

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN
LINHA DE MATERIAIS, PROCESSOS E TECNOLOGIA

RODRIGO ANDRÉS MARTÍNEZ TORRES

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA BAUXITA EM LADRILHOS HIDRÁULICOS

São Luís

2020

RODRIGO ANDRÉS MARTÍNEZ TORRES

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA BAUXITA EM LADRILHOS HIDRÁULICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de “Mestre em Design”.

Linha: Materiais, Processos e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos

São Luís

2020

RODRIGO ANDRÉS MARTÍNEZ TORRES

RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA BAUXITA EM LADRILHOS HIDRÁULICOS

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Design do Programa de Pós-Graduação em Design, da Universidade Federal do Maranhão, UFMA – Campos Bacanga. Orientador: Prof. Dr. Wener Miranda Teixeira dos Santos.

Aprovada em: _27_ / _03_ / _2020_

Banca examinadora:

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

Doutorado em Engenharia Química pela UFCG.

Prof. Dr. Denilson Moreira Santos

Doutorado em Química pela UNESP.

Profa. Dra. Ana Lucia Alexandre de Oliveira Zandomeneghi

Doutorada em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela UFSC.

Prof. Dr. Lourival Matos de Sousa Filho

Doutorado em Engenharia Mecânica pela UNICAMP.

São Luís, 2020

Dedico este trabalho à minha família, pelos esforços empreendidos para que eu estivesse aqui. Obrigado pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, pela elaboração desta pesquisa, à Universidade Federal do Maranhão; ao Departamento de Pós-graduação em Design;

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Monte Castelo, pelas trocas e construções de conhecimentos compartilhados com os profissionais e alunos da Instituição;

À O.E.A, pela oportunidade a mim concedida para a realização do Mestrado, contribuindo, conseqüentemente, para meu crescimento acadêmico e profissional;

Agradeço a minha família pelo apoio e pelos esforços empreendidos para que eu chegasse até aqui. Sou grato, em especial, a minha mãe Magdalena Torres, ao meu pai Sergio Martínez, a minha irmã Magdalena Paz e ao meu tios e tias Julia Torres, Alejandra Lobos, Belisario Torres, Carolina Martínez, Víctor Aceituno, Álvaro Martínez e especialmente a minha avó, Eliana Leiva, pela força nos momentos de maiores dificuldades ao longo dessa jornada;

Aos meus avós, Elcira Ureta e Belisario Torres, os quais não conseguiram olhar os resultados que também foram parte de seus esforços, mas sei, no meu coração, que sempre estiveram comigo;

Ao meu orientador, professor Wener, pelo incentivo e pelos momentos de aprendizagem que culminaram na concretização deste trabalho;

Aos professores Antonio Ernandes, Denilson Santos, Eliane Falconi, Lourival Santos, Ana Lucia Zandomeneghi, Raquel Noronha, Raimundo Diniz e Regina Célia pelas valiosas contribuições nas etapas desta investigação;

Aos artesãos da Fábrica de ladrilho hidráulico, Santa Rosa S.A., por gentilmente ceder parte de seu tempo, disponibilizando-se a mostrar o processo de produção por eles realizado;

Aos amigos e pessoas que me deram força neste desafio, como são os companheiros da turma do Mestrado em Design, Elizabeth Correa, Andrés Palencia, Zita González, Yenny Suhail, Graciela Majluf, Andrés Claros, Lucas Rodrigues, Nikita Suire, Diego Rabelo, Aristóteles Lima, Williams López, Railde Paula, Antoine Suárez, Vítor Minogue, pela torcida e pelo carinho;

Aos meus amigos chilenos, Tatiana Pierdona, Diego Aceituno, Felipe Aceituno, Oscar Horta, Pedro Rodríguez, Andrea González, Felipe Prince, Daniela Varas, Eva Luna, Sebastián Ayala, Lorena González, Mario Devia, Alejandro Martínez, Patricio Rubio e Romina Gallardo pela torcida na distância.

A todos que estiveram comigo e foram guia intelectual e emocional. Muito obrigado por suas palavras, profissionalismo e amor, sem dúvida, vocês são parte fundamental do meu crescimento pessoal.

“Nunca o homem inventará nada mais simples nem mais belo do que uma manifestação da natureza. Dada a causa, a natureza produz efeito no modo mais breve em que pode ser produzido”.

