

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

MAYARA MALUF GOMES

**PERSPECTIVAS NO DESIGN SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA
ENTRE TELHAS CONVENCIONAIS E TELHAS DE CONCRETO COM RESÍDUO
DE BAUXITA**

São Luís/MA

2022

MAYARA MALUF GOMES

**PERSPECTIVAS NO DESIGN SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA
ENTRE TELHAS CONVENCIONAIS E TELHAS DE CONCRETO COM RESÍDUO
DE BAUXITA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Maranhão (UFMA) para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos.

Área de concentração: Design de Produto.
Linha de pesquisa: Materiais, Processos e Tecnologia.

São Luís/MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Maluf Gomes, Mayara.

PERSPECTIVAS NO DESIGN SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE
COMPARATIVA ENTRE TELHAS CONVENCIONAIS E TELHAS DE
CONCRETO COM RESÍDUO DE BAUXITA / Mayara Maluf Gomes. -
2022.

85 f.

Orientador(a): Wener Miranda Teixeira dos Santos.
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Design/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís,
2022.

1. Design. 2. Inovação Social. 3. Resíduo de
Bauxita. 4. Sustentabilidade. I. Miranda Teixeira dos
Santos, Wener. II. Título.

MAYARA MALUF GOMES

**PERSPECTIVAS NO DESIGN SUSTENTÁVEL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA
ENTRE TELHAS CONVENCIONAIS E TELHAS DE CONCRETO COM RESÍDUO
DE BAUXITA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Maranhão (UFMA) para obtenção do título de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos.

Aprovada em: 19/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos (Orientador)

Doutor em Engenharia Química
Universidade Federal de Campina Grande

Profa. Dra. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi (Examinadora)

Pós-Doutora em Engenharia e Gestão do Conhecimento
Universidade Federal de Santa Catarina (Brasil)

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos (Examinador)

Doutor em Química
Universidade Estadual Paulista (Brasil)

Profa. Dra. Ingrid Gomes Braga (Examinadora externa)

Doutora em Conservação e Restauração de Bens Culturais
Universidad Politécnica de Valência (Espanha)

São Luís/MA

2022

“Ah! Meus amigos, se conhecêsseis todos os laços que, na vida presente, ligam-vos a vossas existências anteriores; se pudésseis abarcar a multidão das relações que aproximam os seres, uns dos outros, para o progresso mútuo, admiraríeis bem mais ainda a sabedoria e a bondade do Criador, que vos permite reviver para chegar até ele.”

(O Evangelho segundo o Espiritismo)

AGRADECIMENTOS

Antes do ser existir, Deus já existia no ser. Este trabalho só foi possível ser concretizado porque Deus é! Deus sempre foi! Um presente, um ser querido, o melhor amigo, pai, irmão, colo de mãe nos momentos de tormenta e o professor mais dócil que existe em minha vida. Embora tenhas nos enviado Teu Filho para nos ensinar a conjugar um único verbo que é AMAR (a nós e ao próximo), seguimos sem aprender. E ainda assim não desistes de nós. Obrigada!

Agradeço à Universidade Federal do Maranhão, ao Programa de Pós-Graduação em Design (PPGDg), ao meu orientador Wener e a todos os professores pelos ensinamentos e esforços ao longo destes dois anos de mestrado vividos em meio à pandemia. Vocês foram sensacionais!

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pelo apoio e auxílio financeiro que possibilitou uma maior dedicação e empenho nos meus estudos ao longo dos últimos 2 anos.

À minha mãe, meu pai (*in memoriam*), meus irmãos, primos, tios, sobrinhos e avós (*in memoriam*). Acredito que a família é a nossa base sólida nesta curta jornada chamada vida terrena, e reconheço **com muito orgulho** que tenho pilares muito bem fortalecidos graças a todos vocês, sem exceção. Minha gratidão eterna! Caminharemos sempre juntos, ainda que distantes na matéria.

Ao Centro de Estudos Espíritas Francisco Cândido Xavier, ou como gosto de carinhosamente chamar, a minha segunda casa. Aos frequentadores, trabalhadores, amigos espirituais e companheiros da última hora: obrigada! Os sorrisos, abraços, paciência, perdão, carinho, cuidado, puxões de orelha, palavras incentivadoras, energia e fortalecimento de **cada um de vocês** me faz crer em uma vida melhor. O consolo é certo porque o amor é tudo que existe de mais bonito e sincero. Agradeço especialmente ao meu primo-amigo-irmão Gabriel, por um dia ter me dito: “Sou eu, May! Eu tô aqui, pode confiar em mim que eu te seguro.”, por ter apoiado minha mão gentilmente na sua e então caminhado comigo. Já que o amor é ação, tu - sem dúvidas - és uma força motriz dele. Obrigada por tanto amor desde que o mundo é mundo, provavelmente. Agradeço também à querida e destemida Natália por ter sido um

presente nestes trabalhos da última hora. Tua amizade e companhia na vida e em tantos cafés foram (e são) gratificantes para mim. Sempre de ouvidos atentos e palavras gentis, tenho em você alguém que muito admiro e quero bem. Que tua coragem te guie à lindos e floridos caminhos, mas se por ventura te espetares em algum espinho, conte com o meu amor e cuidado para ajudar a cicatrizar. É bonito te ver sobrevoando por entre flores multicoloridas. Amo você.

Aos meus amigos da vida, eu dedico um trecho de uma música do Emicida que muito toca o meu coração quando penso em vocês: *“Quem tem um amigo, tem tudo. Se o poço devorar, ele busca no fundo. É tão dez que junto todo o stress é miúdo, é um ponto pra escorar quando for absurdo. Quem tem um amigo tem tudo, se a bala come, mano, ele se põe de escudo. Pronto pro que vier mesmo a qualquer segundo... É um ombro pra chorar depois do fim do mundo. O amigo é um mago do meigo abraço. É mega afago, abrigo em laço, oásis nas piores fases quando some o chão e as bases, quando tudo vai pro espaço.”* Deixo aqui alguns nomes especiais e que eu gostaria de poder discorrer sobre cada um deles, mas não haveriam palavras e laudas suficientes para isso: Andréa, Melissa, Carolina G., Guilherme, Félix, Rizoka, Carolina B., Louise, Gabriella, Breno, Roberto, Marília, Lorena, Victoria, Caio, Camila D., André, Rodrigo, Lívia, Oton e Júlia Maria. Muitos outros nomes também me passaram pela cabeça e me sinto muito sortuda por isso, mas essas pessoas foram meu porto-seguro em momentos que o meu barquinho teimava em querer afundar, particularmente no ano de 2021. Se hoje estou prestes a me tornar mestra é porque ouvi de cada um de vocês o quanto eu era capaz. Obrigada por me chacoalharem e me mostrarem o quão extraordinária eu sou. Por todo o amor disfarçado de incentivo, abraço, carinho, cuidado e companheirismo. Deus cuida de mim através de cada um de vocês e é por isso que meu coração transborda quando os vejo. Vocês merecem todos os sentimentos bons que seja possível de viver e sentir. Não duvidem nunca disso! Contem comigo no olho do furacão ou na calmaria de um café quentinho com cheiro de colo de vó. A vida é boa com vocês, meus amigos. Um xêro no coração.

À Melissa, por me acompanhar nessa longa caminhada que foi o nosso mestrado. Fecho os olhos e lembro de cada detalhe de um café da manhã difícil e marcante que fizestes para mim na sua casinha. A florzinha na mesa, o bilhetinho que levo sempre comigo, o bolo de chocolate com cobertura de brigadeiro, o café preto

sem açúcar, a playlist tocando, um óleo essencial no difusor para me tranquilizar, eu e você na varanda e as lágrimas escorrendo pelos olhinhos já no final da tarde. Olho para trás e todas as coisas “ruins” me parecem tão pequeninas... E sabe o porquê? É que vejo o cuidado de Deus que tanto se manifestou através de cada detalhezinho que você sempre cuida em organizar. Obrigada por cultivar nossa amizade de uma forma tão bonita, sincera e serena. Te agradeço por cada palavra e por cada gesto, tu não tens noção da importância deles para a mulher que eu sou hoje. As palavras da nossa língua portuguesa ainda não conseguem traduzir tua importância nessa caminhada, mas você e eu nesse mestrado foi algo como cafuné de mãe em um dia de tempestade, mas com cheiro de chocolate quentinho que já tá pronto. Senta no chão e faz um piquenique comigo? Nós juntinhas podemos dominar o mundo!

Por fim, escrevo nestas últimas linhas o mais especial dos agradecimentos, dedicando-o de peito aberto à pessoa mais persistente que conheci em toda a minha vida: Mayara Maluf Gomes. Confesso que a imersão nesta dissertação foi um processo difícil, especialmente por ter vivenciado ele em meio à pandemia com a perda de familiares e outras tantas pessoas queridas. Senti medo, insegurança, preocupação, angústia, receio e muitos outros sentimentos que eu sempre havia caracterizado como “ruins”, mas que hoje percebo a importância de ter sentido cada um deles e de ter permitido que fossem embora no seu próprio tempo. Na verdade, tenho uma correção a fazer: aprendi a me permitir sentir, inteira. E isso, minhas queridas e meus queridos, é um baita aprendizado que eu vinha buscando há muito tempo (e nem sabia). Agradeço a mim por não ter abaixado a cabeça, por ter me dedicado, ter estreitado laços com Deus e ter tido coragem de seguir todas as estradas que por vezes caminhei e por outras vezes corri. Aprendi que tudo passa. Obrigada, Chico! E já que eu faço parte do todo e o todo faz parte de mim, também passarei pela vida, pelas pessoas, por lugares bonitos e jardins floridos vestindo o meu melhor sorriso. Que meu coração sinta amor. Que minha pele arrepie de boa energia. Que meus cabelos sintam o afago de quem me quer bem. Que meus ouvidos ouçam gentilezas. Que meu nariz respire o perfume das mais lindas flores. Que minhas bochechas nunca cansem de sorrir. Que meus olhos vejam o mar. Que meus pés caminhem pela areia. Seguirei...

Espero deixar bons rastros!

RESUMO

Rumo a uma sociedade mais sustentável e que visa minimizar os impactos ambientais de forma consciente, o design sustentável – aliado à inovação social e ao estudo de resíduos e materiais – fez-se agente essencial para o início do desenvolvimento deste processo, fomentando novas perspectivas através das pesquisas científicas e da formação de profissionais que se dedicam a repensar os processos de produção, assim como os ciclos de vida de materiais e produtos, a reciclagem, o reuso, dentre outras possibilidades. De acordo com o Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção (CIB), a construção civil é o setor que mais consome recursos naturais, assim como também é o que mais utiliza a energia de forma ostensiva. É possível reduzir alguns danos gerados pela construção civil através do desenvolvimento de produtos sustentáveis, por exemplo, como a telha de concreto com resíduo de bauxita que foi o estudo de caso analisado nesta dissertação. Esta pesquisa tem como objetivo a elaboração de uma análise comparativa entre as telhas convencionais e a telha de concreto com resíduo de bauxita, buscando a viabilidade para aplicação futura em habitações de interesse social e moradias populares na cidade de São Luís, MA. A revisão de literatura contém o embasamento teórico necessário para um maior entendimento sobre as perspectivas no design sustentável e o tripé da sustentabilidade, aprofundou-se também nas telhas convencionais cerâmicas e de concreto e em suas respectivas Normas Técnicas, no resíduo de bauxita e suas aplicações no setor da construção civil pelo mundo. A segunda etapa abordou as análises a serem desenvolvidas em laboratório para as telhas de concreto com 30% de substituição da areia pelo resíduo de bauxita, explicando os materiais e os métodos utilizados. A terceira e última etapa consistiu na compreensão dos resultados encontrados e no desenvolvimento da análise comparativa, objetivo específico proposto nesta dissertação. Concluiu-se que as telhas de concreto com resíduo de bauxita alcançaram resultados satisfatórios e com valores previstos dentro da NBR 13858-2, incentivando assim a continuidade de testes mais específicos para futuramente, se os resultados continuarem positivos, ser viabilizada a sua produção em larga escala para aplicação em moradias populares e habitações sociais em São Luís, MA.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Design, Resíduo de bauxita, Inovação social.

ABSTRACT

Towards a more sustainable society that aims to consciously minimize environmental impacts, sustainable design combined with social innovation becomes an indispensable agent for the development of this process, fostering new perspectives through the study of materials and residues, encouraging scientific research and the training of professionals who are dedicated to finding practical and viable solutions for different needs. Rethinking production processes, the life cycles of materials and products, recycling, reuse of waste, development of new artifacts among other possibilities are increasingly constant practices inside and outside Universities. According to the International Council for Research and Innovation (CIB), civil construction is the sector that consumes the most natural resources as well as the one that most uses energy in an ostensible way. It is possible to reduce the damage generated by civil construction through the development of sustainable products, for example as the concrete tile with bauxite residue which was the study case analyzed in this dissertation. This research aims to develop a comparative analysis between conventional tiles and concrete tile with bauxite residue, seeking the feasibility for future application in social and affordable housing in the city of São Luís, MA. The literature review contains the theoretical basis necessary for a greater understanding of the perspectives in sustainable design, looking for authors who approach sustainability in design and social innovation, discussing possible paths for a more sustainable society as well as delving into the ceramics and concrete tiles and their respective Technical Norms, the bauxite residue and its applications in the civil construction sector. The second stage addressed the analyzes to be carried out in the laboratory for concrete tiles with 30% replacement of sand by bauxite residue, explaining the materials and methods used. The third and final stage consisted of understanding the results found and developing the comparative analysis, a specific objective proposed in this dissertation. It was concluded that the concrete tiles with partial replacement of 30% of the sand by the bauxite residue achieved satisfactory and predicted results within the NBR 13858-2, thus encouraging the continuity of more specific and in-depth tests, so that in the future it may be possible their large-scale production for application in affordable and social housing in São Luís, MA.

Keywords: Sustainability, Design, Bauxite residue, Social innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do processo do Estudo de caso.....	19
Figura 2: O tripé da sustentabilidade e o papel do designer.....	25
Figura 3: Linha do tempo – design e sustentabilidade.....	26
Figura 4: Ciclo de vida de um produto.....	28
Figura 5: Telhas cerâmicas.....	39
Figura 6: Processo de produção das telhas cerâmicas.....	41
Figura 7: Telhas de concreto.....	43
Figura 8: Processo de produção da telha de concreto.....	45
Figura 9: Processo de produção da telha de concreto: a) Peneiramento da areia; b) Esteira; c) Misturador; d) Extrusora.....	45
Figura 10: Bauxita.....	47
Figura 11: Esquema do Processo Bayer.....	48
Figura 12: Organograma metodológico.....	54
Figura 13: Telha cerâmica americana.....	55
Figura 14: Telha de concreto.....	55
Figura 15: Telha de concreto com resíduo de bauxita.....	55
Figura 16: Maquinário pesado para fabricação de telhas de concreto.....	56
Figura 17: Vista superior da telha de concreto.....	57
Figura 18: Formas metálicas utilizadas para fabricação das telhas.....	58
Figura 19: Telha de concreto com resíduo de bauxita.....	58
Figura 20: Esquema de aparelhagem.....	60
Figura 21: Ensaio de impermeabilidade.....	61
Figura 22: Esquema de aparelhagem.....	61
Figura 23: Ensaio de resistência à tração na flexão de telhas.....	62
Figura 24: Telha de concreto com Resíduo de Bauxita.....	63
Figura 25: Resultados da análise de impermeabilidade.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Componente Déficit Habitacional.....	30
Tabela 2: Componente Inadequação de Moradias.....	31
Tabela 3: Tipos de telhas cerâmicas.....	40
Tabela 4: Requisitos físicos exigidos pela NBR 15310.....	41
Tabela 5: Tipos de telhas e cargas de ruptura.....	42
Tabela 6: Características geométricas da telha de concreto.....	44
Tabela 7: Requisitos físicos exigidos pela NBR 13858-2.....	46
Tabela 8: Estudos de reaproveitamento do resíduo de bauxita.....	50
Tabela 9: Telhas estudadas.....	55
Tabela 10: Peso seco das telhas de concreto com RB.....	64
Tabela 11: Absorção de água das telhas de concreto com RB.....	65
Tabela 12: Análise de carga de ruptura das telhas de concreto com RB.....	67
Tabela 13: Comparação entre dados técnicos das telhas de concreto.....	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Peso seco das telhas de concreto com e sem RB.....	65
Gráfico 02: Gráfico comparativo de absorção das telhas.....	66
Gráfico 03: Gráfico comparativo quanto à carga de ruptura das telhas.....	68

LISTA DE SIGLAS

AA	Absorção de água
ABAL	Associação Brasileira de Alumínio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAINCO	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias
ABCERAM	Associação Brasileira de Cerâmica
ANFATECCO	Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto
CadÚnico	Cadastro Único para Programas Sociais
CIB	<i>Conseil International du Bâtiment</i> ou Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção ou <i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
FJP	Fundação João Pinheiro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFMA	Instituto Federal de Educação do Maranhão
ICSID	<i>International Council of Societies of Industrial Design</i> ou Conselho Internacional de Sociedades de Design Industrial
LV	Lama Vermelha
Ms	Massa seca
ONU	Organização das Nações Unidas
PnadC	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PNUMA	Programa das Nações Unidas
RB	Resíduo de Bauxita
UFPA	Universidade Federal do Pará
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas ou União Soviética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa.....	20
1.2 Questão da pesquisa.....	20
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo geral.....	21
2.1 Objetivos específicos.....	21
3 REVISÃO DE LITERATURA: PERSPECTIVAS NO DESIGN SUSTENTÁVEL.....	22
3.1 Sustentabilidade no Design.....	22
3.1.1 Ambiental.....	24
3.1.2 Socioeconômico.....	29
3.2 Design e Inovação Social.....	33
3.2.1 Inovação Social.....	33
3.2.2 Aproveitamento de resíduos.....	35
3.3 Caminhos para uma sociedade mais sustentável.....	37
3.4 Telhas de cerâmica vermelha.....	38
3.4.1 Normas – Telhas cerâmicas.....	39
3.4.2 Produção – Telhas cerâmicas.....	40
3.4.3 Propriedades – Telhas cerâmicas.....	41
3.5 Telhas de concreto.....	42
3.5.1 Normas – Telhas de concreto.....	43
3.5.2 Produção – Telhas de concreto.....	44
3.5.3 Propriedades – Telhas de concreto.....	45
4 APLICAÇÕES COM RESÍDUO DE BAUXITA (LAMA VERMELHA)	47
4.1 Resíduo de bauxita: breve contexto.....	47
4.2 Aplicações.....	49
5 ANÁLISES.....	52
5.1 Análise dimensional das peças.....	52
5.2 Análise de absorção de água e Peso Seco.....	52
5.3 Análise de impermeabilidade.....	52
5.4 Análise de carga de ruptura.....	53
6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	54

6.1 Materiais.....	54
6.1.1 Fabricação da telha de concreto com Resíduo de Bauxita.....	56
6.2 Métodos.....	57
6.2.1 Análise dimensional das peças.....	57
6.2.2 Análise de absorção de água e Peso seco.....	58
6.2.3 Análise de impermeabilidade.....	59
6.2.4 Análise de carga de ruptura.....	61
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
7.1 Resultados encontrados.....	63
7.1.1 Análise dimensional das peças.....	63
7.1.2 Peso Seco.....	64
7.1.3 Absorção de água.....	65
7.1.4 Impermeabilidade.....	66
7.1.5 Carga de ruptura.....	67
7.2 Análise comparativa e discussão.....	69
7.2.1 Telhas cerâmicas x Telhas de concreto: potencialidades e fragilidades.....	69
7.2.3 Telhas de concreto convencionais e com Resíduo de Bauxita.....	74
8 CONCLUSÃO.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80

1 INTRODUÇÃO

O Conselho Internacional de Pesquisa e Inovação na Construção (CIB), aponta a indústria da construção civil como “o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza a energia de forma ostensiva”, o que, conseqüentemente, gera numerosos impactos ambientais de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2016). Segundo John (2004), estima-se que a construção civil utiliza algo entre 20 e 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade na Terra e, de acordo com o CIB (2002), presume-se que 50% dos resíduos sólidos encontrados também sejam provenientes da construção civil. É neste ponto que surge um dos paradigmas do design sustentável, que possui o intuito de reduzir os impactos ambientais significantes gerados pela construção, especialmente durante o seu processo de produção.

