente mais sustentável em termos econômicos pode possibilitar a maximização do número de unidades habitacionais construídas, atendendo a um maior número de pessoas em situação de vulnerabilidade social.

Nesse sentido, em relação ao preço do Wood-Frame, foram consultadas três empresas. O valor fornecido pela primeira empresa por metro quadrado de construção foi o do CUB, que no respectivo mês de outubro de 2023 era de R\$ 2.572,55 por metro quadrado. A segunda empresa forneceu o valor de R\$ 1800,00 por metro quadrado enquanto a terceira afirmou que o seu valor seria o mesmo da habitação de interesse social em Alvenaria Convencional (R\$ 2.572,55). Dessa forma, o preço médio do metro quadrado de uma habitação de interesse social em Wood-Frame foi de R\$ 2.315,03. A Tabela 24 apresenta os valores do metro quadrado para cada empresa, a média e o desvio padrão.

Tabela 24 - Valores do metro quadrado para cada empresa de Wood-Frame, a média e o desvio padrão.

| Empresa   | Preço        | Média       | Desvio     | Desvio Padrão |
|-----------|--------------|-------------|------------|---------------|
| Empresa 1 | R\$ 2.572,50 | R\$ 2.315,0 | R\$ 257,50 | R\$ 364,18    |
| Empresa 2 | R\$ 1.800,00 |             | R\$ 515,00 |               |
| Empresa 3 | R\$ 2.572,50 |             | R\$ 257,50 |               |

Fonte: Autor (2024)

Em relação ao preço da habitação de interesse social em Paredes de Concreto, o valor fornecido por uma empresa especializada foi de R\$ 2.401,99 por metro quadrado de construção.

O valor fornecido pelo preço do metro quadrado de construção em Alvenaria Convencional por uma das empresas consultadas foi o do CUB, ou seja, R\$ 2.572,50. Outras empresas forneceram os valores de R\$ 2300,00 e R\$ 2430,00 por metro quadrado. Dessa forma, o preço médio do metro quadrado de uma habitação de interesse social em Alvenaria Convencional foi de R\$ 2.434,18. A Tabela 25 apresenta os valores do metro quadrado para cada empresa, a média e o desvio padrão.

Tabela 25 - Valores do metro quadrado para cada empresa de Alvenaria Convencional, a média e o desvio padrão.

| Empresa   | Preço        | Média        | Desvio     | Desvio Padrão |
|-----------|--------------|--------------|------------|---------------|
| Empresa 1 | R\$ 2.572,50 | R\$ 2.434,20 | R\$ 138,30 | R\$ 111,29    |
| Empresa 2 | R\$ 2300,00  |              | R\$ 134,20 |               |
| Empresa 3 | R\$ 2430,00  |              | R\$ 4,20   |               |

Fonte: Autor (2024)

A Tabela 26 resume o valor médio do metro quadrado para cada sistema construtivo e o custo correspondente para uma habitação de 40 m<sup>2</sup> de área:

Tabela 26 – Valor médio do m<sup>2</sup> por sistema construtivo e da habitação correspondente de 40 m<sup>2</sup> de área

| Sistema Construtivo    | Valor Médio do m <sup>2</sup> | Valor da habitação de 40 m <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------------------------|---|
| Wood-Frame             | R\$ 2.315,00                  | 92.600,00                               |
| Paredes de Concreto    | R\$ 2.401,99                  | 96.079,60                               |
| Alvenaria Convencional | R\$ 2.434,20                  | 97.368,00                               |

Fonte: Autor (2024)

Por tanto, quando se consideram habitações isoladas, a construção em Wood-Frame pode ser considerada a mais sustentável em termos econômicos, apesar das pequenas diferenças de preço entre os três sistemas.

Por outro lado, quando é tida em conta a durabilidade dos sistemas construtivos, e considerando, num cenário otimista para Wood-Frame, vidas úteis de 100, 75 e 50 anos para os sistemas em Alvenaria Convencional, Paredes de Concreto e Wood-Frame, respectivamente, se faz necessário corrigir a tabela 26, tendo em conta que em 100 anos deverão ser construídas no mínimo duas habitações em Wood-Frame e 1,33 habitações em Parede de Concreto para uma habitação em Alvenaria Convencional. Estes dados estão recolhidos na Tabela 23 corrigida.