(Leonardo da Vinci)

RESUMO

Este estudo objetivou aplicar o Design Sustentável para fornecer subsídios técnicos e científicos, a partir da viabilização do uso do resíduo da bauxita como agregado fino em argamassa de cimento, na confecção de composições cerâmicas de ladrilhos hidráulicos para pavimentação. Tais ladrilhos, produto foco desta pesquisa, foram produzidos de forma artesanal na cidade de São Luís - MA, Brasil, e consistiram-se na base para a geração de um produto aplicável ao setor da construção civil. Para atingir nosso objetivo, foram realizados ensaios de propriedades mecânicas e químicas que, neste caso, corresponderam aos testes de resistência mecânica à compressão axial, em que foi possível identificar um aumento de resistência, na substituição de 40% da areia por resíduo de bauxita, comparando-se com seu padrão de 0% de lama vermelha, excedendo-o em 18% em MPa resistido; bem como de resistência mecânica à flexão, no qual não se observou uma mudança significativa na resistência das amostras. Realizou-se ainda a caracterização química para identificação dos componentes da massa e difração de raios-X das amostras confeccionadas, a fim de reconhecer as mudanças de fase cristalina ao longo do tempo, assim como sua variedade de misturas. Os procedimentos anteriormente mencionados foram realizados visando conhecer a quantidade favorável ou máxima de resíduo de bauxita a ser utilizada na argamassa de cimento, ao que foi possível integrar, com sucesso, até 20% de “lama vermelha” na mistura total da composição cerâmica do ladrilho hidráulico nas diferentes camadas das peças. Nesta pesquisa, apresentou-se, conceitualmente, as contribuições dessa iniciativa para a sustentabilidade de projetos, empresas e governos no âmbito da melhoria da emissão de carbono, o que possibilita a geração de produtos ecológicos e contribui para a redução dos resíduos poluentes existentes e coletados em áreas de risco, aumentando a inteligência do sistema produtivo dos geradores de resíduos industriais por meio da ecologia industrial.

Palavras-chave: Design. Sustentabilidade. Cerâmica. Ladrilhos hidráulicos. Resíduo de bauxita.

ABSTRACT

This study aimed to apply Sustainable Design to provide technical and scientific support, based on the feasibility of using bauxite residue as a fine aggregate in cement mortar, in the manufacture of ceramic compositions of hydraulic tiles for paving. These tiles, the product of this research, were produced by hand in the city of São Luís - MA, Brazil, and served as the basis for the generation of a product applicable to the civil construction sector. To achieve our objective, tests of mechanical and chemical properties were carried out, which, in this case, corresponded to the tests of mechanical resistance to axial compression, in which it was possible to identify an increase in strength, replacing 40% of the sand with bauxite residue, compared to its 0% red mud standard, exceeding it by 18% in resisted MPa; as well as the mechanical resistance to flexion, in which there was no significant change in the resistance of the samples. Chemical characterization was also carried out to identify the components of the mass and X-ray diffraction of the samples produced, in order to recognize the changes in the crystalline phase over time, as well as its variety of mixtures. The aforementioned procedures were carried out to determine the maximum or favorable amount of bauxite residue to be used in the cement mortar, to which it was possible to successfully integrate up to 20% of “red mud” in the total mixture of the ceramic tile composition in the different tiles. layers of the pieces. In this research, the contributions of this initiative to the sustainability of projects, companies and governments in the context of improving carbon emissions were conceptually presented, which enables the generation of ecological products and contributes to the reduction of existing polluting residues collected in areas of risk, increasing the intelligence of the productive system of industrial waste generators through industrial ecology.