Em diversos países, os profissionais da Arquitetura, do Design e das Engenharias vêm buscando soluções inovadoras, práticas e de baixo custo para implementarem a sustentabilidade no dia-a-dia dos seres humanos. Ideias que vão desde a captação da água da chuva para o abastecimento interno de uma casa à utilização da energia solar, e até mesmo passando pelo reaproveitamento de garrafas de plástico para compor a estrutura física de uma habitação. Inúmeros estudos, pesquisas e testes vêm sendo desenvolvidos na construção civil com os mais variados tipos de materiais, e isso vem sendo documentado há pelo menos mais de 100 anos. Um exemplo disto foi quando em 1902, William F. Peck usou mais de 10.000 garrafas de cerveja para construir a primeira casa de garrafas, localizada em Nevada, nos Estados Unidos, de acordo com Solaja; Awobona e Omodehin (2020).

Mediante o panorama socioambiental dos últimos anos, a inovação social e o design sustentável vêm mostrando-se grandes aliados no setor da construção civil. Segundo Manzini (2008, p.12), o design para a sustentabilidade requer mudanças sistêmicas e afirma: “hoje em dia, a sustentabilidade deveria ser o meta-objetivo de todas as possíveis pesquisas em design”.

Os estudos de reaproveitamento de resíduos contribuem significativamente para a redução dos impactos ambientais na Terra, visto que atuam diretamente na concepção de novos produtos, influenciando desde o seu processo de produção até à sua aplicação. Na construção civil, estes impactos têm repercussões relevantes e reafirmam que a pesquisa científica precisa continuar a ser desenvolvida, pois os

resultados até então obtidos apontam que estamos no caminho “certo” seguindo o tripé do Ensino, Pesquisa e Extensão para alcançar o tripé da sustentabilidade através do design e da inovação social, mas que ainda assim pode (e deve) aprofundar-se cada vez mais.

A transição rumo à sustentabilidade será um processo de aprendizagem social no qual os seres humanos aprenderão gradualmente, através de erros e contradições – como sempre acontece em qualquer processo de aprendizagem –, a viver melhor consumindo (muito) menos e regenerando a qualidade do ambiente, ou seja, do ecossistema global e dos contextos locais onde vivem (MANZINI, 2008, p.27).

Além da questão ambiental e econômica, também é necessário levar em conta a questão social para que haja a sustentabilidade, de fato, pautada em seu tripé. Portanto, para além de reduzir os impactos ambientais através da reutilização do resíduo de bauxita na produção da telha de concreto, tem-se também o objetivo de reduzir o custo final de sua produção, visando a aplicação futura em moradias populares no Maranhão. O direito à moradia é um direito humano universal garantido pela Organização das Nações Unidas (ONU) desde 1948, e que deveria ser assegurado a todos os cidadãos no que diz respeito à qualidade habitacional, saúde e dignidade no lar. No entanto o déficit habitacional no Brasil é um problema que atinge mais de 7 milhões de pessoas, segundo o IBGE (2015) e de acordo com a Fundação João Pinheiro (2015) o Nordeste é a região que possui o maior número de habitações precárias registradas no relatório de 2015 no Brasil: 492 mil unidades, e destas, 241 mil encontram-se no Maranhão, que está em 1^o lugar neste *ranking*.

Dentre as causas da precariedade, uma é constantemente observada em muitas moradias: a qualidade dos materiais utilizados em sua construção e, por consequência, a não preocupação com o meio ambiente, visto que há outras prioridades no dia a dia do brasileiro de baixa renda. “As condições limitadas com que se faz a aquisição do material a ser utilizado na construção não permite escolha. O material deve ser sempre o mais barato, de manipulação mais simples [...]” (MARICATO, 1982, p.89).

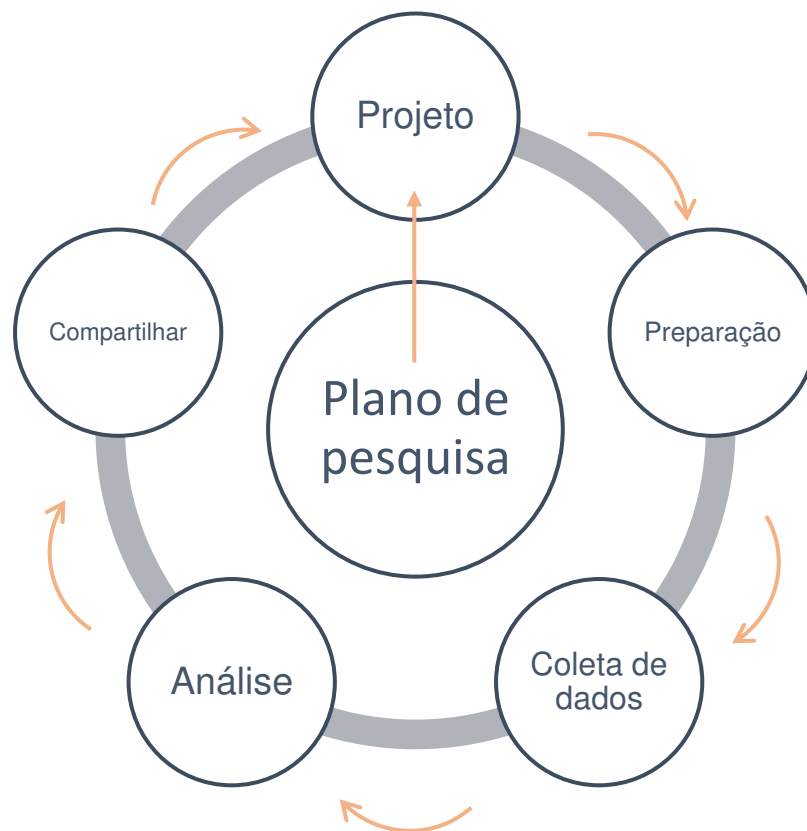
Quanto a caracterização da pesquisa classificamos como aplicada quanto a sua natureza, pois “ela está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca soluções.” (THIOLLENT, 2009, p.36). Seus objetivos apontam a pesquisa como exploratória, pois “tem como objetivo proporcionar conhecer o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses.” (GERHARDT

E SILVEIRA, 2009, p.35). A pesquisa também apresenta uma de suas etapas (telhas convencionais e telhas com resíduo de bauxita) descritiva, visando “(...) descrever e analisar a realidade a partir desta teoria, contribuindo para a ampliação da validação externa dos resultados.” (SANTOS, 2018, p.28). Sua abordagem é qualitativa e busca proporcionar uma melhor visão e compreensão do contexto do problema, ou seja, ela é caracterizada pela “não preocupação com representatividade numérica, mas sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização”, (GERHARDT E SILVEIRA, 2009, p.31). Segundo Minayo (2000), a análise de conteúdo vem sendo muito utilizada e a autora aponta as suas três finalidades em: compreender os dados coletados, confirmar ou negar os pressupostos da pesquisa e ampliar conhecimento.

O desenvolvimento desta dissertação deu-se através da revisão bibliográfica embasando o estudo de caso como o método de pesquisa em Design escolhido, de caráter descritivo. “A compreensão holística que objetiva fundamentalmente identificar e descrever as variáveis relevantes bem como a caracterização da dinâmica das relações entre as mesmas.” (SANTOS, 2018, p.93). A revisão bibliográfica deste estudo abordou os seguintes temas: Design sustentável, inovação social no Design, sustentabilidade na construção civil, estudo de resíduos (tendo o resíduo de bauxita como tópico central) e telhas tradicionais. De acordo com Yin (2010), ao adotar um estudo de caso como estratégia em uma pesquisa, há a necessidade de seguir um conjunto de procedimentos, como um repertório para chegar no objetivo final de análise de dados e compartilhamento dos resultados.

O método do estudo de caso na pesquisa em Design irá embasar a análise da produção, caracterização e, por fim, a comparação entre as telhas estudadas, viabilizando ou não a possibilidade de aplicação das telhas com resíduo de bauxita em Habitações de Interesse Social e/ou Moradias Populares – caso a telha atenda aos requisitos exigidos pelas normas quanto às suas propriedades físico-químicas e mecânicas, assegurando assim a qualidade do produto por um custo de produção mais baixo que as telhas tradicionais.

Figura 1: Etapas do processo do Estudo de caso



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Yin (2010).

De acordo com a figura 1, pode-se ter uma visão geral sobre a metodologia desenvolvida pelo método de pesquisa em design escolhido: o estudo de caso.

(...) metodologia projetual seja equivalente a um conjunto de procedimentos para o desenvolvimento de um determinado produto, onde estão relacionados nesse conjunto: a- métodos (caminho pelo qual se atinge um objetivo); b- técnicas, como habilidade para execução de determinada ação ou produtos; e c- ferramentas, como instrumentos ou utensílios empregados no cumprimento desta ação. (FREITAS; COUTINHO; WAETCHER, 2013, p.3)

Após as etapas iniciais de projeto e preparação, embasadas pelo referencial teórico, deu-se início à coleta de dados: etapa descritiva voltada para as telhas tradicionais de cerâmica e de concreto, assim como para os resultados obtidos pelos experimentos em laboratório obtendo resultados referentes às propriedades físico-químicas e mecânicas da telha com resíduo de bauxita. Seguindo então para as etapas finais de análise comparativa e compartilhamento de dados e conclusões obtidas ao final do estudo realizado.

1.1 Justificativa

O desenvolvimento desta pesquisa baseou-se na necessidade da busca por soluções sustentáveis no ramo do design de produtos voltados para a construção civil. Através da reutilização do resíduo de bauxita na fabricação de telhas de concreto, este estudo visa minimizar os impactos negativos no meio ambiente, assim como reduzir o seu custo final de produção. A partir dos resultados encontrados, iremos avaliar (através da análise comparativa) se as telhas convencionais (telhas de cerâmica e de concreto) podem vir a serem substituídas ou não pelas telhas de concreto com resíduo de bauxita, visando principalmente a sua viabilidade técnica e financeira para aplicação futura em Habitações de Interesse Social e Moradias Populares no Maranhão. O papel do designer faz-se importante na busca por soluções mais sustentáveis através de seus meios de produção e de novos produtos, pois é “justamente por serem os atores sociais que, mais do que quaisquer outros, lidam com as interações cotidianas dos seres humanos com seus artefatos.” (MANZINI, 2008, p.16).

1.2 Questão da pesquisa

A pesquisa visa fazer uma análise comparativa entre as telhas convencionais e as telhas de concreto com resíduo de bauxita (RB) – lama vermelha (LV). Portanto, a pergunta que rege esta pesquisa é: “Quanto à produção de telhas com resíduo de bauxita: é possível obter uma qualidade final igual ou maior que a das telhas convencionais?”

2 OBJETIVOS

Para que a pergunta da pesquisa seja respondida, foram traçados os objetivos: geral e específicos, visando delinear um caminho lógico de pesquisa através do design sustentável e da inovação social como raízes do processo.

2.1 Objetivo geral

Fornecer subsídios técnicos-científicos para avaliar e comparar as propriedades das telhas convencionais (cerâmica vermelha e concreto) com as telhas de concreto que utilizam resíduo de bauxita, visando a aplicação futura em Habitações de Interesse Social e Moradias Populares na cidade de São Luís, MA.

2.2 Objetivos específicos

1. Descrever o atual contexto ambiental no mundo e as perspectivas do design sustentável;
2. Compreender e descrever o panorama social-habitacional no Maranhão;
3. Descrever os processos de produção das telhas convencionais de cerâmica e das telhas de concreto;
4. Elaborar uma análise comparativa entre as propriedades físico-químicas e mecânicas das telhas estudadas;
5. Avaliar a possibilidade de aplicação da telha de resíduo de bauxita em Habitações de Interesse Social e/ou Moradias Populares no Maranhão.

3 REVISÃO DE LITERATURA: PERSPECTIVAS NO DESIGN SUSTENTÁVEL

De acordo com Lakatos e Marconi (2003), através das referências bibliográficas o pesquisador possui o acesso direto a todos os tipos de estudo sobre determinado assunto, sejam eles escritos, falados, gravados, etc., possibilitando assim um embasamento teórico mais apurado. Segundo Minayo (2000), a análise de conteúdo é fundamental para uma maior compreensão dos dados obtidos, assim como para confirmar ou negar os pressupostos determinantes na pesquisa.

Faz-se necessário nesta dissertação uma maior explanação sobre o contexto que envolve a pesquisa, assim como um aprofundamento teórico sobre design sustentável, inovação social e telhas convencionais, sendo cada um destes tópicos destrinchados ainda mais, possibilitando uma compreensão sobre o tema, gerando reflexões acerca do que já foi encontrado e levando à discussões sobre possíveis caminhos a serem percorridos, novas perspectivas e rotas a serem traçadas através da pesquisa em design e suas infinitas possibilidades. “Dessa forma, a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras.” (LAKATOS e MARCONI, 2003, p.183).

3.1 Sustentabilidade no design

Uma vez que a indústria da construção civil é a responsável por mais de 50% dos resíduos sólidos de acordo com o CIB (2002), fez-se necessário pensar na inserção da sustentabilidade de forma ainda mais prática, visando reduzir os impactos ambientais sem perder a qualidade no resultado final dos produtos, mantendo (e regenerando, se possível) o meio ambiente para as gerações futuras e, tudo isso, com custos baixos – levando em conta o tripé da sustentabilidade. A primeira pergunta é: “Como fazer isso?”. Através do design estratégico, Manzini (2008) traz parte dessa resposta, uma vez que ele busca conceber e desenvolver novas soluções que sejam sustentáveis e que possam ser implementadas, de fato, em nossa sociedade. A outra parte da resposta se dá na ação de fato, na resposta da pergunta, literalmente: quando se fala de sustentabilidade na construção civil, é preciso pesquisar e testar, pois errar e acertar fazem parte do processo até que o resultado esperado (ou um resultado melhor) seja obtido. Uma segunda pergunta pode ser feita quase que de imediato:

“Por onde começar?”. Um bom começo seria partir do pressuposto que desde a concepção de um produto é possível implementar a sustentabilidade, ou pelo menos tentar. “Usar materiais não exauríveis (esgotáveis), usar materiais não prejudiciais (danosos, perigosos), usar materiais reciclados, usar materiais recicláveis, usar materiais renováveis, escolha de técnicas de produção alternativas, e pouca geração de resíduos.” (LIMA; NORONHA; SANTOS, 2018, p. 40)

Coletti et al. (2016) falam sobre a importância da reciclagem e reuso de resíduos no processo de fabricação de um tijolo sustentável, mais especificamente utilizando o lodo cerâmico, desenvolvendo testes em uma fábrica italiana. Assim como os autores citados anteriormente, diversos pesquisadores seguem buscando conhecimento acerca da reciclagem, do reuso de resíduos e de formas diferentes de produção e/ou aplicação de um produto nas etapas de uma construção, visando o reaproveitamento de materiais como uma das maneiras possíveis de reduzir os impactos ambientais. Winarno (2019) apresenta em sua pesquisa uma análise comparativa de custo e resistência de um bloco de concreto, tendo integrado em sua composição um novo material: a casca do arroz, uma matéria-prima local, abundante e que não tinha um destino de reuso, apenas era descartada como a grande maioria dos resíduos.

Atualmente pode-se encontrar revistas, filmes, pesquisas, relatos, entrevistas, documentários, etc. recheados de exemplos de sustentabilidade na construção civil: casas feitas a partir do reaproveitamento de garrafas pet ou de garrafas de vidro como parte estrutural; tijolos, telhas e ladrilhos hidráulicos concebidos a partir de resíduos; tintas à base de água e matéria-prima orgânica; revestimentos a partir de materiais reciclados, etc., em resumo, a sustentabilidade vem buscando abranger todas as “etapas” de uma construção, o que mostra a importância de seguir rumo à melhores soluções através da inovação social e suas novas maneiras de pensar a sustentabilidade através do design. Os caminhos seguem sendo percorridos por diferentes profissionais com o intuito de alcançarem o mesmo destino e objetivo final: uma sociedade mais sustentável, e aqui nesta pesquisa visa-se pensar em novas formas de conceber e/ou aplicar produtos no setor da construção civil, mais especificamente utilizando o resíduo de bauxita na produção de telhas de concreto.

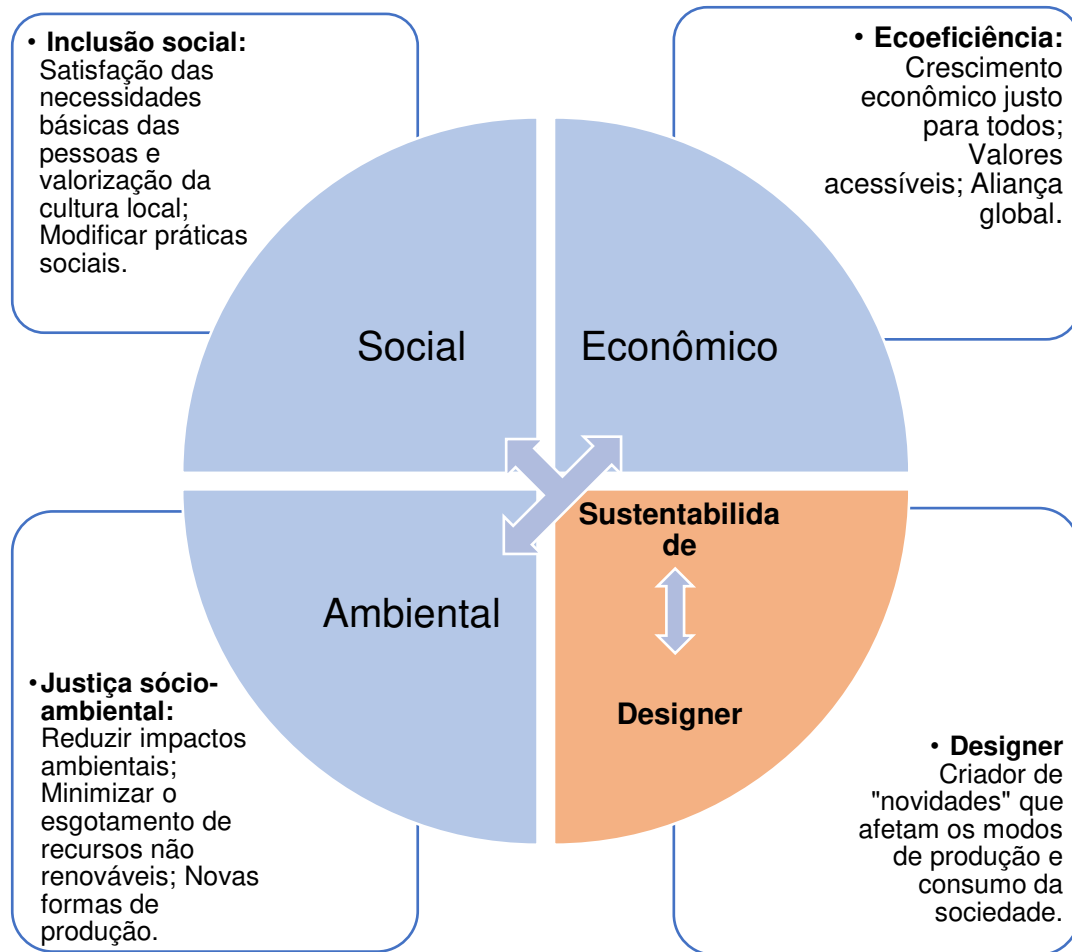
3.1.1 Ambiental

Para compreender de forma significativa a questão ambiental no planeta é necessário falar, primeiramente, sobre as relações entre o homem, os objetos por ele produzidos e utilizados e a natureza em si, pois esses três pontos são inerentes à sustentabilidade de forma geral. O cenário mundial atual, por ter se percebido como um cenário onde o meio ambiente encontra-se passível de colapsar, urgiu a necessidade de desenvolver um intelecto mais preocupado e atento aos processos, produtos e medidas sustentáveis, de forma a contribuir para uma sociedade cada vez mais eficiente e menos poluente.

No período pós Revolução Industrial, o capitalismo foi desenvolvendo-se nos países de forma tão dinâmica que não havia outra preocupação além de produzir com eficiência e rapidez a maior quantidade de produtos possíveis para suprir as demandas locais da época. Muitas das consequências advindas desse período são passíveis de serem analisadas do ponto de vista contemporâneo: a falta do pensar e agir para um desenvolvimento sustentável deixou sequelas para a geração futura – vivemos a era do aquecimento global, da grande poluição das águas e do ar, das catástrofes ambientais, dos desmatamentos, da grande produção de lixo e, conseqüentemente, dos imensos aterros e lixões à céu aberto. “Os prejuízos ao meio ambiente foram tão vultosos ao longo dos anos que seus efeitos retornam ao homem, alterando o ecossistema e prejudicando a vida humana.” (RODRIGUES; BELLIO; ALENCAR, 2012, p.95)

A definição de sustentabilidade mais difundida é a da Comissão Brundtland (WCED, 1987), a qual considera que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Essa definição deixa claro um dos princípios básicos de sustentabilidade, a visão de longo prazo, uma vez que os interesses das futuras gerações devem ser analisados (CLARO; CLARO; AMÂNCIO, 2008, p. 289).