Tabela 27 (Tabela 26 corrigida) – Valor médio do m<sup>2</sup> por sistema construtivo considerando a durabilidade

| Sistema Construtivo    | Valor Médio do m <sup>2</sup>   |
|------------------------|---------------------------------|
| Wood-Frame             | R\$ 2.315,00 x 2 = R\$ 4.630,00 |
| Paredes de Concreto    | R\$ 2.401,99 x 1,33 = 3.194,65  |
| Alvenaria Convencional | R\$ 2.434,20                    |

Fonte: Autor (2024)

Deste modo, o sistema mais sustentável para a habitação social em termos económicos considerando a durabilidade da construção, seria a Alvenaria Convencional. Em segundo lugar estaria o sistema Paredes de Concreto e em terceiro lugar o sistema Wood-Frame.

Conforme foi visto na Seção 4.13, o governo federal confirmou em dezembro de 2023 que zerar o déficit habitacional é uma das metas mais importantes da gestão, e que, até 2026, o Governo Federal entregará dois milhões de unidades habitacionais no Brasil. Nesse contexto, é importante comparar o valor investido para construir dois milhões de unidades habitacionais, em cada sistema construtivo, medindo 40 metros quadrados. O resultado aparece na Tabela 28.

Tabela 28 – Total de investimento para a construção de unidades habitacionais de 40 m<sup>2</sup> de área para atender 2 milhões de famílias, em cada sistema construtivo, considerando a durabilidade

| Sistema Construtivo    | Preço da Habitação (R\$) | Número de famílias atendidas | Total de Investimento (R\$) |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Wood-Frame             | 185.200,00               | 2 milhões                    | 370.400.000.000             |
| Paredes de Concreto    | 127.786,00               | 2 milhões                    | 255.572.000.000             |
| Alvenaria Convencional | 97.368,00                | 2 milhões                    | 194.736.000.000             |

Fonte: Autor (2024)

É possível perceber que o sistema construtivo mais econômico é o de Alvenaria Convencional, pois com relativamente o menor investimento será possível construir dois milhões de unidades habitacionais, 194 bilhões e 736 milhões de reais.

Destaca-se que com o custo de 2 milhões de habitações sociais em alvenaria convencional, que atenderiam 2 milhões de famílias, poderiam ser atendidas apenas 1.523.923 famílias com habitações em concreto ou 1.051.490 famílias com habitações em Wood-Frame. Isso se trata respectivamente de uma redução significativa de 23,80% e de 47,43% no número de famílias atendidas.

É importante destacar também a influência econômica significativa do parâmetro durabilidade em relação a construção de duas milhões de unidades de habitação de interesse social. Nesse sentido, quando considerado o valor total a ser investido antes e depois da consideração do parâmetro de durabilidade, é possível perceber que a diferença varia entre 185 bilhões e 200 milhões de reais e 63 bilhões, 413 milhões e 800 mil reais, em Wood-Frame e Paredes de Concreto, respectivamente. Conforme pode ser visto na Tabela 29, tratam-se de valores expressivos.

Tabela 29 – Diferença econômica total associada à consideração do parâmetro durabilidade de sustentabilidade na construção de 2 milhões de habitações

|  | Wood-Frame (R\$) | Paredes de Concreto (R\$) | Alvenaria Convencional (R\$) |
|--|------------------|---------------------------|------------------------------|
| <b>Valor Total Sem Considerar a Durabilidade</b> | 185.200.000.000  | 192.159.200.000           | 194.736.000.000              |
| <b>Valor Total, Considerando a Durabilidade</b>  | 370.400.000.000  | 255.572.000.000           | 194.736.000.000              |
| <b>Diferença Total</b>                           | 185.200.000.000  | 63.412.800.000            | -                            |

Fonte: Autor (2014)

Diante dessa diferença econômica vultosa relacionada ao parâmetro de durabilidade da sustentabilidade, a identificação dos materiais como madeira e concreto, como os que se destacam negativamente nesse parâmetro de sustentabilidade, é muito importante. Desse modo, poderá ser possível o desenvolvimento futuro de soluções que aprimorem esses respectivos parâmetros, possibilitando assim futuramente um atendimento mais econômico à elevada demanda de materiais por meio não apenas do sistema construtivo Alvenaria Convencional, mas especialmente pelos sistemas construtivos Wood-Frame e Paredes.

Por fim, foi importante perceber quais materiais são mais ou menos sustentáveis economicamente. Nota-se que são informações valiosas para formuladores de políticas públicas, pesquisadores, profissionais da construção civil e demais partes interessadas na promoção de soluções habitacionais sustentáveis.

#### 5.4 COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DO ESTUDO

Uma vez estudados os indicadores sociais, ambientais e econômicos dos três modelos habitacionais, é possível ter uma visão de conjunto acerca da sustentabilidade dos três sistemas de construção.