Keywords: Design. Sustainability. Ceramics. Hydraulic tiles. Bauxite residue.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Situação das atividades de tratamento e reciclagem de resíduos em alguns países da América Latina e Caribe.....	28
Tabela 2: Formatos e Dimensões do ladrilho hidráulico.....	55
Tabela 3: Percentuais de misturas das amostras dos experimentos.....	68
Tabela 4: Característica físico-química da areia.....	71
Tabela 5: Propriedades do cimento CP-IV-Z-32-RS.....	72
Tabela 6: Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP-IV-Z-32-RS.....	72
Tabela 7: Análise química do cimento CP-IV-Z-32-RS.....	72
Tabela 8: Distribuição granulométrica do resíduo de bauxita.....	73
Tabela 9: Análise química do resíduo de bauxita.....	74
Tabela 10: Ensaio Compressão amostra de 3 dias de cura.....	74
Tabela 11: Ensaio Compressão amostra de 7 dias de cura.....	75
Tabela 12: Ensaio Compressão amostra de 28 dias de cura.....	75
Tabela 13: Ensaio Compressão amostras.....	75
Tabela 14: Ensaio Flexão amostra de 3 dias de cura.....	77
Tabela 15: Ensaio Flexão amostra de 7 dias de cura.....	78
Tabela 16: Ensaio Flexão amostra de 28 dias de cura.....	79
Tabela 17: Elementos químicos na amostra de 28 dias de cura.....	79
Tabela 18: Percentuais de misturas das amostras ladrilho hidráulicos.....	81
Tabela 19: Resultados amostras ladrilho hidráulico de 28 dias de cura.....	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Média (MPa) dos resultados resistência à compressão axial.....	76
Gráfico 2: DRX das composições.....	78
Gráfico 3: Média (MPa) dos resultados resistência à flexão.....	79
Gráfico 4: Média (MPa) dos resultados resistência flexão ladrilhos hidráulico.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mineração e refino de resíduos de bauxita.....	51
Figura 2: Reservas de bauxita.....	20
Figura 3: Produção de Bauxita.....	28
Figura 4: Economia linear.....	31
Figura 5: Economia circular.....	32
Figura 6: Representação do ciclo.....	34
Figura 7: Taxas de reciclagem em 11 países da região.....	35
Figura 8: Resíduos de mineração.....	35
Figura 9: Esquema da evolução cronológica produção de alumina.....	39
Figura 10: Fluxograma e esquema do Processo Bayer.....	40
Figura 11: Resíduo de Bauxita.....	41
Figura 12: Resíduo de bauxita seco.....	41
Figura 13: Alumina (óxido de alumínio).....	46
Figura 14: Historico da Alumina.....	47
Figura 15: Vantagens do Alumínio.....	48
Figura 16: Ladrilhos hidráulicos.....	51
Figura 17: Prensa hidráulica.....	57
Figura 18: Armações de base.....	57
Figura 19: Moldes estéticos.....	58
Figura 20: Disposição da calda pigmentada no molde.....	58
Figura 21: Calda sem pigmento apenas textura.....	59
Figura 22: Aplicação da camada de secagem.....	59
Figura 23: Aplicação da base ou fundo.....	60
Figura 24: Aplicação da tampa de metal pesada.....	60
Figura 25: Prensado das camadas.....	61
Figura 26: Remoção de armações de base.....	61
Figura 27: Apresentação da peça.....	62
Figura 28: Peças submersas.....	62

Figura 29: Secagem final.....	63
Figura 30: Estrutura da metodologia.....	65
Figura 31: Lagoa de lama vermelha.....	67
Figura 32: Amostras para teste de resistência à compressão axial.....	68
Figura 33: Teste resistência à compressão axial realizado.....	69
Figura 34: Teste resistência à flexão.....	80
Figura 35: Amostras 200 X 200 X 18 mm.....	82
Figura 36: Teste resistência à flexão no EMIC DL10000.....	82
Figura 37: Teste resistência à flexão A1.....	83
Figura 38: Testes feitos A1, A2, A3 e A4 respectivamente.....	84
Figura 39: Teste resistência à flexão A3.....	85

LISTA DE SIGLAS

ABAL: Associação Brasileira do Alumínio.

ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

CORFO: Corporación de Fomento a la Construcción, Chile.

GBC: Green Building Council.

LV: Lama Vermelha.

OMS: Organização Mundial da Saúde.

ONU: Organização das Nações Unidas.

OPS: Organização Panamericana da Saúde.

RB: Resíduo de Bauxita.