Figura 2: O tripé da sustentabilidade e o papel do designer

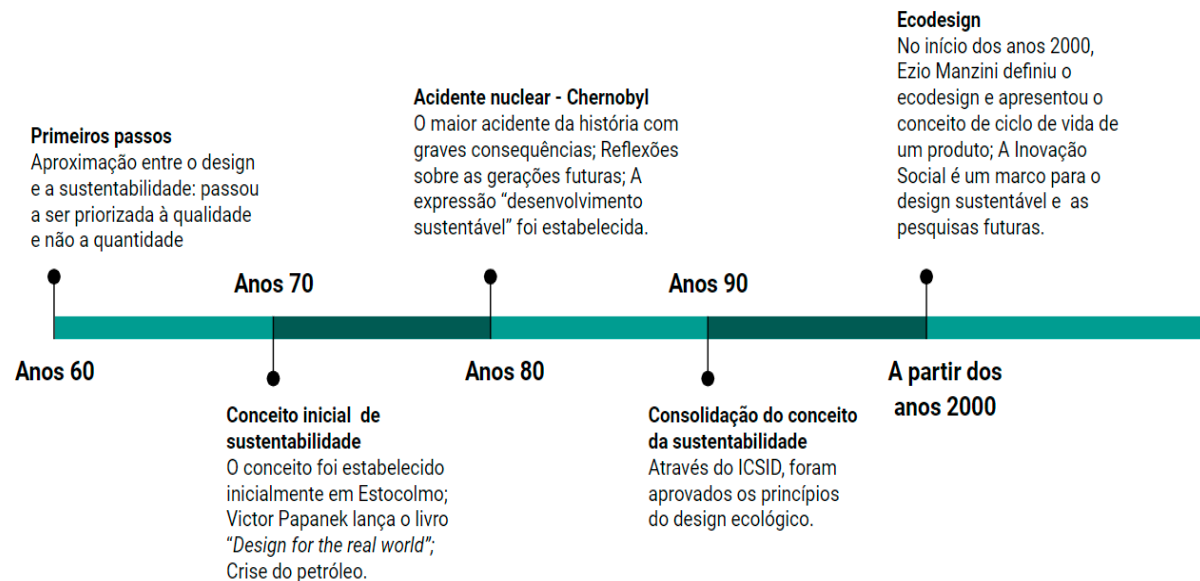


Fonte: Elaborado pela autora a partir de Rodrigues, Bellio e Alencar (2012).

O papel do designer quanto à sustentabilidade pode ser entendido como aquele que, “ligando o que é possível tecnicamente/tecnologicamente ao que é ecologicamente necessário, faz surgir novas propostas que sejam apreciáveis na área social e cultural” (MACEDO; FACHINETTO; NASCIMENTO, 2006, p. 1).

Traçando uma linha cronológica ao longo dos anos, pode-se afirmar que houveram evoluções significativas nas questões voltadas para a sustentabilidade e que foram precursoras para que as pesquisas (em todos os âmbitos) pudessem ser desenvolvidas. De catástrofes ambientais à conferências mundiais: a corrida em busca de uma boa qualidade de vida e com poucos (ou até mesmo zero, se possível) impactos ambientais já havia começado há muitas décadas, mesmo que a passos lentos. De acordo com Cavalcanti, Arruda e Nonato (2017), foi traçada uma linha do tempo com alguns marcos históricos que podem resumir um pouco este longo trajeto que a humanidade vem percorrendo:

Figura 3: Linha do tempo – design e sustentabilidade



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Cavalcanti, Arruda e Nonato (2017).

A linha do tempo acima, além de sucinta, é apenas um norte para ampliar um pouco mais a visão de onde já viemos enquanto sociedade, como buscamos compreender o que é a sustentabilidade, a urgência de implementá-la e para onde estamos caminhando através da inovação social e do design sustentável até o início dos anos 2000.

O conceito de sustentabilidade foi estabelecido inicialmente apenas em 1972 na Conferência das Nações Unidas em Estocolmo, mas na década de 60 já era possível observar os seus primeiros passos, especialmente por haver tido uma aproximação entre design e sustentabilidade nesse processo, pois o designer passou a priorizar o pensamento voltado para a qualidade de vida dos usuários sobre a quantidade do que era produzido para eles.

Nas décadas 60 e 70, período marcado pela contracultura e, portanto, pela rejeição do consumismo moderno e adoção de estilo de vida alternativa, o design desenvolveu propostas contrárias aos processos industriais convencionais como os projetos do tipo "faça- você- mesmo". Victor Papanek era a grande referência do design alternativo na década de 70, com ideias que até hoje reverberam (CAVALCANTI; ARRUDA; NONATO, 2017, p.44).

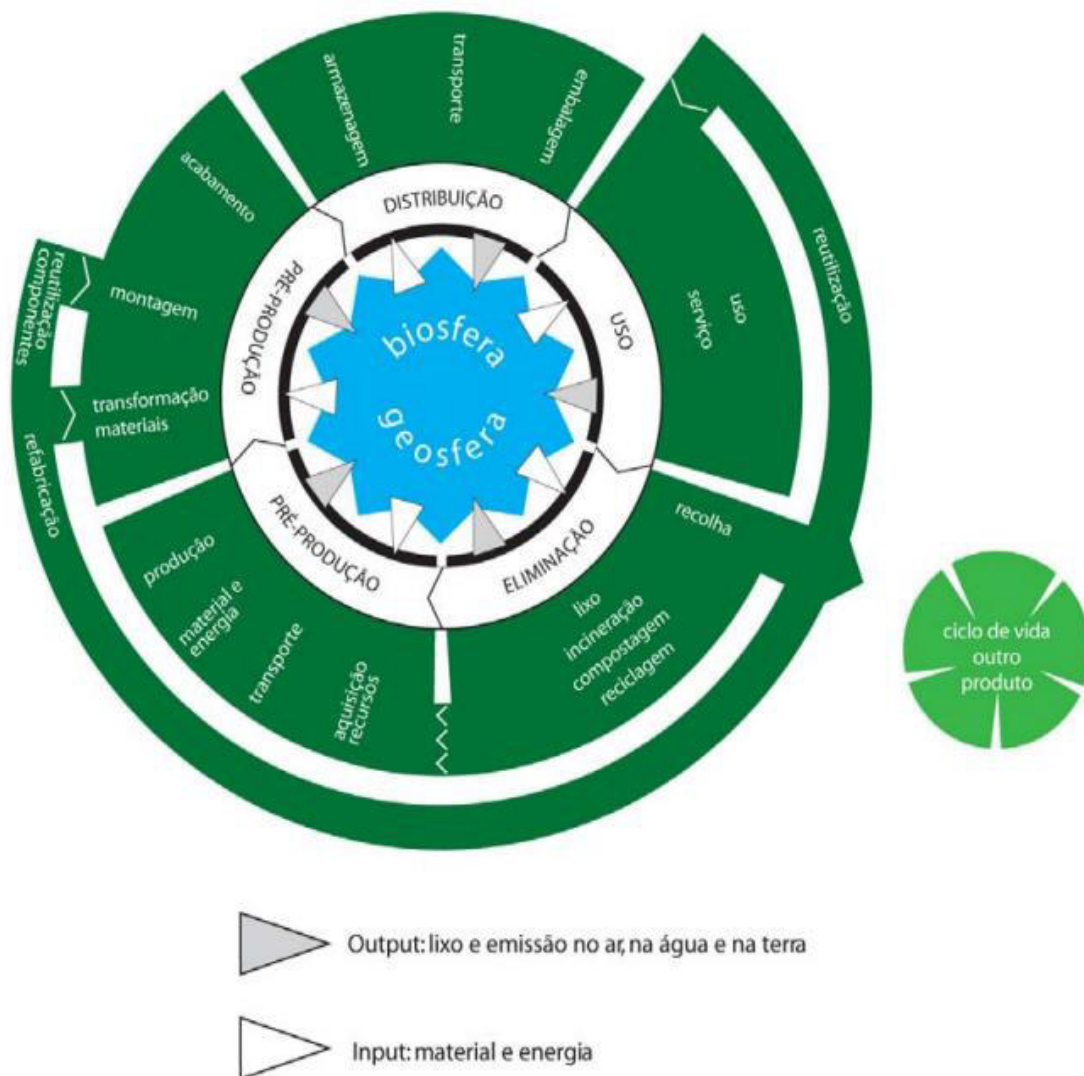
A década de 70 foi marcada pela delimitação do conceito de sustentabilidade de fato, mas Victor Papanek já alertava sobre os conceitos de sustentabilidade quando falava sobre produção *versus* consumo e sobre como o designer poderia intervir diretamente neste paradigma. Foi quando ele lançou o seu livro "*Design for the real*

world”, gerando grandes impactos e discussões sobre o seu modo de pensar o design para o mundo real e atual pós as consequências da Revolução Industrial no mercado consumista. Já a Crise do Petróleo em 1973 fez com que a sociedade como um todo (os civis e as Instituições) compreendesse os limites da Terra e reavaliassem as suas maneiras de extração, produção, transporte, entrega, consumo e descarte – o ciclo completo de um produto que, antes disso, só era pensado para duas etapas: maior produção para ter uma maior velocidade de entrega.

Já na década de 80, um grande acidente nuclear (e o maior da história) que repercute graves consequências até os dias atuais foi o da Usina Nuclear de Chernobyl, localizada na extinta União Soviética (URSS) e atual Ucrânia, que tomou proporções mundiais e, exatamente por isso, levou diversos profissionais pelo planeta a refletirem sobre como a Terra se encontraria nas gerações futuras e de que forma melhorar essa situação. Foi então que em 1987 a expressão desenvolvimento sustentável foi estabelecida pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (Comissão de Brundtland) e que de acordo com Cavalcanti, Arruda e Nonato (2017, p.43) “definiu como o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades.”

Na década de 90, o conceito de sustentabilidade consolidou-se de fato na Conferência Mundial do Meio Ambiente, no Rio de Janeiro, com o desenvolvimento da Agenda 21. Foi uma década que teve como marco o ICSID aprovando os princípios para o design ecológico, culminando para que em 2006 Ézio Manzini definisse o termo Ecodesign e apresentasse o conceito do ciclo de vida de um produto como sendo um ciclo de “trocas (*input* e *output*) entre o ambiente e o conjunto dos processos que acompanham o ‘nascimento’, ‘vida’ e ‘morte’ de um produto.” (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 91).

Figura 4: Ciclo de vida de um produto



Fonte: Manzini e Vezzoli (2002).

Não há como negar que primeiro o mundo precisou passar por catástrofes, acidentes nucleares, o início da escassez de matérias-primas e de recursos naturais, para então abrir os olhos e começar a pensar na questão ambiental de forma inteligente, visando (além da geração atual) as gerações futuras. Não há caminho certo para além de muito estudo, pesquisa e diversos experimentos, pois cada passo dado – ainda que “aparentemente” pequeno – é gigante para a ciência, pois saber para qual direção não seguir também é fundamental. Um exemplo disso são as pesquisas (assim como esta dissertação) no âmbito da sustentabilidade na construção civil: um dos setores responsáveis por grande parte do consumo de recursos naturais

(areia, brita, madeira, pedra, etc.), assim como também é o setor responsável por gerar mais de 50% dos resíduos sólidos no planeta. Nos Estados Unidos, por exemplo, Matos e Wagner (1999) presumem que a construção civil consome no total cerca de 75% dos materiais do país.

A transformação destes materiais brutos em bens e muitas vezes a necessidade de transportar os materiais por longas distâncias exige uma quantidade adicional de recursos, ocasionando cargas ambientais significativas. Recursos adicionais de manutenção, desmobilização e demolição são consumidos após a etapa de construção do ambiente construído (AGOPYAN; JOHN, 2011, p.1).

3.1.2 Socioeconômico

De acordo com FJP (2021), a Fundação João Pinheiro (FJP) desde 1995 vem calculando o déficit habitacional no Brasil, com o intuito de fornecer uma base sólida para os indicadores referentes à falta de moradias e/ou habitações inadequadas. “Déficit e inadequação habitacionais podem ser entendidos como a falta de moradias e/ou a carência de algum tipo de item que a habitação deveria estar minimamente fornecendo e que, por algum motivo, não fornece.” (FJP, 2021, p.2). Geralmente esses motivos envolvem as questões sociais e econômicas que a sociedade brasileira se encontra: grandes aglomerados urbanos com moradias precárias compostas pela população de baixa renda, onde boa parte das habitações são autoconstruídas utilizando materiais à baixíssimos custos e/ou gratuitos (como sobras de outras construções) o que torna a habitação – quanto à qualidade dos materiais, mais especificamente – preocupada apenas em cumprir a sua função básica de abrigo e que, muitas vezes, nem isso consegue alcançar devido à escassez de materiais em boas condições para a construção e/ou mão-de-obra qualificada. A autoconstrução costuma acontecer através da coletividade e dos laços afetivos dentro de uma comunidade e, muitas vezes, as casas são construídas “da forma que dá”, pois a urgência de um teto para proteger a sua família é imediata.

(...) havia um quesito bastante interessante sobre a forma como as casas tinham sido construídas. Eram construídas em mutirões, ou autoconstrução de forma mais geral. Não como esses de hoje, mas os mutirões da tradição: você chama o compadre no fim de semana, toma uma cerveja, come uma linguiça frita e vai fazendo a casa aos pouquinhos (OLIVEIRA, 2006, p.68).

A moradia é um direito universal garantido pela ONU desde 1948, mas o conjunto de serviços essenciais que atendam ao básico, pelo menos, raramente é

encontrado nas periferias e comunidades brasileiras. O déficit habitacional no Brasil é superior a 7 milhões de brasileiros (IBGE, 2015) e esse termo resume-se à três componentes principais de acordo com FJP (2021) e que ainda se subdividem em:

1. Habitações precárias: domicílios rústicos e/ou improvisados;
2. Coabitação de mais de uma família em um mesmo domicílio: Unidade doméstica convivente déficit e domicílio cômodo;
3. Ônus excessivo com aluguel urbano;

Tabela 1: Componente Déficit Habitacional

Componente Déficit Habitacional		2016 – 2019	
		PnadC	CadÚnico
Habitação Precária	Domicílios Rústicos	Estimativa direta	-
	Domicílios Improvisados	-	Estimativa direta
Coabitação	Unidade doméstica convivente Déficit	Unidades domésticas conviventes, obtidas indiretamente a partir das famílias “estendidas” e “compostas” (IBGE). São classificados como unidades conviventes déficit os domicílios com mais de 02 pessoas por cômodo servindo de dormitório	-
	Domicílio cômodo	Exclui cômodos cedidos por empregador	-
Ônus excessivo com aluguel urbano		Estimativa direta (renda domiciliar total)	-

Fonte: Elaborado pela autora a partir de FJP (2021).

Tabela 2: Componente Inadequação de Moradias

Componente Inadequação	PnadC 2016 – 2019		
	Inadequações de Infraestrutura Urbana	Inadequações Edilícias	Inadequação Fundiária Urbana
Infraestrutura urbana (abastecimento de água, esgotamento sanitário, energia elétrica e coleta de lixo)	Estimativa direta	-	-
Inexistência de unidade sanitária exclusiva	-	Estimativa direta	-
Adensamento de domicílios	-	Componente substituído por número de cômodos do domicílio igual ao número de cômodos servindo de dormitório	-
Armazenamento de água	-	Estimativa direta	-
Piso inadequado	-	Estimativa direta	-
Cobertura inadequada	-	Estimativa direta	-
Inadequação fundiária urbana	-	-	Estimativa direta

Fonte: Elaborado pela autora a partir de FJP (2021).

Há uma relação direta entre a questão social e econômica quando se fala sobre habitação social e moradia popular. Os dados referentes ao déficit habitacional e à inadequação domiciliar no Brasil são estimados, calculados e disponíveis pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PnadC) do IBGE e do Cadastro Único para Programas Sociais (CadÚnico), do Ministério da Cidadania. A

inadequação na infraestrutura de uma habitação inicia desde o seu entorno quanto à infraestrutura urbana disponível (abastecimento de água, saneamento básico, coleta de lixo, energia elétrica, etc.), quanto também à estrutura da moradia em si: cobertura inadequada, piso inadequado, má qualidade de materiais utilizados, dentre outros. De acordo com um estudo realizado pela Econit Consultoria Econômica que atendeu à solicitação da Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (ABRINC), o déficit habitacional em 2019 que era de quase 8 milhões de unidades deverá saltar até o ano de 2030 para 11,9 milhões. A habitação precária é um dos principais componentes do déficit habitacional, chegando a 1,5 milhões na soma de domicílios rústicos e domicílios improvisados, tendo o Maranhão liderando o *ranking* no país chegando à quase 300 mil moradias precárias segundo a FJP (2021). Seguindo de acordo com FJP (2021), 72% das habitações precárias no Brasil inteiro em 2019 eram compostas por uma renda domiciliar total de até 1 salário mínimo apenas.

Portanto, levando em conta todos os dados sociais e econômicos referentes ao déficit habitacional no Brasil e no Maranhão, alguns questionamentos começam a surgir quando se pensa em sustentabilidade para além da questão ambiental apenas. Como a sustentabilidade pode fazer parte de uma moradia popular e influenciar positivamente na vida de seus residentes? Como fazê-la acessível à população de baixa renda? Como abordar a sustentabilidade num contexto social e econômico que permita aos moradores pensarem única e exclusivamente em como construir um lar para proteção e da forma mais barata possível?

Muitas casas autoconstruídas utilizam de matéria-prima local no seu processo de construção, as casas de adobe, por exemplo, são muito encontradas no Maranhão. São conhecimentos passados de geração em geração pelas famílias e vizinhos nos seus lares e arredores. Dentre as suas muitas potencialidades, a regulação da temperatura interna das habitações, os materiais utilizados e o seu processo de produção são pontos da sustentabilidade a serem levados em conta. Pode-se refletir, portanto, que soluções sustentáveis podem (e devem) ser pensadas de duas formas: produção e aplicação de materiais e produtos (tijolos, telhas, tintas, cerâmicas, etc.) pelos próprios moradores, assim como na produção desses produtos por terceiros (como empresas, por exemplo), utilizando materiais de forma sustentável, barateando o custo final da produção para torná-los acessíveis quanto ao preço e de forma que sua aplicação não necessite de mão-de-obra especializada. É nesse ponto que o

designer, enquanto profissional, torna-se uma ferramenta primordial na busca por soluções sustentáveis junto à inovação social, objetivando solucionar demandas específicas através da produção de produtos eficientes para um problema existente. Essa pesquisa é um exemplo desta busca: ela visa a produção de uma telha sustentável reutilizando o resíduo de bauxita que substitui parcialmente a areia, visando não apenas a qualidade final do produto igual e/ou superior às telhas tradicionais, mas também a redução do custo final do produto, a reutilização do RB e a diminuição da exploração das jazidas de areia.

3.2 Design e Inovação Social

Quando falamos em inovação social e o seu processo atuante na transição para uma sociedade sustentável, pensa-se quase que de imediato no papel que o designer, enquanto profissional, executa ao "oferecer novas soluções a problemas, sejam velhos ou novos, propor seus cenários como tema em processos de discussão social, colaborando com a construção de visões compartilhadas sobre futuros possíveis e sustentáveis" (MANZINI, 2008, p.16).

O Design, acima de tudo, possibilita a busca por mudanças, uma vez que é fundamental romper as formas tradicionais de produção para alcançarmos resultados diferentes dos já encontrados. "(...) Uma forma de mudança em cujo final o sistema em questão será diferente, estruturalmente diferente, daquilo de que tivemos conhecimento até hoje" (MANZINI, 2008, p. 27).