A Tabela 30 apresenta a classificação de sustentabilidade para os sistemas construtivos no caso de habitações individuais, quando alguém deseja construir uma única habitação para morar. A ordem de classificação foi estabelecida tomando como base os resultados das tabelas 17, 18 e 26. Dado que é a mais sustentável em termos ambientais e econômicos, o modelo mais sustentável corresponde à construção em Wood-Frame. Entretanto, convém destacar que, para que isso aconteça, ainda é determinante que o local de construção da habitação seja atendido por uma construtora desse sistema. Nesse caso, apesar de ser de manutenção constante, trata-se de uma construção rápida e de menor custo.

Tabela 30 - Fatores de sustentabilidade para cada sistema construtivo considerando habitações isoladas

| Fator de Sustentabilidade         | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|-----------------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| Social                            | 2º                 | 3º         | 1º                     |
| Ambiental                         | 2º                 | 1º         | 3º                     |
| Econômico                         | 2º                 | 1º         | 3º                     |
| Classificação de Sustentabilidade | 2º                 | 1º         | 3º                     |

Fonte: Autor (2024)

Porém, quando se considera a diferente durabilidade dos três sistemas habitacionais e a construção de habitações sociais em grande número, os resultados apresentam-se muito diferentes (Tabela 31). A ordem de classificação foi estabelecida tomando como base os resultados das tabelas 21, 22 e 28. Como pode se apreciar na Tabela 31, o sistema em Wood-Frame resulta ser o menos adequado, tanto em termos de sustentabilidade social quanto ambiental e econômica. Isso é devido a que o fator durabilidade é determinante, considerando uma vida útil das habitações sociais de cem anos, seria necessário construir o dobro de vivendas em Wood-Frame do que em Alvenaria Convencional para atender o mesmo número de famílias. É importante perceber que desse modo o parâmetro durabilidade impacta o preço que se encarece, na sustentabilidade ambiental que diminui e nos indicadores sociais que resultam

prejudicados. Por outro lado, ao nos defrontarmos com construções em larga escala, o sistema Wood-Frame tem potencial para poder ser futuramente o mais sustentável, contanto que haja o aprimoramento principalmente nos parâmetros como a aceitação social, a presença de construtoras em todos os locais, a durabilidade e o descarte.

Tabela 31 - Fatores de sustentabilidade para cada sistema construtivo considerando a durabilidade

| Fator de Sustentabilidade         | Parede de Concreto | Wood-Frame | Alvenaria Convencional |
|-----------------------------------|--------------------|------------|------------------------|
| Social                            | 2º (~1º)           | 3º         | 1º                     |
| Ambiental                         | 1º (↑↑)            | 3º         | 2º                     |
| Econômico                         | 2º                 | 3º         | 1º                     |
| Classificação de Sustentabilidade | 2º (1º)            | 3º         | 1º (2º)                |

Fonte: Autor (2024)

Os resultados globais de sustentabilidade das habitações em Alvenaria Convencional e em Paredes de Concreto são muito parecidos. Olhando apenas para a ordem de classificação, o sistema em Alvenaria Convencional ocupa o primeiro lugar em sustentabilidade social e econômica e o segundo em sustentabilidade ambiental (Tabela 31). Sendo assim, este seria o sistema mais sustentável para a construção de habitações sociais.

Por outro lado, um estudo mais aprofundado indica que os escores de sustentabilidade social dos sistemas em alvenaria convencional e paredes de concreto são muito próximos, +2 e +1 pontos respectivamente (Tabela 21), em tanto que a sustentabilidade ambiental do sistema em paredes de concreto é muito mais elevada que a do sistema em alvenaria, +6 e +1 pontos respectivamente (Tabela 22).

Assim, com base no estudo efetuado, é possível definir que entre os três sistemas de construção, Alvenaria Convencional, é o mais sustentável para a construção de habitações de interesse social. Em primeiro lugar, porque, graças à ocupação do primeiro lugar em relação aos parâmetros sociais, a meta ambiciosa do Governo Federal, que estabelece a entrega das duas milhões de unidades

habitacionais até 2026, pode começar a ser atendida de imediato, tendo em vista que esse sistema se destacou positivamente em relação aos parâmetros de limitação geográfica e aceitação social. Assim, para atender a essa demanda, trata-se do único sistema em que existem empresas em todas as localidades para fabricar habitações de interesse social, e que gozam da aceitação necessária por parte dos usuários, arquitetos e engenheiros. Em segundo lugar, graças a ocupação do primeiro lugar em relação ao aspecto econômico, o custo para a construção das 2 milhões de habitações será menor, em relação ao sistema Wood-Frame, em aproximadamente R\$ 176 bilhões, o que corresponde a aproximadamente 50% a menos (Tabela 28). Por outro lado, pode-se definir também que se tratam de desafios a otimização de alguns parâmetros sociais e ambientais de sustentabilidade, como desempenho térmico e acústico, tempo de execução de obra, desperdício e resíduos.