3.2.1 Inovação Social

De acordo com Chaves e Fonseca (2016), ainda são recentes os estudos sobre a inovação social que possuem o tripé da Pesquisa, Ensino e Extensão para a prática do design para a sustentabilidade, área de estudo que vem sendo fomentada no intuito de gerar um embate com os padrões atuais de consumo e produção para então repensá-los. A necessidade de (re)pensar o design de forma responsável surgiu a mais de 50 anos atrás com Victor Papanek, um dos precursores do design para sustentabilidade, tendo como uma de suas principais (e mais marcantes) obras o livro "*Design for the real world*" publicado em 1971. As discussões sobre "uso versus venda", "estética versus funcionalidade", etc. são discussões que Victor Papanek abordou ao longo dos anos trazendo o designer como um dos profissionais

responsáveis pela grande quantidade de lixo gerado no planeta, pois o designer deveria fazer o máximo com o mínimo ao invés de aceitar o que todos foram ensinados a fazer: desenvolver um produto apenas para satisfazer o mercado de consumo sem importar-se com os impactos que ele poderia causar (ambiental e socialmente falando). Victor Papanek criou projetos à baixos custos, visando tecnologias alternativas e que reverberam na sociedade até hoje, pois desde a década de 70 ele já enxergava muito além.

Desde 1960 vem sendo estudado que o “não pensar no depois” dos profissionais de diversas áreas acabaria por levar a um colapso ambiental. “Evitar a falência das estruturas de sustentação dos ecossistemas, voltar a ‘caber’ na biosfera, só será possível se desmontarmos a engrenagem socioeconômica expansiva que moldou nossas sociedades desde o século XVI.” (MARQUES, L., 2018, sinopse). Portanto, fez-se necessário não apenas pensar no design para a sustentabilidade, mas para além da teoria, agir. A inovação social surge como essa ação: novas maneiras de pensar, produzir e viver.

O designer nos processos de inovação social para a sustentabilidade torna-se o protagonista e articulador de uma ampla rede de atores que contribuem direta ou indiretamente para o desenvolvimento de estratégias, para a difusão, transformação e reinterpretação contextual de ideias inovadoras na perspectiva da sustentabilidade, (...) (CIPOLLA, 2017, p.85).

“O papel do design industrial pode ser sintetizado como a atividade que, ligando o tecnicamente possível com o ecologicamente necessário, faz nascer novas propostas que sejam social e culturalmente aceitáveis” (MANZINI; VEZZOLI, 2002, p. 20). A inovação social nos impulsiona rumo à uma sociedade que seja sustentável e, para tanto, faz-se necessário buscar a sustentabilidade para o design baseando-se no tripé: ambiental, econômico e social e seus caminhos a serem percorridos. De acordo com Manzini (2008), existem dois principais segmentos para direcionar e mover o design rumo à sustentabilidade: abordagem estratégica do design e cumprir os critérios para a sustentabilidade. Estes critérios para a sustentabilidade são, segundo Manzini (2008): consistência com os princípios fundamentais e éticos relacionados às pessoas e sociedade, baixa intensidade de energia e material e alto poder regenerativo. O reaproveitamento de resíduos encaixa-se na inovação social em todos os aspectos e, por isso mesmo, muitas pesquisas no design (e em outras áreas afins) vêm sendo desenvolvidas com um único objetivo: a sustentabilidade.

3.2.2 Aproveitamento de resíduos

(...) a corrente da sustentabilidade entende ainda que poluição é uma forma de desperdício e ineficiência dos processos produtivos pela perda de matérias primas e insumos, na fabricação de produtos. Assim a busca da qualidade ambiental passa pela concepção do produto e do próprio processo produtivo, através de gerenciamento de resíduos, utilização de forma consciente das matérias-primas, minimização do consumo energético e dos insumos necessários ao processo. (LERÍPIO apud MAURO e BORBA, 2008, p.6).

Voltando a atenção um pouco mais para os tipos de resíduos gerados no planeta, existem os resíduos da construção civil, os industriais, hospitalares, nucleares e, por fim, os resíduos sólidos. Para uma boa gestão e utilização destes resíduos como matéria integrante na concepção de um novo produto, faz-se necessária a implementação dos três R's: redução, reutilização e reciclagem, segundo Silva e Joia (2008). De acordo com a ONU (2019), anualmente são gerados 10 bilhões de resíduos urbanos, mais de 2 bilhões de pessoas não tem acesso à coleta de resíduos sólidos, quase 3 bilhões de pessoas não possuem acesso às instalações para disposição final de resíduos. Muitos países vêm buscando medidas com o intuito de minimizar a quantidade resíduos gerados, assim como reaproveitá-los quando possível, prevenir a contaminação por resíduos industriais e garantir uma produção mais sustentável a partir da escolha dos materiais. De acordo com um resumo elaborado por Torres (2020), as técnicas de minimização (a partir dos três R's citados anteriormente) são: gestão de inventários, modificação dos processos produtivos, redução do volume, reciclagem e recuperação, assim como os aspectos da minimização visam a redução de custos e a diminuição de riscos para a população.

De acordo com John e Zordan (2001), os resíduos da construção e demolição variam de 163kg a 3658kg por capita, mundialmente falando, e estes são valores apenas de resíduos sólidos domésticos, ou seja, ainda é necessário levar em conta o adicional dos resíduos que são gerados durante a produção destes mesmos materiais. O resíduo de bauxita, pode trazer impactos ambientais consideráveis, uma vez que pode contaminar mananciais de água devido ao seu alto teor de alcalinidade e pela sua grande quantidade gerada anualmente no planeta: cerca de 120 milhões de toneladas da lama vermelha (resíduo de bauxita) de acordo com Power et al. (2011).

Duas pesquisas de mestrado desenvolvidas pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) no Programa de Pós-Graduação em Design (PPGDg) podem servir de exemplos para ilustrar os três R's: a reciclagem do resíduo de bauxita (lama

vermelha) em ladrilhos hidráulicos – pesquisa desenvolvida por Rodrigo Martínez Torres (2020) e a segunda de um bloco de solo-cimento a partir de resíduos da construção civil – pesquisa desenvolvida por Julyana da Silva Lima (2019). Trazendo-as como estudos de caso, pode-se afirmar que segundo a pesquisa de Torres (2020), os ladrilhos hidráulicos com o resíduo de bauxita conseguem igualar o resultado final (e em alguns casos específicos até superar) a qualidade do produto original, minimizando assim os impactos ambientais e utilizando um resíduo que o Brasil possui em abundância e que por muito tempo foi considerado como “inaproveitável”, acumulando mais de 37 milhões de toneladas por ano, de acordo com ABAL (2017). Assim como o resíduo de bauxita é encontrado em grande escala no Brasil, os resíduos da construção civil também o são:

(...) o reaproveitamento de resíduos de construção e demolição em composições de solo-cimento possibilita o surgimento de alternativas construtivas viáveis, tanto do ponto de vista tecnológico quanto ecológico. Além de propor uma destinação mais adequada à grande demanda de resíduos resultantes da indústria da construção civil, proporciona a redução de impactos ambientais resultante do processo de fabricação de tijolos cerâmicos tradicionais (LIMA, 2019, p. 112).

Estas são duas pesquisas (de inúmeras) que reafirmam a importância do estudo de resíduos nos processos de concepção de um produto com resultados finais eficazes, viabilizando assim um novo passo não apenas na sustentabilidade para a construção civil, mas especialmente na sustentabilidade para o design, no desenvolvimento de estudos de materiais, processos e tecnologias, uma vez que é através das pesquisas em design (sustentável) e da inovação social que novas formas de pensar tiveram o seu pontapé inicial, percorrendo caminhos até então inimagináveis – fazer do “lixo”, do “descartável” e do “inaproveitável” uma nova fonte de materialidade, de qualidade de vida e de ciência. É por este motivo que esta pesquisa segue o estudo do reaproveitamento do resíduo da bauxita, visando analisar os resultados encontrados na produção da telha de concreto com resíduo de bauxita e compará-los com as telhas convencionais.

3.3 Caminhos para uma sociedade mais sustentável

Diante de algumas perspectivas do Design Sustentável – como a busca por soluções inovadoras e possíveis, a minimização dos impactos ambientais, o

reaproveitamento de resíduos e materiais, a redução da quantidade de lixo produzido, a promoção de um maior conforto e qualidade de vida aos usuários, dentre outras –, essa pesquisa tem como pilar central a perspectiva sustentável que estuda a reutilização do resíduo de bauxita, pois este é um resíduo encontrado em larga escala no estado do Maranhão e ainda sem um destino final voltado para o seu reuso.

O Design para a sustentabilidade busca a viabilidade econômica de execução, a responsabilidade perante as suas consequências no meio-ambiente, assim como também busca ser socialmente equitativo.

Pode-se dizer, portanto, que quando design e sustentabilidade se unem em uma solução para determinada demanda, sendo a melhoria e longevidade as características mais privilegiadas, impactando nos âmbitos econômico, social e ambiental; tem-se Design para a sustentabilidade. (OLIVEIRA; CANTALICE, 2017, p.04)

Kazazian (2005) acredita que na sustentabilidade absolutamente tudo está interligado, ou seja, não se pode desconsiderar as questões sociais que também estão envolvidas na produção de um produto, pois têm-se a tendência “comum” de equivaler a sustentabilidade de um produto considerando apenas os aspectos ambientais e econômicos. Por exemplo, não é suficiente apenas pesquisar novos materiais que reduzam os impactos no meio ambiente, faz-se essencial estudar a sociedade envolvida no ciclo de vida de um produto, pois tão importante quanto pesquisar sobre a produção de algo, é idealizar novas possibilidades passíveis de testes e experimentos envolvendo o usuário em todas as etapas do seu processo.

O reaproveitamento de resíduos, como dito nos tópicos anteriores, é um estudo importante que faz parte da sustentabilidade e da inovação social para o Design e, para que ele continue se desenvolvendo, uma das etapas essenciais é a continuidade nas pesquisas e experimentos, a fim de encontrar resultados otimistas rumo a uma sociedade mais sustentável. O reaproveitamento do resíduo da bauxita para a construção civil ainda possui um longo caminho pela frente, pois é considerado um estudo recente, mas muito promissor. Ele segue passível de “frustrações” em suas estradas, pois nem sempre os resultados encontrados serão os resultados esperados e/ou resultados positivos, entretanto isso é algo que – definitivamente – faz parte da jornada na pesquisa científica e dos experimentos, uma vez que também deve-se levar em conta o que não dá certo, quais caminhos desviar e quais seguir, descobrindo assim novos rumos, desdobramentos de pesquisas, métodos, soluções, ferramentas, etc.

Esta dissertação segue a perspectiva do design sustentável através do desenvolvimento de um produto (telha) que reutiliza na sua composição um resíduo (resíduo de bauxita) que substitui parcialmente a areia, material este que possui suas jazidas exploradas de forma desenfreada impactando o meio ambiente de forma negativa. Desenvolveu-se então, como o produto deste estudo, uma análise comparativa entre as telhas convencionais (cerâmica e concreto) e a telha de concreto com resíduo de bauxita como forma de compreender – a partir dos resultados encontrados – a qualidade final das três telhas estudadas. Elas foram avaliadas quanto às normas técnicas já estabelecidas para as telhas convencionais e a partir dos ensaios físico-químicos e mecânicos desenvolvidos, as vantagens e as desvantagens entre os produtos e se a telha com RB pode vir a ser produzida à um custo mais baixo no intuito principal de ser destinada para moradias populares, visando assim um caminho possível para uma sociedade mais sustentável.

3.4 Telhas de cerâmica vermelha

De acordo com Souza (2017), a telha cerâmica é uma das opções mais antigas e acessíveis utilizadas para coberturas, surgindo há 8.000 anos antes de Cristo. Elas surgiram com os avanços no conhecimento da queima de argila (matéria-prima abundante no planeta). Ainda de acordo com a autora, no final da Idade de Pedra descobriu-se que o endurecimento da argila poderia ser ainda mais rápido se fossem utilizadas altas temperaturas, transformando-se então em cerâmica e garantindo uma maior resistência, podendo facilmente ser moldada segundo as necessidades de aplicação.

As telhas cerâmicas são amplamente utilizadas no Brasil e no mundo, sendo uma das mais populares e antigas formas de cobertura devido ao seu custo-benefício. Possuem um bom isolamento acústico e térmico, garantindo um ambiente interno mais confortável ao usuário. As principais telhas cerâmicas conhecidas no mercado são: telha americana, telha colonial, telha italiana, telha romana, telha portuguesa e telha francesa. De modo geral, é necessária uma estrutura ou engradamento de telhado para suportar o seu peso, possuem uma inclinação média entre 30% e 35%. Sua venda é por metro quadrado (m^2), tendo um consumo de 15 a 17 pc/m^2 , o seu peso é aproximadamente 40 kg/m^2 e o seu tamanho varia entre 40cm e 48 cm.

Figura 5: Telhas cerâmicas







Fonte: Candelária Cerâmicas, 2019.

3.4.1 Normas – Telhas cerâmicas

A norma que fala sobre as telhas de cerâmica vermelha é a NBR 15310 (Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio) e de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2009, p.6) as telhas cerâmicas são definidas como “componentes destinados à montagem de cobertura estanque à água, de aplicação descontínua.” Quanto aos requisitos de acordo com ABNT (2009), seguindo na NBR 15310, as telhas cerâmicas são fabricadas utilizando argila conformada (por prensagem ou extrusão) e queimadas de forma que a qualidade final das telhas atenda às exigências determinada por esta norma. Os tipos de telhas cerâmicas são as telhas planas de encaixe, telhas compostas de encaixe, telhas simples de sobreposição e telhas planas de sobreposição. Quanto aos aspectos visuais, as telhas de cerâmica vermelha:

Podem apresentar ocorrências como esfoliações, quebras, lascados e rebarbas que não prejudiquem o seu desempenho; igualmente, são admissíveis eventuais riscos, escoriações e raspagens causadas por atrito feitas nas telhas durante sua fabricação, embalagem, manutenção ou transporte (ABNT, 2009, p.6).

Tabela 3: Tipos de telhas cerâmicas

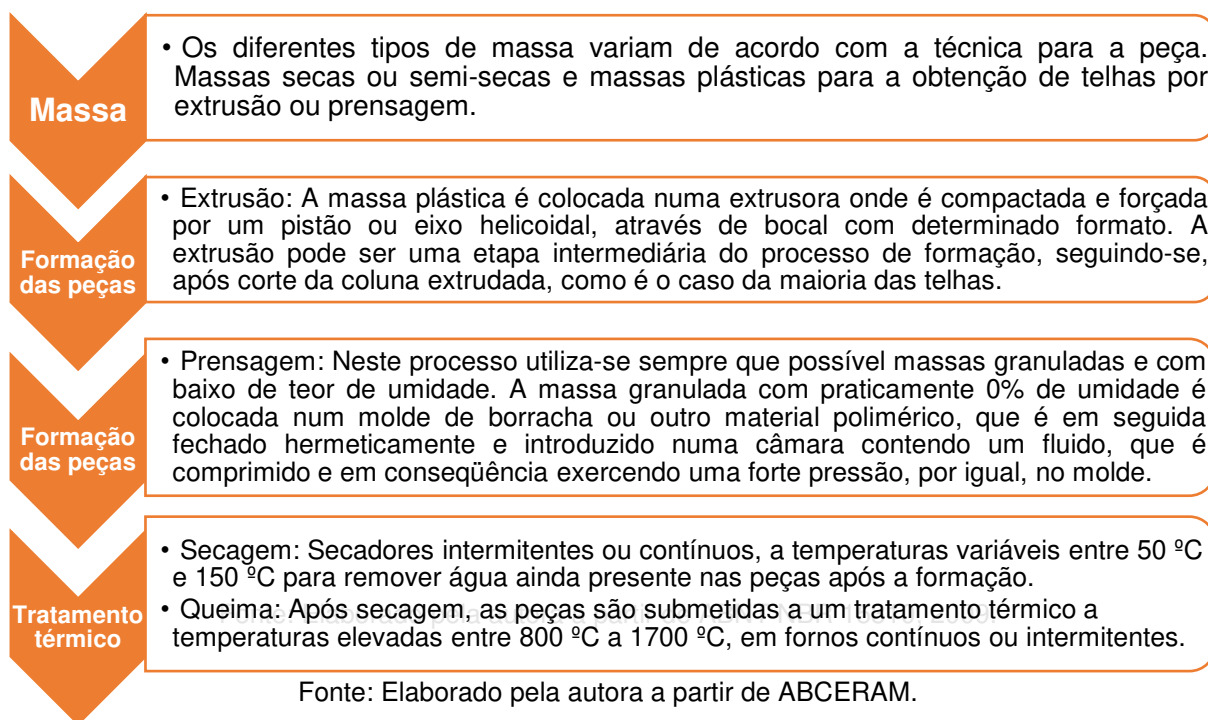
Imagens	Telhas	Conceito
	Telhas planas de encaixe	Telhas cerâmicas planas que se encaixam por meio de sulcos e saliências, apresentando pinos, ou pinos e furos de amarração, para fixação na estrutura de apoio.
	Telhas planas de sobreposição	Telhas cerâmicas planas que somente sobrepõem-se e que podem ter pinos para o encaixe na estrutura de apoio ou pinos e furos de amarração para fixação.
	Telhas simples de sobreposição	Telhas cerâmicas formadas pelos componentes capa e canal independentes. A concavidade ou convexidade define a utilização como canal ou capa respectivamente. O canal deve apresentar pinos, furos ou pinos e furos de amarração, para fixação na estrutura de apoio; a capa está dispensada de apresentar furos ou pinos.
	Telhas compostas de encaixe	Telhas cerâmicas planas que possuem geometria formada por capa e canal no mesmo componente, para permitir o encaixe entre si, possuem pinos, ou pinos e furos de amarração, para fixação na estrutura de apoio.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABNT NBR 15310, 2009.

3.4.2 Produção – Telhas cerâmicas

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM), os processos de fabricação de todas as ramificações do meio cerâmico (tijolos, telhas, revestimentos, ladrilhos, etc.) assemelham-se e possuem as seguintes etapas: preparação da matéria-prima e da massa, formação das peças, tratamento térmico e acabamento (se necessário, de acordo com a peça a ser fabricada).

Figura 6: Processo de produção das telhas cerâmicas



3.4.3 Propriedades – Telhas cerâmicas

De acordo com a ABNT (2009), as telhas de cerâmica vermelha devem obedecer determinados requisitos específicos para que tenha uma boa qualidade final, assegurando assim a sua utilização no mercado da construção civil.

Tabela 4: Requisitos físicos exigidos pela NBR 15310

Requisitos	Limites
Massa	A massa da telha seca não deve ser superior a 6% do valor declarado no projeto do modelo da telha.
Tolerância dimensional	A tolerância de dimensões admitida é de $\pm 2,0\%$ para as dimensões de fabricação. Para as telhas prensadas, o pino deve ter altura mínima (Hp) de 7 mm. Para as telhas extrudadas, o pino deve ter altura mínima (Hp) de 3 mm. A tolerância admitida para o valor do rendimento médio (Rm) é de $\pm 1\%$.
Absorção de água	O limite máximo admissível é 20%.

Impermeabilidade	Quando submetida ao ensaio para verificação da impermeabilidade, a telha não deve apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, sendo, porém, tolerado o aparecimento de manchas de umidade.
Carga de ruptura	As cargas de ruptura à flexão não devem ser inferiores às indicadas na tabela 5. Obs: A determinação da carga de ruptura à flexão simples (flexão a três pontos ou ensaio dos três cutelos) tem por finalidade simular situações genéricas no transporte, no uso, na construção e manutenção das telhas.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABNT NBR 15310, 2009.

Tabela 5: Tipos de telhas e cargas de ruptura

Tipos de telhas	Exemplos	Cargas – N (kgf)
Planas de encaixe	Telhas francesas	1 000 (100)
Compostas de encaixe	Telhas romanas	1 300 (130)
Simplex de sobreposição	<ul style="list-style-type: none"> • Telhas capa e canal colonial • Telhas planas • Telhas paulista • Telhas Piauí 	1 000 (100)
Planas de sobreposição	Telhas alemãs e outras	

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABNT NBR 15310, 2009.

3.5 Telhas de concreto

As telhas de concreto surgiram apenas em 1844, na Bavária. Existem muitos telhados com mais de 100 anos de idade, comprovando a sua qualidade e durabilidade. O processo produtivo das telhas de concreto evoluiu e, em 1919, foi inventada a primeira máquina operada mecanicamente. Esta máquina utilizava uma esteira com formas de ferro fundido passando sobre um silo que lançava o concreto dentro dos moldes. Por volta de 1925, foi introduzido o sistema de extrusão. No Brasil,

a produção só começou em 1976, segundo a ANFATECCO (Associação Nacional de Fabricantes de Telhas Certificadas de Concreto) apud CINTRA (2008).