Além disso, com base nessa pesquisa, também é possível determinar que entre os três sistemas de construção, o sistema Paredes de Concreto apresenta um grande potencial para o futuro como solução habitacional sustentável para a produção de habitação de interesse social em larga escala. Nesse sentido, devido aos scores muito próximos ao primeiro lugar em relação aos parâmetros sociais, o sistema se destaca positivamente no que diz respeito à rapidez para conclusão de obra de habitação, durabilidade, desempenho e segurança, entretanto ainda é um obstáculo determinante o parâmetro social de limitação geográfica e aceitação social. Desse modo, para atender a demanda, é preciso que ainda venham a existir empresas relacionadas ao sistema em todas as localidades para a fabricação habitações de interesse social, e que ele ainda também venha a gozar da aceitação por parte dos usuários, arquitetos e engenheiros. Tomar medidas em relação a esse desafio é fundamental, pois, graças a ocupação do primeiro lugar em relação ao aspecto ambiental, a sustentabilidade ambiental do sistema é muito mais elevada que a do sistema Alvenaria Convencional. Desse modo, trata-se do sistema que emite pouco CO<sub>2</sub>, contém pouca energia incorporada, produz menos desperdícios e resíduos e é passível de reciclagem (Tabela 22). Além disso, foi possível definir que a otimização



do parâmetro social durabilidade também é determinante, tendo em vista que a devida redução na necessidade de manutenção do sistema pode torná-lo o sistema mais sustentável em todos os aspectos de sustentabilidade, social, ambiental e econômico. Ademais, foi possível definir, haver a necessidade de novas soluções a respeito de seu desempenho térmico e acústico.

Diante da segunda colocação global do sistema Paredes de Concreto, pode ser definido o papel importante do governo na superação dos obstáculos identificados. Isso pode ser realizado por meio de várias medidas, incluindo o investimento em pesquisas adicionais para aprimorar os parâmetros necessários do sistema Paredes de Concreto. Além disso, o desenvolvimento de novos programas sociais que ofereçam incentivos às empresas que adotam esse sistema construtivo pode estimular sua adoção em larga escala. Outra medida significativa seria a redução das taxas e encargos associados à construção com Paredes de Concreto. Isso não apenas tornaria essa opção mais atrativa para os construtores, mas também incentivaria os proprietários a optarem por esse método construtivo.

## **6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **6.1 CONCLUSÕES**

O sistema construtivo mais sustentável para a construção de habitações de interesse social é o Alvenaria Convencional. Para a construção de 2 milhões de habitações o seu custo será menor em aproximadamente R\$ 176 bilhões (50%) em relação ao sistema Wood-Frame. Esse sistema também resulta em menores emissões de CO<sub>2</sub> e energia incorporada, especialmente devido à durabilidade.

O sistema construtivo Paredes de Concreto tem o potencial de se tornar futuramente a opção mais sustentável, desde que ocorra um aprimoramento significativo principalmente dos parâmetros de aceitação social, de disponibilidade de construtoras em todas as localidades e de durabilidade.

Contanto que haja aceitação social e construtora desse sistema no local, no contexto de construção de habitação individual, o sistema construtivo mais sustentável é Wood-Frame. Apesar da necessidade de manutenção constante, trata-se de uma construção rápida e de menor custo inicial. Ao defrontar-se com construções em larga escala, ele também poderá ser futuramente o mais sustentável, desde que haja aprimoramento principalmente em parâmetros como a aceitação social, a presença de construtoras em todos os locais, a durabilidade e o descarte.

Dada a elevada demanda de materiais de construção voltados às habitações de interesse social, será difícil dispensar quaisquer materiais aqui estudados. A identificação dos materiais que se destacam menos em cada aspecto de sustentabilidade é crucial para o possível desenvolvimento futuro de soluções que aprimorem esses respectivos parâmetros, possibilitando assim futuramente um melhor atendimento à elevada demanda de materiais também por meio dos sistemas construtivos Paredes de concreto e Wood-Frame.