“As telhas de concreto são produzidas no Brasil há mais de três décadas, mas seu crescimento foi relativamente lento ao passar dos anos, entretanto, a sua participação no mercado vem crescendo significativamente.” (SILVA et al., 2015, p.2)

Diferente das telhas de cerâmica vermelha que absorvem um pouco de água, as telhas de concreto são impermeáveis e possuem uma versatilidade de formas e cores. Possuem uma inclinação média de 30% a 35%, sua venda é por metro quadrado (m²) tendo um consumo de 10 a 15 pc/m², o seu peso é de aproximadamente 48 kg/m² e seu tamanho varia entre 42cm e 48cm em média. Elas também precisam de uma estrutura de apoio para sustentá-las, popularmente conhecida como esqueleto de madeiramento.

Figura 7: Telhas de concreto



Fonte: Votorantim Cimentos, 2018.

3.5.1 Normas – Telhas de concreto

As normas que falam sobre a telha de concreto são a NBR 13858-1 (Projeto e Execução) e NBR 13858-2 (Requisitos e Métodos de Ensaio) e de acordo com a (ABNT, 2009, p.1) que define a telha de concreto como “componente para cobertura com forma essencialmente retangular e perfil geralmente ondulado, composto de cimento, agregado e água, aditivos ou adições, fornecido na cor natural ou colorido pela adição de pigmento.” Quanto aos requisitos de acordo com ABNT (2009),

seguindo na NBR 13858-2, as telhas de concreto são fabricadas utilizando cimento, agregados e água e são conformadas por extrusão, podendo ter em seu processo de fabricação pigmentos, adições ou aditivos. Quanto aos aspectos visuais, as telhas não devem apresentar defeitos que possam prejudicar a sua qualidade (fissuras, bolhas, desagregações, etc.), se houver exposição a intempéries podem ocorrer mudanças visuais na telha, assim como o desgaste natural delas que é comum devido às chuvas e ao próprio passar do tempo, porém é sempre necessário analisar se houve comprometimento na qualidade final da telha, como por exemplo fissura, erosão superficial, desprendimento do agregado, entre outros. Para tal análise de qualidade, segue abaixo uma tabela que expõe os requisitos indicados pela NBR 13858-2:

Tabela 6: Características geométricas da telha de concreto

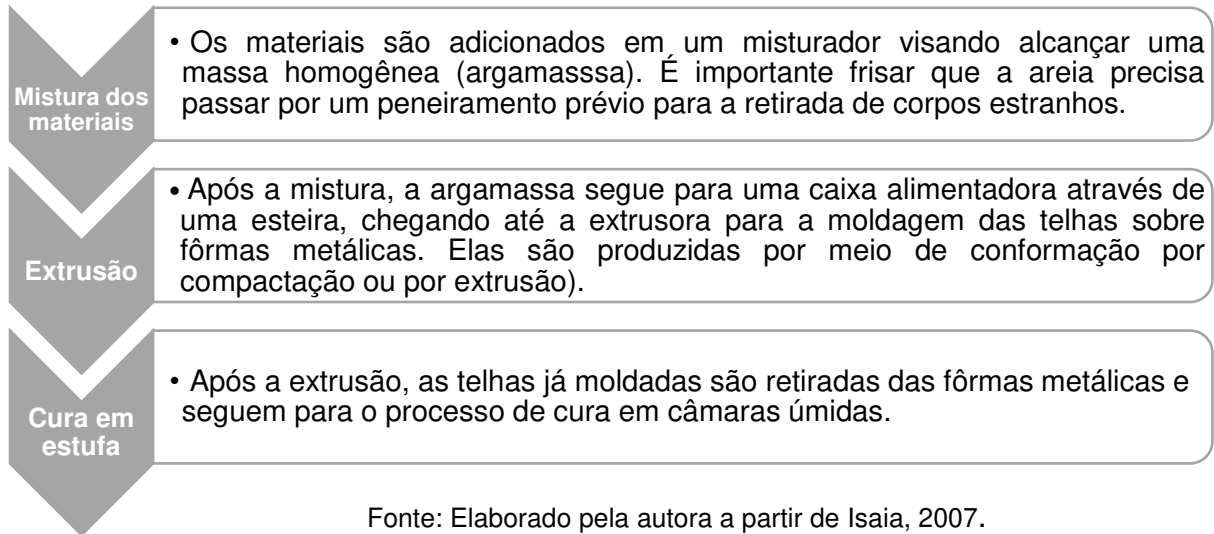
Características	Valores e limites
Comprimento e largura nominais	Estabelecido e declarados pelo fabricante, devendo obedecer às seguintes tolerâncias. 1) Dimensões até 420 mm, tolerância de +/- 2 mm; 2) Dimensões acima de 420 mm, tolerância de +/- 0,5%
Comprimento total	
Comprimento útil declarado	
Largura total	
Largura útil declarada	
Sobreposição lateral	Estabelecido e declarados pelo fabricante, devendo obedecer à tolerância de +/- 5%.
Sobreposição longitudinal mínima	
Altura característica do perfil	
Gap / Máximo individual	60 mm

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABNT NBR 13858-2, 2009.

3.5.2 Produção – Telhas de concreto

O processo de fabricação da telha de concreto é a parte mais importante, pois apenas uma boa produção garantirá a qualidade final da telha. É um processo considerado “simples” que envolve as seguintes etapas: mistura dos materiais (cimento, areia, água e aditivo), extrusão e cura das peças em uma estufa.

Figura 8: Processo de produção da telha de concreto



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Isaia, 2007.

Figura 9: Processo de produção da telha de concreto:

a) Peneiramento da areia; b) Esteira; c) Misturador; d) Extrusora



Fonte: BRANDÃO et al., 2015.

3.5.3 Propriedades – Telhas de concreto

De acordo com a ABNT (2009), as telhas de concreto devem obedecer determinados requisitos físicos para assegurarem a garantia de sua qualidade final,

possibilitando assim a sua utilização no mercado da construção civil. Elas possuem uma “vida útil de aproximadamente 10 anos se os requisitos físicos da NBR 13858-2 sigam assegurados de acordo com a manutenção prevista nas instruções de aplicação, uso e operação.” (ABNT, 2009). Os requisitos físicos a serem levados em consideração são peso seco, impermeabilidade, empenamento, absorção de água e carga de ruptura.

Tabela 7: Requisitos físicos exigidos pela NBR 13858-2

Requisitos	Limites
Peso seco	O peso das telhas de concreto é expresso em decanewton por metro quadrado de área útil de telha. Os resultados finais devem ser menores ou iguais a: 1) 52 dN/m ² para classe A; 2) 50 dN/m ² para classe B; 3) 48 dN/m ² para classe C; 4) 45 dN/m ² para classe D; 5) 55 dN/m ² para telhas planas;
Impermeabilidade	A telha não deve apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, sendo, porém, tolerado o aparecimento de manchas de umidade, quando submetida ao ensaio para verificação da permeabilidade;
Empenamento	Quando apoiada sobre um plano horizontal, com sua face inferior voltada para baixo, o afastamento entre o plano e qualquer ponto de contato não deve exceder 1,5 mm;
Absorção de água	A absorção de água da telha não deve ser superior a 10%;
Carga de ruptura	A carga de ruptura à flexão aos 28 dias de idade possui intervalos limites entre 1200 a 2400 N, dependendo da classe do perfil e função da profundidade da telha.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de ABNT NBR 13858-2, 2009.

4 APLICAÇÕES COM RESÍDUO DE BAUXITA (LAMA VERMELHA)

4.1 Resíduo de bauxita: breve contexto

A bauxita é uma rocha de coloração vermelha, rica em alumínio, que apresenta mais de 40% de alumina em sua composição. É a rocha (minério) responsável pela origem do alumínio e a sua coloração é devido a presença de óxidos de ferro. De acordo com Mercury et al. (2012), Austrália, Brasil, Índia e Jamaica são os principais produtores de bauxita no mundo, tendo em 2008 alcançado um número acima de 205 milhões de toneladas no Brasil. Ainda de acordo com os autores, há uma produção anual de 70 bilhões de toneladas em diversas reservas espalhadas pelo mundo. Segundo a ABAL (2017), são necessários de cinco a sete toneladas de bauxita para duas toneladas de óxido de alumínio (alumina) que transformar-se-á em uma tonelada de alumínio.

Somando um total de 3,4 bilhões de toneladas ou 10% das reservas mundiais, as reservas de bauxita do Brasil estão situadas entre as maiores do mundo e ocupam a terceira posição após a Guiné e Austrália, cada uma com respectivamente 25% e 23% das reservas do mundo (TORRES, 2020, p.42)

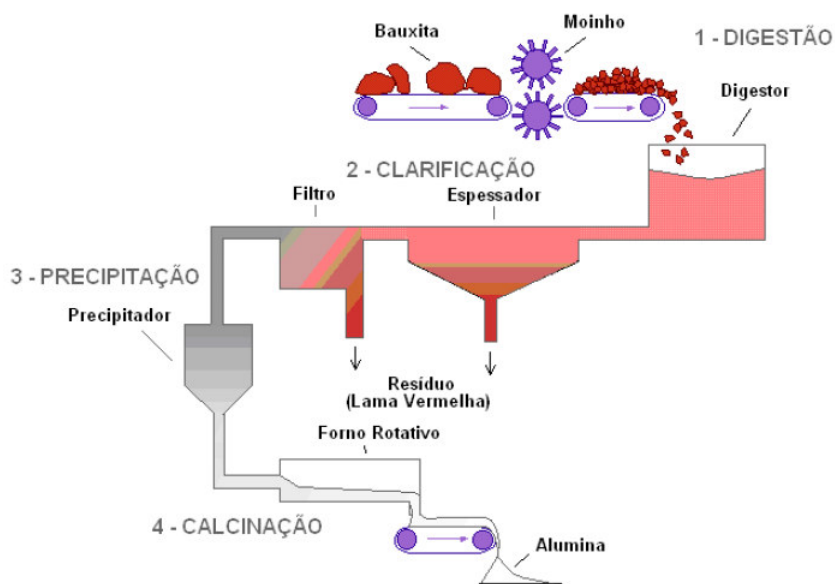
Figura 10: Bauxita



Fonte: ABAL, 2017.

O resíduo de bauxita (lama vermelha) é um resíduo sólido, gerado pela indústria da alumina que se acumula diariamente nas indústrias de refinamento. O Processo Bayer é responsável pela produção da alumina, inicialmente desenvolvido para a indústria têxtil que utiliza a para fixar o tingimento do algodão.

Figura 11: Esquema do Processo Bayer



Fonte: Habashi, (2005).

Segundo Pedrosa (1999), a indústria de alumínio não possui ainda procedimentos satisfatórios para a minimização de riscos (quanto à adição de soda cáustica), uma vez que o resíduo da bauxita pode gerar danos ao meio ambiente, especialmente na contaminação de mananciais de água pelo seu grande volume e alta alcalinidade (pH entre 10 e 13).

Tal risco de impactos ambientais negativos tornam imperativo o planejamento de longo prazo, passando pelas fases de estudos de minimização, tratamento, reciclagem e, eventualmente, disposição de material inerte. As técnicas utilizadas podem ser de mudança no processo, nos procedimentos operacionais, uso de produtos químicos substitutos ou uso de materiais ou matérias primas de melhor qualidade (PEDROSA, 1999, p.143).

No ano de 2015 a bauxita detinha a terceira posição dos recursos naturais (em volume) produzidos no Brasil, segundo a ABAL (2017), com quase 37 milhões de toneladas por ano. O Maranhão encontra-se no *hall* de estados onde a indústria da mineração faz-se presente. De acordo com ABAL (2017), no ano de 2006, em São Luís foram produzidas 1,4 milhões de toneladas de alumina e 700 mil toneladas de lama vermelha (para cada tonelada de alumina é gerado 0,5 tonelada de lama vermelha).

Segundo a NBR 10004:2004 da ABNT, o resíduo da bauxita pode ser classificado como resíduo Classe I: perigoso de alta corrosividade e reatividade, de modo que sua manipulação inadequada, pode apresentar problemas ambientais e

riscos para a saúde, de acordo com Mercury et al. (2010). Ao ser acumulado, o resíduo de bauxita resulta diversos problemas “relacionados à busca constante de armazenamento físico, poluição, impossibilidade de cultivo nas terras próximas e diminuição da qualidade de vida das comunidades localizadas perto dos locais onde o resíduo está armazenado.” (TORRES, 2020, p.44). Além de tudo, ainda gera altos custos para as indústrias de refino no Brasil, pois é necessária uma ampla acomodação para estocar a lama vermelha, assim como cuidados específicos na manutenção dos locais onde ela permanecer estocada.

4.2 Aplicações

Baseando-se nos cuidados específicos que se deve ter com a lama vermelha citados no tópico anterior, urge a necessidade de buscar alternativas que não apenas minimizem os danos que o resíduo de bauxita pode causar diretamente ao meio ambiente, mas que também visem a sua reutilização em proveito do ser humano, uma vez que possui um alto volume de produção anual “sem finalidade”. Estudos sobre a lama vermelha nos últimos 20 anos, apontam novas tecnologias voltadas para a sua reutilização no setor da construção civil, insumo de cimento, produção de material cerâmico, catalisador, reagente, captura de CO₂, etc., segundo Torres (2020).

Através de experimentos é possível avaliar as propriedades físico-mecânicas do corpo de prova, comprovando em quais fases do teste o produto apresentou resultados satisfatórios (caso presente). Azevedo (2017) caracteriza os resíduos de bauxita para a produção de cimento à baixo custo e ambientalmente sustentável. Santiago et al. (2018), após experimentos com resíduo de bauxita voltados para materiais de construção, afirma que pode ser viável uso do resíduo em obras de engenharia, seguindo as normas propostas pela ABNT, pois verificou que os resultados se adequavam às normas em algumas etapas e, portanto, os autores sugeriram na conclusão da pesquisa que mais análises e testes fossem desenvolvidos. Shinomiya, Alves e Gomes (2015), além da produção de cimento, também sugerem que a lava vermelha pode ser utilizada na produção de cerâmica vermelha e na pavimentação de estradas.

Manfroi (2009) desenvolveu uma pesquisa voltada para a substituição parcial do cimento pelo resíduo de bauxita na produção de argamassa e os resultados foram satisfatórios:

Por fim, a utilização do resíduo lama vermelha como material pozolânico e fíler, para produção de argamassas de assentamento e revestimento poderão reduzir o armazenamento da mesma no meio ambiente e, também, reduzir os custos para as indústrias produtoras de alumínio e cimento (MANFROI, 2009, p.144).

Em outro estudo, Vieira, Brow e Martinelli (2012) afirmam que a lama vermelha também pode ser usada como matéria-prima para obtenção de vidros, adicionando sílica no processo de produção. Torres (2020) desenvolveu um experimento de ladrilho hidráulico a partir da reciclagem do resíduo de bauxita e concluiu que:

São factíveis os produtos cerâmicos feitos com acréscimo de resíduo de bauxita reciclado, visto que conseguem igualar ou superar os padrões em alguns casos específicos, encapsular o PH da lama vermelha e permitir outro modo de disponibilizar esse rejeito de uma forma limpa e ecológica, além de ajudar a diminuir o impacto ambiental, cumprir com os requisitos do Design Sustentável e viabilizar o uso de resíduo da bauxita como agregado fino para a confecção de composições cerâmicas para pavimentação (TORRES, 2020, p.87).

Muitas são as pesquisas desenvolvidas nos últimos anos que visam um aproveitamento do resíduo da bauxita e, em todos os estudos aqui apontados, observa-se o constante desdobramento de pesquisa que cita a necessidade de mais testes para resultados cada vez mais satisfatórios. É notório que uma das vertentes mais estudadas é a da construção civil, tendo o resíduo de bauxita reaproveitado para a produção de tijolos, ladrilhos, revestimentos, argamassa, telhas, bloco de concreto, produtos cerâmicos, concreto, etc. Segue abaixo uma tabela elaborada a partir de Manfroi (2009) e atualizada pela autora desta dissertação que apontam um compilado de estudos importantes sobre a sustentabilidade através da produção com resíduo de bauxita.

Tabela 8: Estudos de reaproveitamento do resíduo de bauxita

Autor	Materiais produzidos com o resíduo de bauxita (lama vermelha)
Gordon et al. (1996)	Compósito cimentício (cal hidratada, microsílica, calcário)
Singh et al. (1996)	Clínquer
Pera et al. (1997)	Concreto colorido (lama como pozolana)
Sglavo et al. (2000)	Produtos cerâmicos (colorante)
Yalçin e Sevinç (2000)	Placas cerâmicas, artigos sanitários, porcelanas e eletroporcelanas (isoladores de alta tensão)

Pera e Pera (2000)	Concreto auto-nivelante (lama como agente de viscosidade) e concreto colorido (lama como pozolana)
Kavas (2006)	Tijolos queimados produzidos com resíduos provenientes da indústria de boro
Yang e Xiao (2007)	Tijolos sem queima, produzidos com cinzas, areia, cal, gesso e cimento Portland
Martins et al. (2008)	Clínquer e pozolana (lama seca)
Ribeiro e Morelli (2008)	Pozolana (lama seca)
Sotero et al. (2009)	Blocos de concreto para pavimentação
Yang et. al (2009)	Telhas cerâmicas
Manfroi (2009)	Produção de argamassas de assentamento e revestimento
Vieira, Brow e Martinelli (2012)	Produção de vidros
Shinomiya, Alves e Gomes (2015)	Produção de cimento, cerâmica vermelha e pavimentação de estradas
Azevedo (2017)	Cimento ambientalmente sustentável e de baixo custo
Santiago et al. (2018)	Materiais de construção
Torres (2020)	Ladrilhos hidráulicos

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Manfroi, 2009.

5 ANÁLISES

Seguindo as Normas Técnicas NBR 15310 para telhas cerâmicas e a NBR 13858-2 para as telhas de concreto, serão feitas quatro análises: dimensional das peças, absorção de água e peso seco, impermeabilidade e carga de ruptura.

5.1 Análise dimensional das peças

Nessa verificação são observadas as seguintes características dimensionais básicas da telha cerâmica e de concreto: comprimento efetivo, largura efetiva, posição do pino e altura do pino. A telha cerâmica pode apresentar uma variação dimensional de $\pm 2\%$ para seu comprimento, largura e distância do pino e de 4% quanto a seu rendimento médio. Já a telha de concreto com dimensões até 420 mm, a tolerância é de ± 2 mm e para dimensões acima de 420 mm, tolerância de $\pm 0,5\%$.

5.2 Análise de absorção de água e peso seco

A absorção de água servirá para determinar o aumento da massa dos corpos de prova após terem sido submersos em água. O ensaio realizado consistirá na determinação da massa seca (M_s) e da absorção d'água (AA). Ambas as telhas de concreto e cerâmica possuem o mesmo método de determinação da absorção d'água. A telha cerâmica não deve absorver água em mais do que 20% de seu peso seco, já a telha de concreto não pode ter uma absorção de água superior a 10%.

5.3 Análise de impermeabilidade

A análise de impermeabilidade consiste em verificar a quantidade de água que passa ou não através da espessura da telha. O método de ensaio para a verificação da impermeabilidade é similar tanto para as telhas cerâmicas, quanto para as telhas de concreto. Quando submetida ao ensaio para verificação da impermeabilidade, ambas as telhas não devem apresentar vazamentos ou formação de gotas em sua face inferior, sendo, porém, tolerado o aparecimento de manchas de umidade.

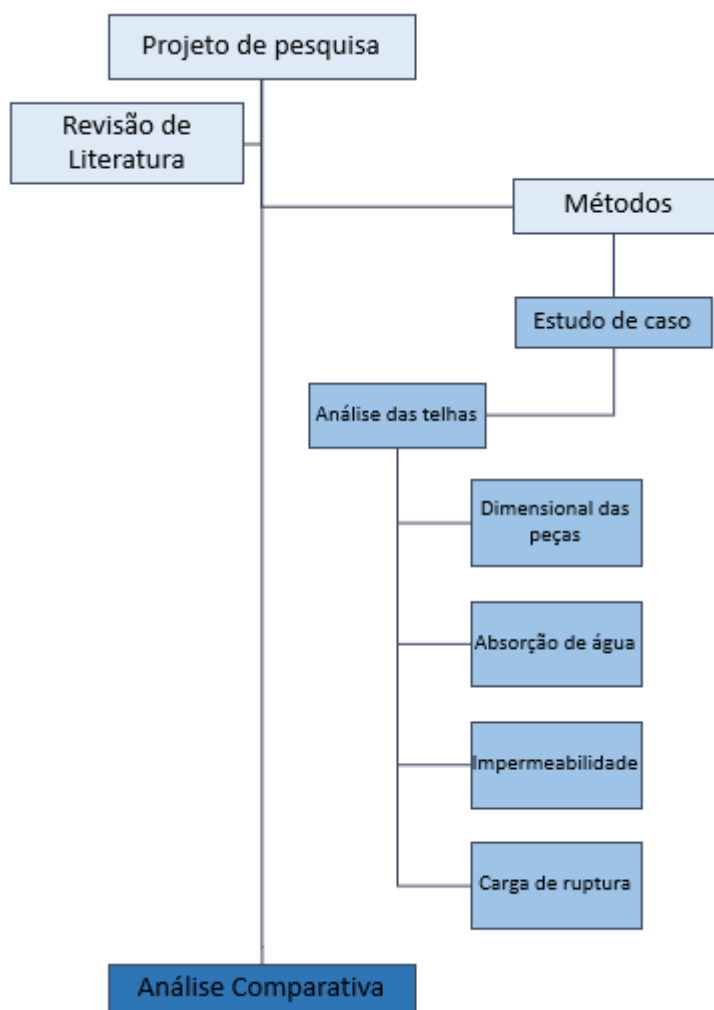
5.4 Análise de carga de ruptura

A análise de carga de ruptura tem por finalidade simular situações genéricas no transporte, no uso, na construção e manutenção das telhas quanto a sua resistência. A telha cerâmica submetida a uma pressão contínua e sem golpes deve suportar no mínimo 1300 N (130 Kgf.). Já na telha de concreto, a carga de ruptura à flexão aos 28 dias de idade possui intervalos limites entre 1200 a 2400 N, dependendo da classe do perfil e função da profundidade da telha.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Segue abaixo, figura 12, o organograma desenvolvido do processo metodológico da pesquisa.

Figura 12: Organograma metodológico



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1 Materiais

Os materiais que serão utilizados na pesquisa para estudo e análises laboratoriais constam: telhas de cerâmica do tipo americana, cedidas pela empresa Cerita que fica localizada no município de Bacabeira, MA; telhas de concreto cedidas pela empresa Contelha, localizada na cidade de São Luís, MA; telha de concreto com resíduo de bauxita; balança, paquímetro, estufas e máquina universal para avaliar a carga de ruptura.

Tabela 9: Telhas estudadas

Amostras	Descrição
A1	Telha cerâmica americana
B1	Telha de concreto (sem resíduo)
C1	Telha de concreto com 30% de substituição da areia pelo resíduo de bauxita

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13: Telha cerâmica americana



Fonte: Cerita, 2021.

Figura 14: Telha de concreto



Fonte: Contelha, 2021.

Figura 15: Telha de concreto com resíduo de bauxita



Fonte: Autora, 2022.

6.1.1 Fabricação da telha de concreto com Resíduo de Bauxita

A telha de concreto com RB foi fabricada com a substituição parcial (30%) da areia pelo resíduo, uma vez que, segundo a pesquisa de Torres (2020) com ladrilhos hidráulicos, essa foi a porcentagem de substituição que obteve os melhores resultados nos ensaios físico-mecânicos desenvolvidos – assegurando então uma maior probabilidade de sucesso em futuros experimentos.

As telhas utilizadas nesta pesquisa foram fabricadas e cedidas pela empresa Contelha, localizada na cidade de São Luís – MA. O seu processo de produção é similar ao de uma telha de concreto convencional, seguindo as mesmas etapas anteriormente citadas com o auxílio de maquinário para mistura dos materiais, extrusão e cura na estufa.

Figura 16: Maquinário pesado para fabricação de telhas de concreto



Fonte: Autora, 2022.

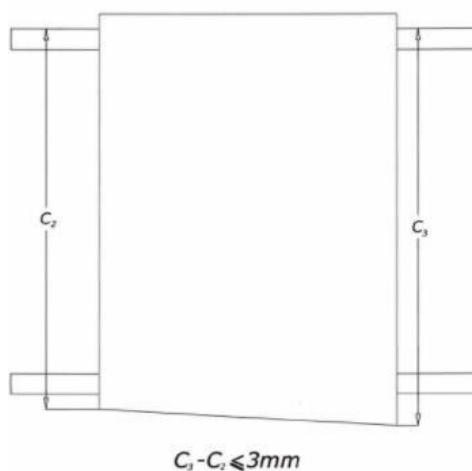
Após a fabricação da telha de concreto com resíduo de bauxita foram realizadas as análises previamente propostas nesta pesquisa para o desenvolvimento da análise comparativa, de acordo com a NBR 13858-2 para telhas de concreto. São elas: análise dimensional das peças, absorção de água e peso seco, impermeabilidade e carga de ruptura.

6.2 Métodos

6.2.1 Análise dimensional das peças

De acordo com a NBR 13858-2 para telhas de concreto, posiciona-se um corpo-de-prova, conforme indicado na figura 17, sobre uma viga de madeira perfeitamente alinhada e medem-se os comprimentos C_2 e C_3 , conforme indicado na figura 17. Repetir este procedimento para verificar o esquadro dos demais corpos-de-prova.

Figura 17: Vista superior da telha de concreto



Fonte: ABNT NBR 13858-2, 2009.

Para obter as medidas recomendadas pela NBR 13858-2, utilizou-se em sua fabricação as mesmas formas metálicas utilizadas na fabricação das telhas de concreto convencionais, visando obter resultados semelhantes.

Figura 18: Formas metálicas utilizadas para fabricação das telhas



Fonte: Autora, 2022.

Figura 19: Telha de concreto com resíduo de bauxita



Fonte: Autora, 2022.

6.2.2 Análise de absorção de água e peso seco

De acordo com a NBR 13858-2 para telhas de concreto, são seguidas as etapas abaixo:

- 1) Retirar aleatoriamente seis corpos-de-prova do lote de inspeção para os ensaios tanto de massa quanto de absorção;
- 2) Imergir os corpos-de-prova em um reservatório com água potável, por um período de 24h;

- 3) Após 24h, retirar os corpos-de-prova, enxugando também o excesso de água da sua superfície;
- 4) Determinar a massa dos corpos-de-prova na balança, anotando-a como m_u (massa úmida);
- 5) Colocar os corpos-de-prova na estufa, a uma temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até que duas pesagens sucessivas com intervalos de 1h difiram em no máximo 0,25%;
- 6) Retirar os corpos-de-prova e, imediatamente, determinar sua massa, evitando que absorvam a umidade do ambiente. Anotar a massa m_s (massa seca);

Para ambas as telhas (com e sem resíduo de bauxita), o índice de absorção d'água (AA) de cada corpo-de-prova é determinado pela expressão: $AA (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100$, onde m_u e m_s representam a massa úmida e seca de cada corpo-de-prova, respectivamente, expressas em gramas. O peso seco (P_s) é calculado em função da massa seca, segundo a equação: $P_s = m_s \times g$, onde m_s é a massa seca medida em quilogramas (kg) e g é a aceleração da gravidade. A massa seca m_s foi determinada para cada corpo de prova. Para efeito de transformação da massa seca em *decanewton*, adotou-se a aceleração da gravidade como sendo igual a 10 m/s^2 .

A análise de absorção de água e peso seco foi desenvolvida através de observação participante em parceria com o mestrando Paulo Rafael (UFPA) no LEC – UEMA em São Luís, Maranhão.

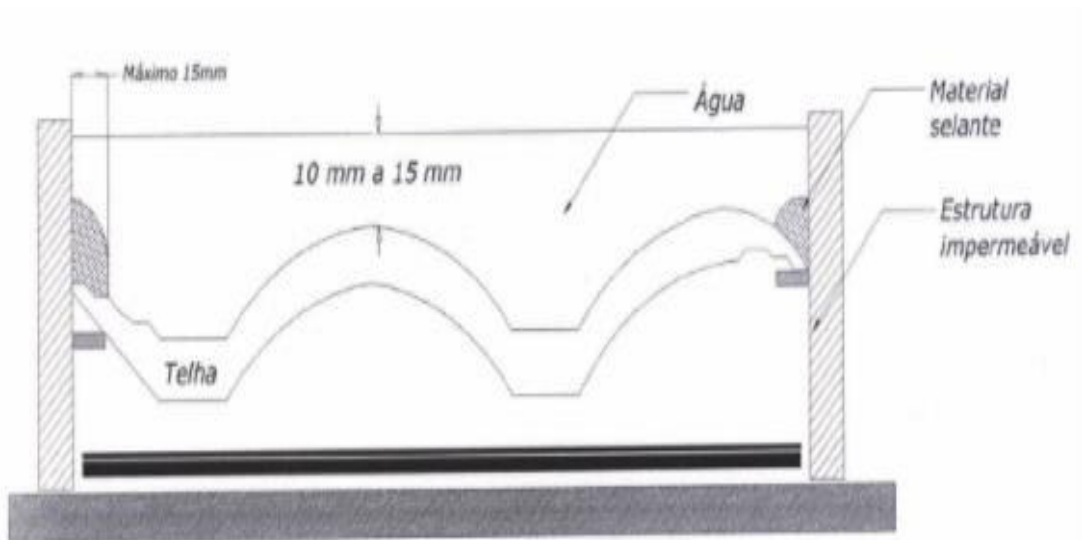
6.2.3 Análise de impermeabilidade

De acordo com a NBR 13858-2 para telhas de concreto, os procedimentos do ensaio consistem em:

- 1) Retirar aleatoriamente seis corpos-de-prova do lote de inspeção;
- 2) Colocar cada corpo-de-prova em posição horizontal dentro da caixa;
- 3) Apoiar o corpo-de-prova e vedar adequadamente sua periferia;
- 4) Assegurar que o corpo-de-prova permaneça na horizontal;
- 5) Assegurar a estanqueidade entre as bordas da telha e as laterais da caixa, mantendo o selante restrito a 15 mm de largura, no máximo;

- 6) Despejar água limpa na caixa, até atingir o nível mostrado na figura 20, com altura de 10 mm a 15 mm acima da crista da onda mais alta da face superior da telha, deixando que o sistema repouse por 24h, em ambiente coberto e ventilado;
- 7) Após 24 h, analisar a face inferior do corpo-de-prova.

Figura 20: Esquema de aparelhagem



Fonte: ABNT NBR 13858-2, 2009.

Quanto à realização deste ensaio para a telha de concreto com resíduo de bauxita, foi utilizada uma caixa horizontal impermeável com as dimensões adequadas para comportar a telha e a lâmina de água com vedação das laterais. O protocolo de imersão da telha foi seguido de acordo com a Norma Técnica, horizontalmente e com as bordas vedadas. A estanqueidade entre as bordas da telha e as laterais da caixa foi assegurada para que o ensaio ocorresse sem falhas. Em seguida foi despejada água limpa na caixa até atingir um nível de 10 a 15 cm acima da crista da onda mais alta da face superior da telha. A lâmina de água foi mantida por 24 horas à temperatura ambiente, no intuito de observar vazamentos e/ou formação de gotas aderentes na face inferior das telhas. O referido ensaio foi realizado na sede da empresa responsável pela fabricação da telha (Contelha – São Luís, MA). A Figura 21 mostra como o ensaio foi realizado.

Figura 21: Ensaio de impermeabilidade



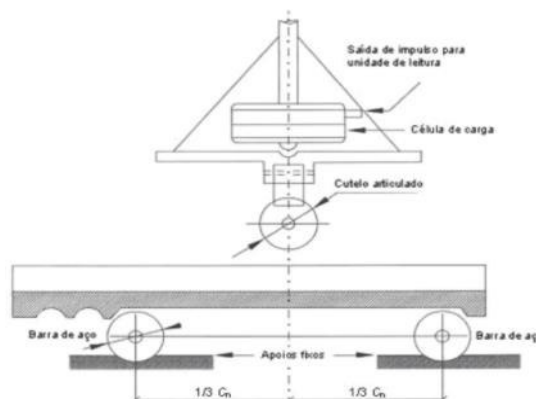
Fonte: Autora, 2022

6.2.4 Análise de carga de ruptura

De acordo com a NBR 13858-2 para telhas de concreto, para esta análise é necessário seguir as etapas descritas abaixo:

- 1) Imergir os corpos-de-prova em água e mantê-los submersos por 24 h;
- 2) Posicionar um corpo-de-prova sobre as barras de apoio fixas, a uma distância entre centros de $2/3$ do comprimento do corpo-de-prova, conforme indicado na figura 22;
- 3) Posicionar a barra de aço articulada, centralizando-a transversalmente ao corpo-de-prova;
- 4) Ligar a prensa e aplicar a carga, progressivamente e sem golpes, através da barra de aço articulada, não excedendo a velocidade de carregamento de (100 ± 10) N/s.

Figura 22: Esquema de aparelhagem



Fonte: ABNT NBR 13858-2, 2009.

Para que o ensaio da carga de ruptura à flexão fosse realizado, foram utilizadas telhas com 28 dias e 60 dias de cura. A primeira análise (28 dias de cura) foi escolhida com o objetivo principal de comparação entre a Norma Técnica e os resultados encontrados. Já a segunda análise (60 dias de cura) teve o intuito de averiguar o comportamento à flexão da telha ao longo do tempo, uma vez que ela deve possuir propriedades que viabilizem o seu uso seguro por longos períodos. As telhas foram posicionadas sobre barras de apoio fixas, para então sofrerem a aplicação da carga através da prensa que possibilitou a aplicação de uma força uniformemente distribuída, à velocidade constante, aplicada transversalmente no centro com ponto de aplicação em contato com a face superior da telha. A carga de ruptura foi expressa em newtons. O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Instituto Federal de Educação do Maranhão (IFMA).

Figura 23: Ensaio de resistência à tração na flexão de telhas



Fonte: Autora, 2022

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Resultados encontrados

Para este trabalho tínhamos a expectativa de identificar as oportunidades, favoráveis e desfavoráveis, quanto a produção e aplicação das telhas de concreto com resíduo de bauxita na construção das coberturas. Quanto aos resultados encontrados para as análises de dimensão, absorção de água e peso seco, impermeabilidade e carga de ruptura, estes deverão atender aos requisitos da Norma Técnica (NBR 13858-2) para darmos novos avanços quanto a aplicação futura em habitações de interesse social e moradias populares.

Vale ressaltar que as telhas de concreto com RB fabricadas para as análises desta pesquisa possuíam a substituição parcial de 30% de areia pelo resíduo de bauxita, pois foi a porcentagem que obteve os melhores resultados físico-mecânicos para a argamassa de concreto. Todas as análises foram desenvolvidas em parceria com o mestrando Paulo Rafael (UFPA).

7.1.1 Análise Dimensional

Quando à análise dimensional, as telhas de concreto com RB obtiveram medidas idênticas às telhas de concreto convencionais, uma vez que no seu processo de fabricação foram utilizadas as mesmas fôrmas (ver Figura 24), atendendo assim as medidas da NBR 13858-2 para telhas de concreto.

Figura 24: Telha de concreto com Resíduo de Bauxita



Fonte: Autora, 2022

7.1.2 Peso Seco

Quanto ao peso seco, a tabela 10 apresenta os resultados encontrados e a média das seis telhas utilizadas no ensaio, com valores individuais em dN/m².

Tabela 10: Peso seco das telhas de concreto com RB

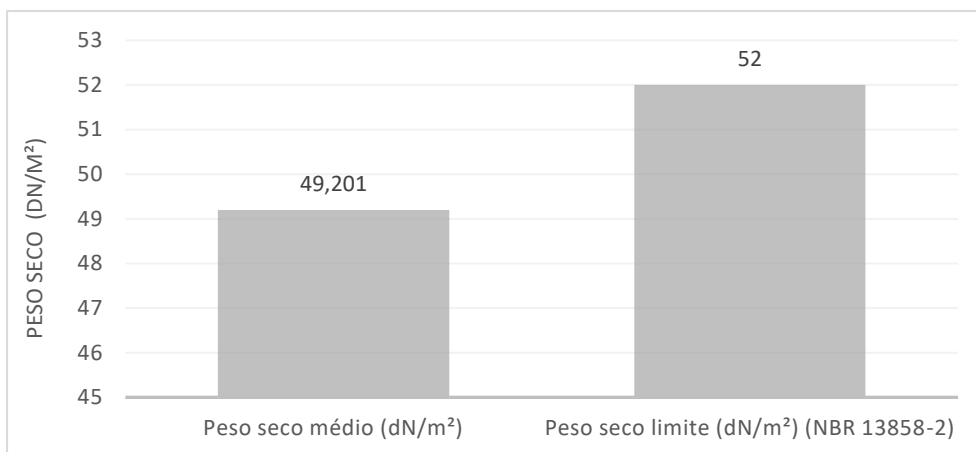
Telhas	Massa seca (Ms) em kg	Peso seco em dN/m ²	Média do Peso seco em dN/m ²
Telha 1	4,690	49,245	49,201
Telha 2	4,685	49,193	
Telha 3	4,680	49,140	
Telha 4	4,690	49,245	
Telha 5	4,683	49,172	
Telha 6	4,687	49,214	

Fonte: Autora, 2022

De acordo com o manual da empresa Contelha (fábrica responsável pela produção das telhas estudadas), considera-se 10,5 peças/telhas por m²: valor utilizado para o cálculo do peso seco em *decanewton* por m².

De acordo com a NBR 13858-2 (ABNT, 2009): o valor dos resultados individuais das amostras em dN/m² de área útil da telha em função da classe A, deve ser menor ou igual à 52 dN/m². Observando os resultados encontrados (Tabela 10) é possível concluir que ambos pesos – individuais e o peso seco médio – para as telhas de concreto com RB corresponderam aos limites exigidos pela Norma Técnica, visto que os dois apresentaram valores inferiores à 52dN/m². A figura 22 nos mostra através de um gráfico comparativo os resultados encontrados e o limite exigido pela norma.

Gráfico 01: Peso seco das telhas de concreto com e sem RB



Fonte: Autora, 2022

7.1.3 Absorção de Água

Quanto à absorção de água, a tabela 11 apresenta os resultados encontrados (em porcentagem) e a absorção média das seis telhas utilizadas no ensaio.

Tabela 11: Absorção de água das telhas de concreto com RB

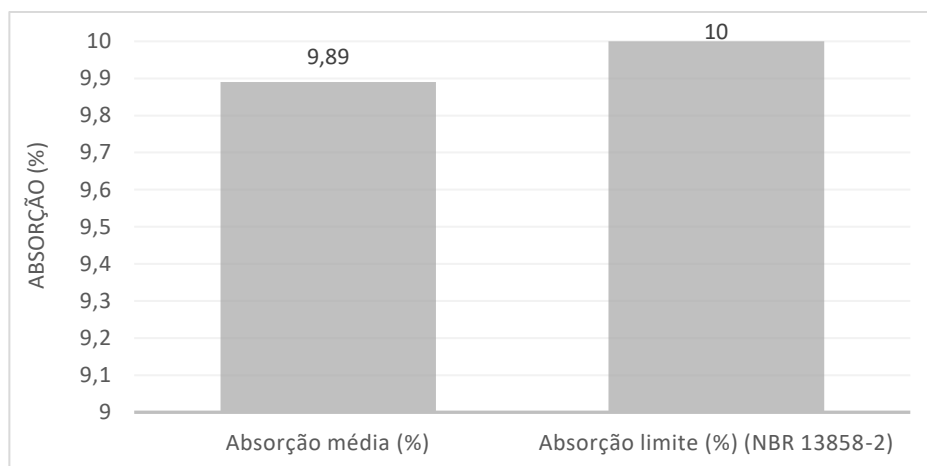
Telhas	Massa úmida (Mu) em g	Massa seca (Ms) em g	Absorção (%)	Absorção média (%)
Telha 1	5150,00	4690,00	9,81	9,89
Telha 2	5152	4685,00	9,97	
Telha 3	5148	4680,00	10,00	
Telha 4	5147	4690,00	9,74	
Telha 5	5148	4683,00	9,93	
Telha 6	5151	4687,00	9,90	

Fonte: Autora, 2022

Segundo a NBR 13858-2 (ABNT, 2009), a absorção de água das telhas deve ser menor ou igual à 10%. De acordo com os resultados encontrados, pode-se concluir que ambas porcentagens – individuais e a absorção de água média – para as telhas de concreto com RB corresponderam aos limites exigidos pela Norma Técnica, uma vez que os valores foram inferiores ou iguais a 10%. Pode-se dizer que, a partir das análises feitas e dos resultados encontrados, as telhas de concreto com 30% de RB

(em substituição à areia) estão viáveis quanto à absorção de água. A figura 23 nos mostra um gráfico comparativo entre a porcentagem média da absorção das telhas e a exigida pela NBR 13858-2.