A indústria da construção civil desempenha um papel vital no desenvolvimento do país. A moradia é reconhecida como direito fundamental dos brasileiros. A seleção criteriosa de materiais de construção civil pode aliviar o sofrimento da população afetada pelo déficit habitacional, e contribui para mitigar os diversos impactos da indústria da construção. Portanto, é crucial que autoridades públicas, universidades, escolas, o setor privado, associações profissionais, comunidades locais, ONGs, meios de comunicação e outras partes interessadas em soluções habitacionais adotem medidas mais responsáveis, com foco prioritário desde o início na sustentabilidade.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

No que concerne ao sistema construtivo Alvenaria Convencional, embora o tijolo cerâmico seja o mais utilizado nas construções atualmente, recomenda-se a sua substituição pelo bloco de concreto de vedação, que é mais sustentável ambientalmente, apesar de ser aproximadamente 30% mais caro.

No tocante ao sistema construtivo Alvenaria Convencional, propõem-se mais pesquisas no que tange aos parâmetros de sustentabilidade social e ambiental, como

o desempenho termoacústico, o tempo de execução de obra, o desperdício, os resíduos, visto que esses parâmetros necessitam de aprimoramentos.

Em relação ao sistema Paredes de Concreto, propõem-se mais pesquisas que lidem com os obstáculos e busquem soluções para a sua construção em larga escala, como a sua aceitação social, a abertura de empresas desse sistema em todas as localidades e a durabilidade.

Por último, quanto ao sistema construtivo Wood-Frame, sugerem-se mais estudos que enfrentem os desafios e busquem soluções tanto para a construção individual quanto para a construção de habitações de interesse social em larga escala, como o aumento de florestas plantadas e o aprimoramento de parâmetros como a aceitação social, a abertura de empresas desse sistema em todas as localidades, a durabilidade, o descarte, e os impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

ABCIC – Associação Brasileira de Construção Industrializada e Concreto. Disponível em: < <https://abcic.org.br/>>. Acesso em: 20, nov., 2023.

ABCP — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Boletim Técnico - Guia básico de utilização do cimento portland**. 7ª ed. São Paulo, 2002  
<http://www.abep.org.br/biblioteca> . Acesso em 3/2022.

AGÊNCIA BRASIL, Brasília, 28, novembro, 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2023-11/conselho-curador-do-fgts-aprova-orcamento-de-r-11765-bi-para-2024>. Acesso em: 24, janeiro, 2024

ANICER – Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Disponível em: <<https://anicer.com.br/anicer/setor/>>. Acesso em 20 de abril de 2024

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10157**. Aterros de resíduos perigosos – Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos — Classificação. Rio de Janeiro-RJ, 2004.

AMORIM, Anderson Anacleto de. “**Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado Aparentes**”. Monografia (Especialista em Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso** – Norma registrada da ABNT NBR 16143 – 18p.

ASHBY, M. F. **Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice**. 3 ed. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2021.

ASHBY, M. F. **Materials and Sustainable Development**. 1 ed. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2015.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. *Materiais de Construção*. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022. V. 2.

BLUMENSCHNEIN, Raquel Neves; Maury, MARIA Beatriz. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em debate. Brasília: 2012.

BRITO, Dussarrat Leandro. **Patologia em estruturas de madeira**: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. Dissertação (Mestrado em engenharia de estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos: 2014.

BRUNDTLAND, G H et al. *Our common future ; by world commission on environment and development*. . Oxford: Oxford University Press. 1987

CAJAZEIRA, Maurício de Oliveira. **Impactos e conflitos na comunidade do entorno da fábrica de cimento de Nossa Senhora do Socorro/SE**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). São Cristóvão: 2011.

CALLISTER JR, William D, RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais – uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CALLISTER JR, William D, RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais – Uma abordagem integrada**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CAMARGO, Paulo César Vlasman de. **Minha Casa, Minha Vida: Aspectos Sociais e Econômicos**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro: 2020.

CAMPOS, Janaina Anadia Ortiz de. **Método para avaliação da durabilidade e reabilitação da madeira de estruturas em serviço**. Dissertação (Mestrado em ciência e engenharia de materiais). USp. São Carlos: 2002.

CANDATEN, Luana. **Alternativas de uso de resíduos de madeira através da extração de metais e manufatura de painéis MDP**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Piracicaba: 2021.

CARVALHO, Marly Monteiro de; MORIOKA, Sandra Naomi. Sustentabilidade e gestão de projetos: um estudo bibliométrico. **Revista Production**. São Paulo. 26(3), 656-674, jul./set. 2016.

CASTRO, Vinicius Gomes de. **Deterioração e preservação da madeira** / Organizadores, Vinicius Gomes de Castro, Pompeu Paes Guimarães, Autores, Vinicius Gomes de Castro et al. — Mossoró: EdUFERSA, 2018. 213p.

CBCS — Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Diretrizes de ação. 2013. Disponível em <[http://www.cbcs.org.br/\\_5dotSystem/userFiles/Sobre%20CBCS/CBCS\\_Diretrizes%20de%20Acao\\_rev1.pdf](http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/Sobre%20CBCS/CBCS_Diretrizes%20de%20Acao_rev1.pdf)>. 2013. Acesso em: 29 dez. 2023.

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Em 10 anos, 'Minha Casa, Vida Vida' impacta déficit e promove desenvolvimento social**. Disponível em: <<https://cbic.org.br/em-10-anos-minha-casa-vida-vida-impacta-deficit-e-promove-desenvolvimento-social/>> Acesso em: 10 dez. 2023.

CNN BRASIL, São Paulo, 20, março, 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/lula-regulamenta-novo-minha-casa-minha-vida-saiba-como-vai-funcionar/>

CRUZ, Maycon Esteves da. MARCO, Gerson de. FLORIAN, Fabiana. Estudo comparativo entre alvenaria e parede de concreto: vantagens e desvantagens. **Revista RECIMA21**, v.3, n.1, 2021, p. 1-13, out., 2022.

Construtora Comtempla. Disponível em: <https://contempla.eng.br>. Acesso em: 19 jan. 2024.

CORREA, Ronan. **Caracterização Química e Morfológica da Madeira de Cupressus Lusitanica Mill para Produção de Polpa Celulósica**. Curitiba. Monografia (Trabalho de conclusão de curso), Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba, 2016.

Daré, Monica. **Custos e orçamentos**. 2016. Notas de aula.

DE MEDEIROS DOMINGOS, DÉBORA ; SCUSSEL, RAHISA ; CANEVER, SÍLVIA BETTA ; SOARES, BÁRBARA QUEIROZ ; ANGIOLETTO, ELIDIO ; BERNARDIN, A.M. ; PICH, C. T. . Toxicity of fly ash effluent from the combustion of (chromated copper arsenate)-treated wood. **Cleaner Materials**, v. 3, p. 100051, 2022.

ESPÍNDOLA, Luciana da Rosa. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial exigido pelo Programa de PósGraduação em Engenharia Civil – PPGEC (Mestrado em Engenharia Civil). Florianópolis: 2010.

ESTEVES, Hugo Cardoso; MATVIJENKO JUNIOR, Jorge. Concreto pré-moldado: características, benefícios e limitações em sua utilização. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas da FAIT**. Itapeva. n. 2. Novembro, 2020.

ESTUQUI FILHO, Carlos Adalberto. **A durabilidade da madeira na arquitetura sob a ação dos fatores naturais: estudo de casos em Brasília**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado - UFRGS. Porto Alegre, 2003.

FAVRETTO, Julia. ROZA, Érico Clévio da. Estudo avaliativo do sistema wood frame em comparação ao sistema de alvenaria convencional para residências populares. **Revista RECIMA21**, v.4, n.7, 2023, p. 1-33, out., 2022.

FERREIRA, Tamiris Capellaro; CALDANA, Adriana Cristina Ferreira; BATALHÃO, André Cavalcane da Silva; ALVES, Marlon Fernandes Rodrigues; PALIARI, José Carlos. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: o impacto de grandes representantes da construção brasileira. **Revista Ambiente & Sociedade**. São Paulo. Vol. 26, 2023.

FREITAS, Lúcia Santana; MACIEL, Dayanna dos Santos Costa. Análise do processo produtivo de uma empresa do segmento de cerâmica vermelha à luz da produção mais limpa. **Revista Produção Online**, Florianópolis, SC, v.13, n. 4, p. 1355-1380, out./dez. 2013.

GASPARIN, José Felipe. **Composição de módulo popular de wood frame e madeira mineralizada**. Monografia de especialização. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Curitiba: 2018.

GAVA, Maristela. **Viabilidade técnica e econômica da produção de componentes construtivos para habitação social utilizando madeira serrada de pinus de terceira classe de qualidade**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). São Carlos: 2005.

GOMES, Jefferson de Oliveira; LACERDA, Juliana Ferreira Santos Bastos. Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: análise do estado da arte. **Revista E-tech**, Florianópolis, v.7, n.2, p. 167-186, nov., 2014.

GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**: a estrutura de um setor de planejamento técnico. 4 ed. São Paulo: PINI, 2004.