Gráfico 02: Gráfico comparativo de absorção das telhas



Fonte: Autora, 2022.

7.1.4 Impermeabilidade

Quanto à impermeabilidade, foi realizado o teste (de acordo com a Norma Técnica) e observou-se que as telhas de concreto com resíduo de bauxita não apresentaram vazamentos, assim como também não apresentaram a formação de gotículas em sua face inferior e nem manchas de umidade. Pode-se concluir que as telhas fabricadas com 30% de RB (em substituição à areia) estão tecnicamente viáveis no que diz respeito à impermeabilidade, de acordo com a NBR 13858-2 (ABNT, 2009).

Figura 25: Resultados da análise de impermeabilidade



Fonte: Autora, 2022.

7.1.5 Carga de ruptura

Quanto à carga de ruptura, foi realizada a análise de resistência à tração na flexão das telhas para um total de 12 telhas utilizadas no ensaio: seis para os 28 dias de cura e seis para os 60 dias de cura. Na tabela 12 podemos observar os resultados encontrados em Newton (N):

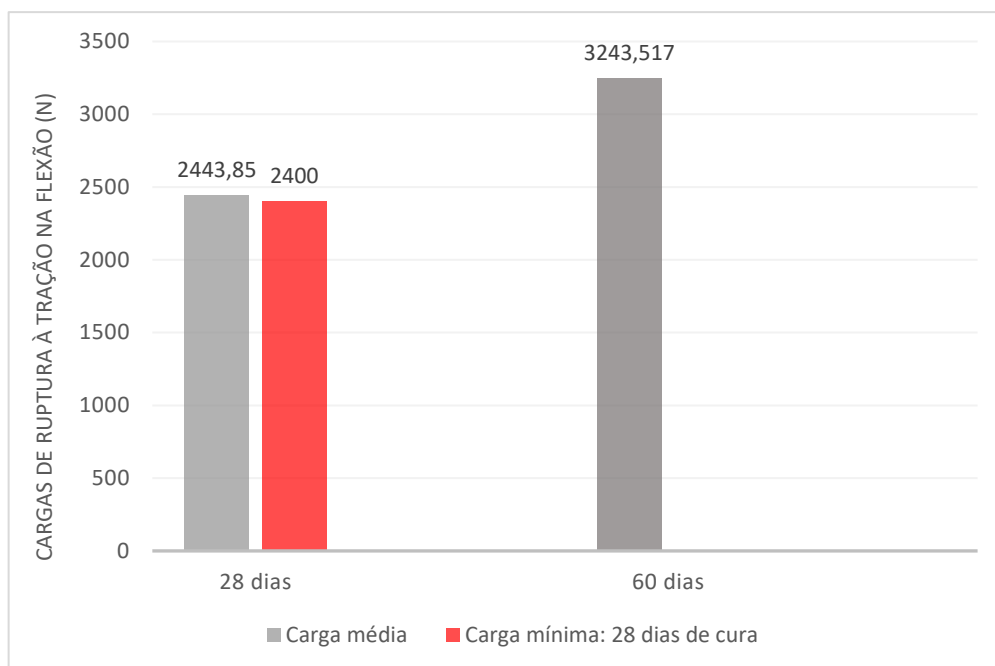
Tabela 12: Análise de carga de ruptura das telhas de concreto com RB

Idade de cura	Telhas	Carga de ruptura à tração na flexão (N)	Carga média (N)
28 dias	Telha 1	2430,000	2443,850
28 dias	Telha 2	2454,000	
28 dias	Telha 3	2453,000	
28 dias	Telha 4	2435,000	
28 dias	Telha 5	2442,500	
28 dias	Telha 6	2448,600	
60 dias	Telha 7	3250,200	3243,517
60 dias	Telha 8	3245,300	
60 dias	Telha 9	3235,600	
60 dias	Telha 10	3236,000	
60 dias	Telha 11	3249,000	
60 dias	Telha 12	3245,000	

Fonte: Autora, 2022.

Seguindo a NBR 13858-2 para telhas de concreto, a carga de ruptura à flexão das telhas de concreto deve ser no mínimo 2400 N para o tempo de 28 dias de cura. De acordo com os resultados encontrados na análise realizada, ambos valores – individuais e médio – correspondem ao limite exigido pela norma, pois estão acima de 2400 N. Pode-se concluir que as telhas de concreto com RB estão tecnicamente viáveis quanto à carga de ruptura à flexão exigida pela Norma Técnica. Segue abaixo um gráfico comparativo entre os resultados encontrados na análise com as telhas de concreto com RB e os valores exigidos pela NBR 13858-2 para as telhas de concreto convencionais.

Gráfico 03: Gráfico comparativo quanto à carga de ruptura das telhas



Fonte: Autora, 2022.

O gráfico 03 ilustra os valores encontrados nas análises realizadas com as telhas de 28 dias e 60 dias de cura. Como dito anteriormente, o valor mínimo de acordo com a Norma Técnica é de 2400N para 28 dias. É possível verificar que, para 60 dias de cura, o valor aumentou 32,72% chegando ao total de 3424,517 N. Os dois valores médios encontrados são muito satisfatórios para a pesquisa, uma vez que se encontram acima do valor exigido pela NBR 13858-2.

A resistência elevada nos 60 dias de cura da telha de concreto com RB pode ser explicada pelo fato de que, na porcentagem de 30% de substituição da areia pelo resíduo de bauxita, a argamassa se tornou mais homogênea e com maior preenchimento de vazios, tornando a telha fabricada um artefato mais compacto. Outro fator contribuinte para tal resultado foi a utilização da forma de compactação no processo de fabricação da telha, pois foi realizada a compactação mecanizada por extrusão, o que reduz consideravelmente os vazios em comparação à fabricação manual.

7.2 Análise comparativa e discussão

7.2.1 Telha cerâmica x Telha de concreto: potencialidades e fragilidades

Como dito anteriormente, a telha cerâmica é o tipo de telha mais antiga e acessível no mercado, sendo amplamente utilizada nas coberturas do Brasil e do mundo. Já a telha de concreto é recente, surgiu em 1844, mas teve o seu crescimento em um ritmo lento devido ao seu processo de fabricação. No Brasil, a ANFATECCO relata que a produção começou apenas em 1976 na cidade de São Paulo com a fábrica Eternit e, segundo CINTRA (2008), de lá pra cá vem conquistando cada vez mais espaço na área da construção civil devido aos avanços tecnológicos nos seus processos de produção.

Aprofundando um pouco na composição básica da telha cerâmica e da telha de concreto, alguns pontos são comumente abordados e comparados quando se fala das telhas convencionais. A telha cerâmica, por exemplo, tem na argila a sua matéria-prima, sendo ela uma fonte renovável de uso na fabricação de diversos utensílios cerâmicos, telhas, ladrilhos, tijolos, etc. Segundo o Boletim de Inteligência do SEBRAE (2015), ela possui um impacto até 57% menor no esgotamento de recursos não renováveis em comparação à telha de concreto. Um dos motivos desta alta porcentagem de esgotamento dos recursos não renováveis é que a telha de concreto possui a areia em sua composição básica. A exploração da areia (recurso não renovável) ao longo dos anos – para uso e fabricação de diversos produtos, principalmente voltados para o setor da construção civil – acabou por causar graves danos ao meio ambiente, colocando as jazidas de areia em perigo e “promovendo” este material ao patamar dos materiais mais explorados no mundo.

A sustentabilidade surgiu da necessidade do planeta e do meio ambiente fazerem as pazes e reaprenderem a conviver em harmonia, uma vez que a Terra estava (e ainda está) correndo o risco de se tornar um planeta inabitável para os seres vivos em um futuro não tão distante. Os avanços tecnológicos e as pesquisas científicas tornaram-se importantes aliadas do desenvolvimento de uma sociedade mais sustentável. Mais especificamente, o design de produtos pode ser capaz de garantir para as gerações futuras produtos que, além de não agredirem a natureza (desde a extração de materiais até a última etapa de seu ciclo de vida, o descarte)

possam contribuir para uma economia mais circular e agir positivamente em questões sociais como o acesso a um utensílio, a habitação, o acesso à tecnologia, etc. Voltando o estudo da sustentabilidade para os produtos analisados nesta pesquisa (as telhas de concreto com resíduo de bauxita), encontra-se uma grande potencialidade – e que ajuda no processo de reversão do esgotamento de recursos não renováveis como a areia – que é a facilidade de modificar o traço e a composição de uma telha de concreto. Segundo Pilz et al. (2018), foi o que possibilitou diversos experimentos com os mais variados tipos de resíduos, compósitos, fibras vegetais, etc., como por exemplo: o uso do resíduo de bauxita (resíduo estudado nesta pesquisa), fibras de sisal e eucalipto, resíduos sólidos, resíduos de mármore, plástico reciclado, vidro, dentre outros materiais que nos explicitam a possibilidade de grande variedade de materiais pra novos estudos e testes em laboratório.

Avançando para além da composição básica de cada telha, falaremos agora sobre os respectivos processos de produção, uma vez que eles nos possibilitam encontrar outros fatores que também refletem as potencialidades e fragilidades das telhas de cerâmica e de concreto quanto à sustentabilidade, para assim chegarmos à um quadro comparativo final com múltiplos pontos de vista. A telha de concreto, antigamente mais utilizada em residências de alto padrão, tornou-se ao longo dos últimos anos cada vez mais acessível à população em geral e ao setor industrial da construção civil. Dá-se, como um dos principais motivos, o seu processo de fabricação se comparado ao da telha cerâmica, pois segundo (Valcarenghi et al., 2011), em determinadas regiões ocorre a falta da matéria-prima para a confecção das telhas cerâmicas ou, se encontrada, é apenas por um valor exorbitante. O elevado gasto de energia elétrica também acaba por ser um fator determinante no seu processo de fabricação, mas dentre os fatores citados anteriormente, é essencialmente o alto teor de gás carbônico liberado durante as queimas em altíssimas temperaturas o maior dos problemas, visto que a cerâmica precisa passar obrigatoriamente por este processo para garantir a sua resistência final. Quanto à emissão de gás carbônico, o Boletim de Inteligência do SEBRAE (2015) aponta que a telha de concreto precisa fazer maiores distâncias de transporte nos seus processos (desde a fabricação até a sua aplicação), mas o repensar das logísticas de transporte através dos avanços tecnológicos apontou – e segue apontando – muitas possibilidades de redução da emissão do gás carbônico. Em contrapartida, até o momento não há resultados

significantes quando se fala sobre a queima das cerâmicas, pois este segue sendo um processo compulsório na fabricação dos produtos oriundos da argila, liberando uma quantidade muito mais significativa de gás carbônico no planeta.

Outro ponto a ser levado em consideração na comparação entre as telhas cerâmicas e as telhas de concreto é o seu peso seco e, por consequência, a absorção de água. Erroneamente os consumidores são levados a acreditarem que a telha cerâmica é mais leve que a telha de concreto, mas para considerarmos o peso real de um objeto como a telha, por exemplo, precisamos levar em conta também – além do peso seco – o seu peso após a absorção de água, pois a porcentagem que cada material absorve de água é diferente, o que determina um novo valor de soma importância para o cálculo estrutural de cada tipo de cobertura. A telha cerâmica possui uma porcentagem de absorção de água em até 20%, não sendo admitido pela NBR 15310 para telhas cerâmicas porcentagens acima desse valor. Já a telha de concreto possui um valor limite estabelecido pela NBR 13858-2 em até 10%, ou seja, a metade ou até menos que a metade da porcentagem de absorção de água da telha cerâmica.

Ainda trazendo outras questões que evidenciem potencialidades e fragilidades das telhas cerâmicas e de concreto, podemos comparar a quantidade de telhas utilizadas por metro quadrado, o que impacta diretamente no custo final de uma cobertura. De acordo com Fernandes (2017), para uma cobertura feita com telhas cerâmicas, utiliza-se cerca de 10,4 telhas por metro quadrado, enquanto para telhas de concreto utiliza-se uma média de 7,5 telhas por metro quadrado. Levando em conta uma moradia popular de até 55m² (sem considerar a porcentagem de material extra que se deve comprar durante uma construção), a quantidade final de telhas para 55m² chega em até mais de 300 unidades a mais para telhas cerâmicas se comparadas às telhas de concreto, o que, por sua vez, determina um valor final diferente para cada tipo de cobertura escolhida, especialmente por serem vendidas em grande quantidade.

Pilz et al. (2018) traz uma revisão de literatura para o VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção em Ponta Grossa, no Paraná, que busca fazer uma análise comparativa entre as telhas cerâmicas, telhas de concreto e telhados verdes, visando a sustentabilidade aliada à novas tecnologias para voltar-se à questão social

da habitação. É interessante frisar que o intuito da análise comparativa no artigo de Pilz et al. (2018) – assim como nesta dissertação – não é apontar necessariamente a melhor opção como uma verdade absoluta, pois cada caso precisa de um estudo prévio realizado por profissionais qualificados que levarão em conta diversas questões como clima local, custo, durabilidade, preferências do consumidor (se houver), melhor aplicação, manutenção, dentre outros. O propósito desta análise comparativa é fornecer subsídios teóricos e físico-químicos laboratoriais que possam apontar novas possibilidades de desenvolvimento e inovação tecnológica, tendo o design de produto como Norte para uma sociedade mais sustentável, mais especificamente o estudo comparativo entre as telhas convencionais e a telha com resíduo de bauxita visando aplicação futura em habitações sociais.

A análise comparativa de Pilz et al. (2018) traz algumas conclusões já disseminadas por outros estudiosos da área, e que foram citadas anteriormente neste tópico para as telhas cerâmicas e telhas de concreto quanto à algumas de suas potencialidades e fragilidades. “Tendo em vista a situação atual das coberturas e telhado no Brasil, a comparação explicitada neste artigo mostra que uma produção mais sustentável pode ser atingida dependendo da escolha de telhas e materiais.” (PILZ et al., 2018, p.1247). O telhado verde, por exemplo, ainda é uma solução com um custo relativamente alto de implantação e manutenção dentro do que esta pesquisa se dispõe a estudar, mas que, segundo os autores, é um tipo de cobertura em ascensão e que pode futuramente ser implantada em moradias populares. Em suas considerações finais, os autores ainda abordam que a telha de concreto – pela facilidade na modificação do traço e composição – se torna uma ferramenta útil enquanto produto sustentável, colaborando com novas possibilidades e estudos através do reaproveitamento de resíduos e materiais reciclados em sua composição, assim como também nos seus respectivos processos de produção.

Telhas de concreto, cimentícias, são mais favoráveis do que telhas de cerâmica pela maior facilidade de produção para o caso de produção *in loco* por meio de matrões - sem fornos ou altas temperaturas elas geram menos impacto ambiental. E incluindo compósitos como areia, embalagens longa vida ou rejeitos recicláveis às telhas comuns de cimento, não é dificultado o uso ou o manuseio. (PILZ et al., 2018 p.1247)

Os autores Mercury et al. (2010) trazem em sua pesquisa alguns estudos iniciais do resíduo de bauxita acrescido à cerâmica. Os autores desenvolveram no Maranhão análises laboratoriais quanto às propriedades físico-mecânicas e o comportamento térmico da lama vermelha, visando a utilização do resíduo de bauxita para o desenvolvimento de produtos cerâmicos como tijolos, ladrilhos, telhas, etc. em São Luís. Apontam em suas considerações finais que:

As propriedades cerâmicas da LV determinadas no intervalo de temperatura entre 750 e 1150 °C mostraram que este material apresenta baixa retração linear (R_L) e TRF com elevados valores de absorção de água (AA) e Porosidade Aparente (PA). Entretanto, o conjunto dos resultados demonstra que é possível a utilização deste resíduo em conjunto com outras matérias-primas em misturas para fabricação de materiais cerâmicos, podendo contribuir para a economia de energia e diminuindo assim o seu passivo ambiental. (MERCURY, J. et al., 2010, p. 457)

O estudo dos autores Mercury et al. (2010) nos mostra que o resíduo de bauxita pode vir a ser utilizado também com materiais cerâmicos, mas o desenvolvimento de produtos e, por conseguinte as respectivas análises, ainda precisam ser desenvolvidas. Não há dúvidas que tanto a cerâmica quanto o concreto apresentam as mais variadas potencialidades e fragilidades, pois ambos são utilizados no setor da construção civil para o desenvolvimento de diversos produtos como tijolos, telhas, ladrilhos, etc. produzidos em larga escala. Como dito anteriormente, a escolha de qual material a ser utilizado na produção varia muito da localidade, do intuito da aplicação, das mudanças climáticas e de temperatura, do custo-benefício quanto à manutenção, dentre outros fatores que dependem do público alvo na escolha. Para esta dissertação, demos continuidade à algumas pesquisas previamente elaboradas como a de Torres (2020) para ladrilhos hidráulicos com RB, assim como também desenvolvemos as análises laboratoriais por meio de observação participante em parceria com o mestrando Albuquerque (UFPA, 2020-2022) para as telhas de concreto com resíduo de bauxita. Dentre outros fatores citados anteriormente, a facilidade da modificação no traço do concreto permitiu que chegássemos aos melhores resultados com a substituição parcial de 30% da areia pelo RB, segundo Torres (2020), permitindo assim desenvolver as análises laboratoriais e encontrarmos os resultados esperados quanto às propriedades físico-mecânicas da telha de concreto com resíduo de bauxita.

Por estes motivos seguiremos o próximo tópico desta dissertação aprofundando um pouco mais a análise comparativa, discutindo mais especificamente sobre as telhas de concreto convencionais e as telhas de concreto com resíduo de bauxita que foram desenvolvidas e avaliadas em laboratório no intuito de responder à questão desta pesquisa: “Quanto à produção de telhas com resíduo de bauxita: é possível obter uma qualidade final igual ou maior que a das telhas convencionais?”.

7.2.3 Telhas de concreto convencionais e com Resíduo de Bauxita

Foi desenvolvida a tabela a seguir para melhor ilustrar os resultados encontrados nas análises desenvolvidas em laboratório (resultados previamente citados no tópico 7.1 deste capítulo) em comparação aos valores fornecidos pela NBR 13858-2 (ABNT, 2009) para telhas de concreto.

Tabela 13: Comparação entre dados técnicos das telhas de concreto

Telhas estudadas	Análise dimensional	Peso Seco	Absorção de água	Impermeabilidade	Carga de ruptura
Telha de concreto segundo a NBR 13858-2	Dimensões até 420mm, tolerância de +/- 2 mm; Dimensões acima de 420mm, tolerância de +/- 0,5%.	Até 52 dN/m ²	Não pode ser superior à 10%.	Tolera-se apenas manchas de umidade, jamais vazamentos ou formação de gotículas d'água.	1200 a 2400 N (a partir de 28 dias)
Telha de concreto com resíduo de bauxita	Medidas idênticas às telhas de concreto convencionais	Peso médio: 49,201 dN/m ²	9,89%	Não apresentou vazamentos, manchas ou gotículas d'água.	2443,85 N (28 dias) e 3243,517 N (60 dias)

Fonte: Elaborado pela autora.

Após as análises desenvolvidas em laboratório – dimensional, peso seco, absorção de água, impermeabilidade e carga de ruptura –, foi possível chegar à resultados satisfatórios para responder à questão de pesquisa aqui proposta. As análises apontaram, sem exceção, dados técnicos positivos e satisfatórios que estão

de acordo com a NBR 13858-2 (ABNT, 2009) quanto a viabilidade de produção e aplicação futura da telha de concreto com 30% de substituição parcial da areia pelo resíduo de bauxita.

A questão ambiental que envolve o uso da areia na construção civil é algo que vem sendo muito discutido nos últimos anos. O aumento do consumo da areia é diretamente ligado à construção civil, pois ela é matéria prima dos materiais mais utilizados: o concreto e a argamassa. Apesar da extração das jazidas de areia ser considerada uma atividade de relevância socioeconômica para o país, a extração desenfreada e irregular delas decorreu-se do aumento significativo do consumo da areia, o que resultou em se tornar responsável por muitos dos impactos negativos no meio ambiente acarretando graves problemas como: o aumento do processo de erosão, alteração na geomorfologia fluvial de cursos d'água e, por consequência, diminuição da qualidade da água, dentre outros, de acordo com Nogueira (2016).