GONÇALVES, Maíza Steffany Duarte; LACERDA, Italo Manuel. Uma análise comparativa das vantagens e desvantagens entre a alvenaria estrutural e a alvenaria convencional: uma revisão de literatura. **Revista FT**, Rio de Janeiro. edição 117, dez., 2022.

GRABNER, Karin Cangela; MARTINS, Maurício Silveira. Requisitos de Controle de Qualidade para Produção de Painéis Estruturais Pré-fabricados de Concreto. In: Encontro Nacional Betão Estrutural, 2018, Lisboa.

Houaiss, A., Villar, M. S., & Franco, F. M. M. (2009). Dicionário Houaiss da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Objetiva.

HRDLICKA, Tomas. Wood vs. brick: Impact on investment costs of houses. **Journal of Building Engineering**, v. 49, may 2022.

INVIDIATA, Andrea; LAVAGNA, Monica; GHISI, Enedir. **Building and Environment**, v. 139, july 2018, Pages 58-68.

JOHN, Vanderle M. Título do capítulo. In: ISAIA, G. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ed. G. C. Isaia. 3ªed. São Paulo, IBRACON, 2017.

KATZ, S. A.; SALEM, H. Chemistry and toxicology of building timbers pressure-treated with chromated copper arsenate: a review. **Journal of Applied Toxicology** 25, pp. 1-7. Wiley InterScience, 2005.

LIMA, G. L. (1990). **Tecnologia de construção em madeira de reflorestamento de pinus spp para habitação de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990. 2v.



LOPES, Rayane Campos; OLIVEIRA, Andrielli Morais de; CASCUDO, Oswaldo. Modelos preditivos de vida útil de estruturas de concreto sujeitas à iniciação da corrosão de armaduras por cloretos: contribuição ao estado da arte por meio de revisão sistemática da literatura – Parte 1. **Revista Matéria**, v.27, n.2, p.1-20, 2022.

LU, Hongyou; YOU, Kairui; FENG, Wei. ZHOU, Nan. FRIDLEY, David. PRICE, Lynn. CAN, Stephane de la Rue du. Reducing China's building material embodied emissions: Opportunities and challenges to achieve carbon neutrality in building materials. **iScience**, v. 27, Issue 3, 15 March 2024.

MARRERO, Madelyn. Holistic assessment of the economic, environmental, and social impact of building construction. Application to housing construction in Andalusia. **Journal of Cleaner Production**, v. 434, january 2024.

MARQUES, Cristian Teixeira. INDICADORES DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Revista IMPACT Projects**. Santana do Araguaia. 1(1), 75-88.

MASS, Bárbara Holzmann. TAVARES, Sergio Fernando. Quantidade de resíduos de construção na obra de uma habitação de Isf comparada com uma em alvenaria convencional. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**. Curitiba, PR, v.2, n.2, 41, jul/dez 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE -MMA. Construção Sustentável. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3osustent%C3%A1vel>>. Acesso em: nov, 2023.

MOGHAYEDI, Alireza. Towards a net-zero carbon economy: A sustainability performance assessment of innovative prefabricated construction methods for affordable housing in Southern Africa. **Sustainable Cities and Society**, v. 99, december 2023.

NABUT NETO, ABDALA C. (2011). **Energia Incorporada e Emissões de CO2 de Fachadas. Estudo de Caso do Steel Frame para Utilização em Brasília**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Publicação E.DM-009A/11, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 117p.

NASCIMENTO, Odirlei Garcia do. **Sistema de gestão da qualidade: estudo em obra do programa minha casa minha vida no interior de São Paulo**. Dissertação. (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: 2017.

NÄSSÉN, Jonas. Concrete vs. wood in buildings – An energy system approach. **Building and Environment**, v. 51, p. 361-369, may 2012.

NÓBREGA, Érica Silva da. **Tratamento de agregado reciclado de concreto para produção de concreto com função estrutural**. Dissertação (mestrado em estruturas e construção civil). Universidade de Brasília. Brasília: 2022.

OLIVEIRA, Luciana. **Tecnologia de Painéis Pré-fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachada de Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 191. 2002.

OMER, MOHAMED. A conceptual framework for understanding the contribution of building materials in the achievement of Sustainable Development Goals (SDGs). **Sustainable Cities and Society**, v.52, January 2020.

PEIXOTO, Allana de Deus. **Utilização de Painéis Pré-Fabricados de Concreto Visando Racionalização Construtiva**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, p. 170. 2015.