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA, a média da quantidade de areia extraída do meio ambiente varia entre 40 e 50 bilhões de toneladas para poder suprir a demanda da construção civil e representa 85% de todo o material extraído da Terra. Ainda de acordo com o PNUMA (2019), a extração de areia das jazidas possui regras e condutas diferentes em todo o mundo, o que acarreta em resultados variados quanto à vulnerabilidade da biodiversidade e dos ecossistemas em determinadas regiões. Mesquita (2019) aponta que pelo menos 24 ilhas da Indonésia desapareceram para que Singapura fosse construída. Dentre diversos fatores, alguns anteriormente citados podem ser base para pesquisas, como a erosão de praias, mudança no fluxo de rios que podem ocasionar as secas ou enchentes, destruição dos ecossistemas costeiros, etc. Estes são alguns dos principais fatores que impulsionaram o setor da construção civil a procurar soluções alternativas para reduzir o consumo exacerbado de areia no Brasil e no mundo.

A substituição parcial de 30% da areia pelo resíduo de bauxita (tanto para o desenvolvimento da telha de concreto como para outros produtos voltados para a construção civil) é apenas uma das pesquisas atuais, pois muito se tem estudado em busca de soluções inovadoras que possam contribuir positivamente para o alcance de uma sociedade mais sustentável. No caso desta dissertação, a telha de concreto com RB além de contribuir na questão ambiental quanto à redução do uso de areia e para

a reutilização do resíduo de bauxita, visa em paralelo um custo final de produção menor que os valores atuais no mercado, facilitando a viabilidade para aplicação futura em moradias populares e habitações sociais e assim buscando o tripé da sustentabilidade.

8 CONCLUSÃO

Como citado no início desta pesquisa, a ausência de infraestrutura adequada, saneamento básico, segurança no lar, dentre outros direitos universais, são pautas urgentes quando falamos sobre habitação social e moradia popular. Apontando este olhar para a questão social, o artigo de Pilz et al. (2018) traz à tona um questionamento quanto à sustentabilidade que também é pertinente para esta dissertação quando fala sobre o baixo custo na construção civil ser um fator indispensável para as famílias de baixa renda, uma vez que aponta a necessidade que essas moradias possuem de serem mais custo-benéficas e ecológicas, mas que muitas vezes acabam por se tornar habitações precárias que intensificam o déficit habitacional no Brasil.

Segundo Guzmán-Sanchez et al. (2018), embora os telhados ocupem uma média de 25% das superfícies urbanas e as edificações representem 40% do consumo mundial, o panorama de estudos qualitativos e tecnológicos voltados para a produção sustentável ainda deixa a desejar, especialmente os estudos voltados para coberturas em moradias populares e habitações sociais.

Esta pesquisa se desenvolveu tendo como objetivo principal o estudo da telha de concreto com resíduo de bauxita, visando responder à questão norteadora: “Quanto à produção de telhas com resíduo de bauxita: é possível obter uma qualidade final igual ou maior que a das telhas convencionais?”. A resposta para essa pergunta traçou um caminho a ser percorrido desde o estudo inicial sobre telhas cerâmicas e telhas de concreto, suas respectivas Normas Técnicas, potencialidades e fragilidades, testes laboratoriais e comparações quanto aos resultados encontrados e os valores exigidos pela NBR 13858-2 para telhas de concreto. De acordo com as análises feitas (dimensional, absorção de água, peso seco, impermeabilidade e carga de ruptura) com a substituição parcial de 30% da areia pelo resíduo de bauxita é possível sim obter uma qualidade final equivalente às telhas convencionais de concreto. Os valores encontrados estavam todos de acordo com os limites exigidos pela Norma Técnica nestas primeiras análises desenvolvidas.

O tripé teórico desta dissertação deu-se através do design de produto aliado à sustentabilidade e à inovação social, objetivando o reaproveitamento do resíduo de

bauxita (encontrado em larga escala no Maranhão) para a produção de telhas de concreto, visando sua aplicação futura em moradias populares. Os resultados encontrados nas análises laboratoriais foram satisfatórios para dar prosseguimento a pesquisas mais aprofundadas. Por enquanto podemos afirmar que a substituição de 30% da areia pelo resíduo de bauxita permite que telhas de concreto com RB sejam produzidas e induzidas a outros tipos de testes, como por exemplo com um intervalo de tempo de cura maior, condições climáticas adversas, exposição a intempéries, etc., no intuito de colher novas informações do comportamento da telha de concreto com resíduo de bauxita a longo prazo e sua produção em larga escala. Também é necessário desenvolver pesquisas para que se reflita sobre como o resíduo de bauxita (ainda que misturado ao cimento) pode se comportar a longo prazo em um produto da construção civil, pois se torna uma questão de saúde pública, uma vez que os usuários estarão em contato direto e/ou indireto com ele, a depender do seu uso na habitação.

O resíduo de bauxita – além de ser perigoso ao meio ambiente se não for estocado ou manejado corretamente – é um resíduo encontrado em toneladas pelo mundo inteiro. Buscar uma reutilização para ele é um dos primeiros e mais naturais passos que uma sociedade que visa alcançar a sustentabilidade tende a procurar. Apesar de serem considerados recentes os estudos quanto ao RB, a inovação social aliada ao design já vem abrindo caminhos e possibilidades para sua reutilização voltada ao design de produto e seus respectivos ciclos de vida útil. As perspectivas no design sustentável seguem sendo promissoras, uma vez que as pesquisas e descobertas científicas seguem a todo vapor em muitos países quando se fala em reaproveitamento de resíduos, inclusive sendo uma grande pauta da inovação social.

Outro fator a ser levado em conta dentro do estudo do reaproveitamento de resíduos é a diminuição do custo final dos produtos, ponto importante para questões sociais nas mais diversas áreas para além da moradia e que também são urgentes, como saneamento básico, coleta de lixo, acesso à água potável, etc. Uma vez que a questão social é um dos pilares da sustentabilidade, torna-se imprescindível falar sobre isso. Nesta pesquisa frisou-se a necessidade de melhorias sociais e estruturais dentro da realidade habitacional em que muitos ludovicenses estão inseridos. Materiais de construção, à um custo menor, podem vir a ser um grande impulso inicial para uma maior qualidade habitacional no estado do Maranhão.

Alguns desdobramentos de pesquisa já podem ser idealizados dentro da perspectiva científica, dentre eles:

- Novos testes em laboratório para avaliar outras características de comportamento à longo prazo da telha de concreto com substituição de 30% de areia por resíduo de bauxita;
- Desenvolver pesquisas que pautem o resíduo de bauxita e a questão da saúde pública do(s) usuário(s) à médio e longo prazo;
- Elaboração de inventário com o custo total de produção das telhas de concreto com resíduo de bauxita no intuito de calcular o valor final de uma cobertura;
- Desenvolvimento de novas telhas de concreto com outras porcentagens de substituição da areia pelo resíduo de bauxita e fazer as respectivas análises em laboratório;
- Desenvolvimento de telha cerâmica com resíduo de bauxita e suas respectivas análises laboratoriais;
- Desenvolvimento de protótipo digital de uma moradia popular utilizando outros materiais da construção civil de concreto com resíduo de bauxita (tijolos, telhas, ladrilhos, etc.).

Portanto, esta pesquisa se encerra na esperança de que um futuro mais sustentável esteja próximo, que ele possa promover aos seres humanos uma melhor qualidade de vida se compararmos especialmente com a atualidade dos últimos anos pandêmicos devido ao *Covid-19* (2020 – 2022). O design para a sustentabilidade já vem apontando há algum tempo o que poderia parecer uma realidade distante a 50 ou 60 anos atrás, mas com as inovações tecnológicas, os avanços científicos e as novas descobertas, o design nos prova diariamente que estas perspectivas sustentáveis podem estar cada vez mais perto de se tornarem realidade. Esperamos que em dias não tão longínquos possamos presenciar uma sociedade mais responsável pelo meio ambiente, preocupada com o que produz e a forma como descarta, com a população tendo acesso aos seus direitos básicos garantidos por lei e possuindo um lar aconchegante, seguro e de qualidade para viver.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. **Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma NBR ISO 14040 – **Gestão Ambiental** – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura. São Paulo, SP. 2009. 21 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15310. **Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13858-2. **Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2009.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley Moacyr. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. [S.l: s.n.], 2011.

Associação Brasileira de Alumínio - ABAL. **Relatório Bauxita. Bauxita no Brasil: mineração responsável e competitividade**. 2017. Disponível em: <http://www.abal.org.br/downloads/ABAL_Relatorio_Bauxita_2017_1.pdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

Azevedo, T.F. Caracterização de rejeitos de bauxita (Porto Trombetas, Pará) para produção de cimento ambientalmente sustentável e de baixo custo. *In: VI Jornada Acadêmica da Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém/PA*, 2017.

BRANDÃO, L.F.; ALVES, C.E.; OLIVEIRA, J.F.; MACEDO, O.A.P.; DAMASCENO, F.A. Propriedades físicas, mecânicas e térmicas de telhas de concreto fabricadas com adição de diferentes materiais isolantes. **REVENG**, Viçosa, v.23, n 15, p. 406-417, 2015.

CAVALCANTI, Alberes Vasconcelos; ARRUDA, André Oliveira; NONATO, Clarissa Borges; "Sustentabilidade no século XXI: História e possibilidades de avanços através do PSS", p. 43 -60. *In: Design & Complexidade*. São Paulo: Blucher, 2017. ISBN: 9788580392159, DOI 10.5151/9788580392159-03.

CHAVES, Liliane; FONSECA, Ken. "Design para inovação social: uma experiência para inclusão do tema como atividade disciplinar". **DAPesquisa**, Florianópolis, v. 11, n. 15, p. 130-146, 2016. DOI: 10.5965/1808312911152016130. Disponível em: <<https://www.revistas.udesc.br/index.php/dapesquisa/article/view/6747>>. Acesso em: 25 maio 2021.

CIB - Conselho Internacional de Construção (INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION – CIB United Nations Environment Programme International Environmental Programme International Environmental Technology Centre UNEP-IETC). **Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries: A discussion document**. Boutek Report No Bou/E0204, Pretória, CIB/UNEP-IETC, 2002.

CINTRA, A. D. **Utilização de pneu moído e resíduos na construção na fabricação de telhas de concreto**. 71 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia civil). Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

CIPOLLA, Carla. Ecovisões sobre Design para inovação social. **Ecovisões projetuais: pesquisas em design e sustentabilidade no Brasil**. São Paulo: Blucher, p. 83-86, 2017. ISBN: 9788580392661, DOI 10.5151/9788580392661-10.

CLARO, P. B. de O.; CLARO, D. P.; AMÂNCIO, R. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. **Revista de Administração**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 289-300, 2008. DOI: 10.1590/S0080-21072008000400001. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rausp/article/view/44483>>. Acesso em: 22 jun. 2021.

COLETTI, Chiara. et al. Use of industrial ceramic sludge in brick production: Effect on aesthetic quality and physical properties. **Elsevier**, p. 219-227, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.096>. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/conbuildmat>. Acesso em: 26 maio 2021.

ECCONIT CONSULTORIA ECONÔMICA. **Estudo técnico dedicado à atualização das necessidades habitacionais 2004-2030**: Relatório final para ABRAINIC – Associação Brasileira das Incorporadoras Imobiliárias. Nov., 2020.

FERNANDES, D.G. **Desenvolvimento de telha de concreto eco-suficiente utilizando resíduo de mármore do tear de fio diamantado**. 2017. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos materiais). Universidade do Morte Fluminense, Campos do Goytacazes, 2017.

FREITAS, Ranielder; COUTINHO, Solange; WAECHTER, Hans. “Análise de Metodologias em Design: a informação tratada por diferentes olhares”. **Estudos em Design**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 1-15, 2013. ISSN: 1983-196X. Disponível em: <<https://www.eed.emnuvens.com.br/design/article/view/111>>. Acesso em: 02 jan 2022.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2015**. Belo Horizonte: FJP, 2018.

_____. Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional no Brasil 2011-2012**. Belo Horizonte: MCidades, 2015.

_____. Diretoria de Estatística e Informações. **Déficit Habitacional e inadequação de moradias no Brasil**: Principais resultados para o período de 2016 a 2019, 2021. Belo Horizonte, MG. Disponível em: <http://novosite.fjp.mg.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/04.03_Cartilha_DH_compressed.pdf>. Acesso em: 28. jun. 2021.

GERHARDT, T. E. (org.); SILVEIRA, D. T. (org.). **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120p.

GUZMÁN-SÁNCHEZ, S.; JATO-ESPINO, D.; LOMBILLO, I.; DIAZ-SARACHAGA, J.M. *Assessment of the contributions of different flat roof types to achieving sustainable development*. **Building and Environment**. Vol.141 (2018) p. 182-192.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**, 2015 – Relatório.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Rio de Janeiro: Editora LTC, v. 1, 2007. 568p.

JOHN, Vanderley. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2004. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

JOHN, VM. & ZORDAN, SE. 2001, **Research & development methodology for recycling residues as building materials**. Waste Management, 21, pp.213-219.

KAZAZIAN, Thierry (org.). **Haverá a Idade das Coisas Leves: Design e Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 310p.

LIMA, Julyana da Silva. **Compósito de solo-cimento e resíduos de construção e demolição: perspectivas de materiais sustentáveis**. 2019. 146p. Programa de Pós-Graduação em Design. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

LIMA, Julyana; NORONHA, Raquel; SANTOS, Denilson. “Materiais que geram novos materiais: uma percepção simbólica sobre os compósitos”, p. 36-48. *In: Anais do 13º Congresso Pesquisa e Desenvolvimento em Design*, 2018. São Paulo: Blucher, 2019. ISSN: 2318-6968, DOI 10.5151/ped2018-1.1_ACO_05

MACEDO, Fernanda Busnardo; FACHINETTO, Marina; NASCIMENTO, Marilzete Basso. Sustentabilidade como Requisito de Design. *In: Anais do VII Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design*, Paraná: UFPR, 2006, p. 1-11.

MANFROI, Eliz Paula. **Avaliação da Lama Vermelha como material pozolânico em substituição ao cimento para produção de argamassas**. 2009. 152p. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MANZINI, Ezio. **Design para inovação social e sustentabilidade: Comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008, 104p.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: EDUSP, 2002. 366 p.

MARICATO, Ermínia et al. (Org.). **A produção capitalista da casa (e da cidade) no Brasil Industrial**. 2ª. ed. São Paulo: Alfa-Omega, 1982. 166 p. v. 1.

MARQUES, Luiz. **Capitalismo e colapso ambiental**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2018, 736p.

MATOS, G.; WAGNER, L. **Consumption of Materials in United States 1900-1995**. US Geological Service, 1999, 9p.

MAURO, Carlos; BORBA, Carlos. "A influência da sustentabilidade no processo de design de produto", p. 1-12. *In: ENSUS 2008 - II Encontro de Sustentabilidade em Projeto*. Florianópolis: UFSC, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/221945>. Acesso em: 27 maio 2021

MERCURY, J.M.R.; GALDINO, L.G.; VASCONCELOS, N.S.L.S.; PAIVA, A.E.M.; CABRAL, A.A.; ANGÉLICA, R.S. **Estudo do comportamento térmico e propriedades físico-mecânicas da lama vermelha**. Revista Matéria, v.15, n 3, p. 445-460, 2010.

MESQUITA, J.L. **Mineração de areia: a maior e mais perigosa indústria**. 2019. Disponível em: < <https://marsemfim.com.br/mineracao-de-areia-destrutiva-industria/> >. Acesso em: abril de 2022.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Ciência, técnica e arte: o desafio da pesquisa social. *In: MINAYO, Maria Cecília de Souza (org). Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. Petrópolis: Vozes, 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Construção Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismosustentavel/item/8059>>. Acesso em: 23 maio 2021.

NOGUEIRA, G.R.F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2016.

OLIVEIRA, Francisco de. Autoconstrução e acumulação capitalista no Brasil. *In: Novos Estudos*. CEBRAP, v. 74, p. 67-85, mar. 2006.

OLIVEIRA, Thays da Costa; CANTALICE, Juliana Donato. ECO DESIGN, DESIGN PARA A SUSTENTABILIDADE E SISTEMA PRODUTO-SERVIÇO: Uma análise de diretrizes e conceitos. *In: Anais da 2ª Semana de Design da UFAL*, 2017. Maceió: Avia!, 2017. ISSN: 2594-7575, DOI <https://doi.org/10.17648/avia-2017-80724>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Panorama da gestão de resíduos na América Latina e no Caribe**. 2019.

PEDROSA, S.B.M. Projeto e Implantação da área de disposição de resíduos de bauxita da Alumar. **Anais do IV Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental**, São José do Campos, Brasil, 1999.

PILS, T. L.; BERTOLDO, G. F.; SANTOS, A. P. L.; MACHADO, E. L.; SOTSEK, N. C. Um estudo comparativo entre telhas convencionais e alternativas: Uma revisão sistemática da literatura. **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa, Brasil, 2018.

POWER, G.; GRAFE, M.; KLAUBER, C. **Bauxite residues issues**: Current management, Disposal and Storage practices. *Hydrometallurgy*, v. 108, p. 33-45, 2011.

RODRIGUES, Janice; BELLIO, Liliana; ALENCAR, Camilla. "Sustentabilidade no Design: a transversalidade das teorias filosóficas e suas articulações na contemporaneidade complexa". **ModaPalavra**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 95-115, 2012. ISSN: 1982-615x. Disponível em: <<https://www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/7795>>. Acesso em: 22 jun 2021.

SANTIAGO et al. "Rejeitos de Bauxita e sua aplicação em materiais de construção". **Grupo de Mineralogia e Geoquímica Aplicada**, Belém, v.5, 2018. DOI: 10.31419/ISSN.2594-942X.v52018i1a6ENS. Disponível em: <<http://gmga.com.br/06-rejeitos-de-bauxita-e-sua-aplicacao-em-materiais-de-construcao/>>. Acesso em: 20 jul 2021.

SANTOS, Aguinaldo dos. **Seleção do método de pesquisa**: guia para pós-graduandos em design e áreas afins. Curitiba, PR: Insight, 2018. 230p.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). **Construção civil: cerâmica vermelha**. Boletim de Inteligência, 2015. Disponível em: <www.sebrae.com.br/construcao/civil> Acesso em: 20 abr 2022.

SHINOMIYA, L.D.; GOMES, J. O.; ALVES, J.O. Planejamento de cenários para uso de resíduos industriais: aplicação para lama vermelha. **Revista Gestão em Engenharia**. São José dos Campos, v.2, p. 43-66, 2015.

SILVA, B. G. T. et al. Análise dos problemas de uma indústria de telha de concreto: Aplicação da etapa planejar do MASP. In: **XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Fortaleza, 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_207_228_28051.pdf> Acesso em: 28 jul 2021.

SILVA, Maria; JOIA, Paulo. Resíduos sólidos e sustentabilidade urbana: um problema a ser resolvido. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 33, n. 3, p. 580-589, dez. 2008.

SOLAJA, Oludele; AWOBONA, Samuel; OMODEHIN, Adekanbi. Knowledge and practice of recycled plastic bottles (RPB) built homes for sustainable community-based housing projects in Nigeria. **Cogent Social Sciences**, [S. l.], p. 1-21, 18 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1778914>. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/loi/oass20>>. Acesso em: 23 maio 2021.

SOUZA, Manuela. Deu na telha. **ANICER**, Rio de Janeiro, out. 2017. Ed. 107. Disponível em: <<https://www.anicer.com.br/revista-anicer/revista-107/>>. Acesso em: 27 jul 2021.

THIOLLENT, M. **Metodologia de Pesquisa-ação**. São Paulo: Saraiva, 2009.

TORRES, Rodrigo Martínez. **Reciclagem de resíduos da bauxita em ladrilhos hidráulicos**. 2020. 94p. Programa de Pós-Graduação em Design. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2020.

VALCARENCHI, C.; PIOVESAN, A.Z. **Análise das propriedades físicas e mecânicas nas telhas de concreto fabricadas na cidade de Herval d'Oeste**. Unoesc & Ciência - ACET, v.2, n 1, p. 19-30, 2011. Joaçaba.

VIEIRA, H.; BROW, R. K.; MARTINELLI, J. R. “Reaproveitamento da Lama Vermelha como matéria-prima na produção de vidros visando o confinamento de rejeitos nucleares”, p. 2619-2626. *In*: **20º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. Joinville: 2012. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2012/cbecimat/18385.pdf>>. Acesso em: 18 jul 2021.

WINARNO, Setya. “Comparative Strength and Cost of Rice Husk: concrete block”, p. 1-10. *In*: **EDP Sciences**, 2018. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.096>. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/conbuildmat>. Acesso em: 27 maio 2021.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.