PRAZERES, Fabiano da Silva dos, ALBERTI, Eduarda Grobe, ARAKAWA, Flávia Sayuri. Sistema construtivo em wood frame como alternativa inovadora para o desenvolvimento sustentável no Brasil. **Revista Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.3, p. 20360-20380, mar., 2022.

PUNHAGUI, K. R. G. **Potencial de reducción de las emisiones de CO2 y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera**. PhD Thesis (to be published)—Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya y Universidade de São Paulo, 2014

RODEL, Norma Mercedes Caballero. **Contribuição ao estudo do Ecodesign na Seleção de Materiais para Construção de Residências Unifamiliares em Ambientes Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 189. 2005.

ROZA, Érico Clévio da; FAVRETO, Julia. Estudo avaliativo do sistema wood frame em comparação ao sistema de alvenaria convencional para residências populares. RECIMA21 - **Revista Científica Multidisciplinar**. v.4, n.7, 2023.

SANTOS, A. F. et al. Estudo de Implantação de Projeto Sustentável Utilizando Wood Frame. **Revista Eletrônica Multidisciplinar Unifacear**, Araucária, v.2, n. 1, p. 1-15, jun. 2016. Quadrimestral. Disponível em: [http://revista.facear.edu.br/edicao/\\$/volume-2-ano-5-agosto-de-2016](http://revista.facear.edu.br/edicao/$/volume-2-ano-5-agosto-de-2016). Acesso em: 17 nov.2023.

SANTOS, J. C. ; GONÇALVES, R.; NERI, A. C. (2000). **Avaliação da força paralela obtida no corte ortogonal considerando as direções tangencial e radial**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: IBRAMEM. CD-ROM.

SANTOS, Marcelo Ribeiro. **Efeito do Tratamento Com Ciclos de Molhagem e Secagem na Composição Química das Fibras Vegetais de Sisal e Juta com Perspectiva para Utilização como Reforço em Compósitos Cimentícios**. Dissertação (Mestrado em Ciências), Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

SCARI, Pamela; SANTOS, Odair. Patologias em Estruturas de Concreto Armado. **Revista Boletim do Gerenciamento**. 2021.

SERRA, Sheyla M. B.; ZEULE, Ludmila de Oliveira. A sustentabilidade aplicada aos pré-moldados de concreto. **Revista Industrializar em concreto**. v. 5. p. 33-44. 2015.

SHIGUE, ERICH KAZUO. **Difusão da construção em madeira no Brasil**: Agentes, ações e produtos. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (Mestrado em Ciências). São Carlos: 2018.

SILVA, Rúbia Tanísa da. **Estudo da durabilidade de concretos com a substituição do cimento por cinza de casca de arroz sob ação de sulfatos**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 03 jul. 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/2561>.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Custo Unitário Básico (CUB/m<sup>2</sup>)**: principais aspectos. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112p.

SOIMAKALLIO, S. et al. Climate Change Mitigation Challenge for Wood Utilization: The Case of Finland. **Environmental Science Technology**, v. 50, p. 5127-5134, 2016.

Souza, R. V., & Demenighi, A. L. (2017). **TRATAMENTOS PRESERVANTES NATURAIS DE MADEIRAS DE FLORESTA PLANTADA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. IX Sustentável, 3(1), 84–92. <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2017.v3.n1.84-92>

UFSC. VIRTUALHAB, 2023. Disponível em: <<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/>>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

VIEIRA, Thamirys Luyze. **Fissuras em concreto: estudos de caso em Florianópolis**. Monografia. UFSC. Florianópolis: 2017.

WEISE, Andreas Dittmar; MORO, Matheus Fernando; REIS, Camila Cândida Compagnoni dos; FLORES, Sandrine de Almeida. Custo Unitário Básico na Indústria da Construção Civil: Influência de Indicadores Econômicos na Composição do Cub. **Revista FSA**, Teresina, v. 15, n. 6, art. 6, p. 113-131, nov./dez. 2018.

ZAGO, Alan De Freitas. **Estudo comparativo entre métodos de recuperação de estruturas com processos de autocura**: bioconcreto e concreto autocicatrizante. Monografia. UNISUL. Tubarão: 2021.

ZANOTO, Camila; ROTTER, Lucas Cardoso Simão; CAMPOS, Heloisa Fuganti. Análise comparativa de desempenho entre os sistemas construtivos em concreto armado, alvenaria estrutural e Light Wood Frame. **Revista Principia**. João Pessoa, n. 57, 76-85, 2018.

ZEULE, Ludimila de Oliveira; SERRA, Sheyla M. B. A sustentabilidade aplicada aos pré-moldados de concreto. **Revista Industrializar em Concreto**. 2015.