USGS: U.S. Geological Survey.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Justificativa.....	20
2 OBJETIVO.....	21
2.1 Objetivos específicos.....	21
2.2 Questão De Pesquisa.....	21
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	22
3.1 Design sustentável.....	22
3.1.1 Reciclagem de produtos novos.....	26
3.1.2 Outros materiais recicláveis.....	29
3.1.3 Design para minimização ou redução de resíduos.....	30
3.1.4 Economia linear.....	31
3.1.5 Economia circular.....	32
3.1.6 Iniciativas mundiais.....	34
3.2 Resíduo de bauxita.....	38
3.3 O caminho da alumina.....	44
3.3.1 Estrutura cristalina.....	46
3.4 Ladrilho hidráulico.....	51
3.4.1 Normas Técnicas do ladrilho hidráulico.....	53
3.4.2 Características do ladrilho hidráulico.....	54
3.4.3 Formatos e dimensões no mercado.....	55
3.4.4 Produção do ladrilho hidráulico.....	56
3.4.5 Pigmentos.....	56
3.4.6 Ferramentas.....	56
3.4.7 Etapas de produção dos ladrilhos hidráulicos.....	58
3.5 Analises.....	63
3.5.1 Análise de difração de raios X (DRX).....	63
3.5.2 Fluorescência de raios X.....	63
3.5.3 Determinação da composição granulométrica.....	64
3.5.4 Teste: resistência à compressão axial.....	64
3.5.5 Teste: resistência a flexão.....	64

4 METODOLOGIA.....	65
4.1 Materiais.....	66
4.1.1 Água.....	66
4.1.2 Areia.....	66
4.1.3 Cimento Portland composto com Pozolana (CP IV Z 32-RS).....	66
4.1.4 Resíduo de bauxita.....	66
4.2 Procedimentos metodológicos.....	67
4.2.1 Determinação da resistência à compressão axial e flexão.....	67
4.2.2 Análise de fluorescência de raios X-FRX.....	69
4.2.3 Análise de difração de raios X.....	70
4.2.5 Granulometria ou análise glanunométrico.....	70
4.2.4 Teste de flexão de ladrilho hidráulico.....	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1.1 Areia.....	71
5.1.2 Cimento CP IV Z 32 RS.....	72
5.1.3 Análise do resíduo de bauxita.....	73
5.1.4 Resistência à compressão axial.....	74
5.1.5 Análise de fluorescência de raios X-FRX.....	76
5.1.6 Análise de difração de raios X.....	77
5.1.7 Resistência à flexão.....	78
5.1.8 Teste de ladrilhos hidráulicos.....	80
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
7. REFERÊNCIAS.....	89

INTRODUÇÃO

O Design Sustentável, também chamado no passado design verde ou ecodesign, ademais de outras denominações, consiste na filosofia de planejamento e desenvolvimento de produtos, lugares ou serviços que estejam em consonância com os princípios da **sustentabilidade socioeconômica e ecológica**.

As preocupações com o desenvolvimento sustentável, que foram deixadas de lado pelo desenvolvimento do mercado mundial e intensificadas no período de Pós-Revolução Industrial, como acreditam muitos pensadores, chegou ao ponto máximo na contemporaneidade. 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. Até que essa mudança de atitude seja concretizada, as condições vitais ao homem permanecem ameaçadas (SACHS, 2000).

A geração de resíduos no mundo surge com o aparecimento do homem no planeta. O ser humano é um gerador de resíduos, cuja ação é fruto da alimentação, da lida com animais, da vestimenta, de sua vida em comunidade, entre outros. Quando o indivíduo se agrupa em comunidades estáveis, começa também a conviver com os resíduos.

Há poucas décadas atrás, os resíduos eram depositados em aterros, rios, mares ou qualquer outro lugar que se localizasse próximo das residências. Com a industrialização e o avanço tecnológico, a quantidade e a composição dos resíduos foram tornando-se complexas, aos quais foram incorporando-se substâncias não biodegradáveis (BARRAGÁN, 2010).

Afortunadamente, muitos resíduos podem ser reutilizados quando há a possibilidade de se dispor das tecnologias adequadas, somando-se também a isso um processo **economicamente rentável**. Uma boa gestão dos resíduos tem também como objetivo não perder de vista o valor econômico e a utilidade que muitos deles podem ter.

A relevância que as temáticas em torno do desenvolvimento sustentável têm atualmente, inclusive no cenário mundial, configura-se como um amplo desafio para o Design. São grandes os desafios que apresentam a globalização, o multiculturalismo e

o progresso da ciência e tecnologia se desejamos um futuro mais sustentável. E, nesse sentido, o Design sustentável é um componente chave da inovação em muitas economias e regiões. (VICTORIA URIBE; SANTAMARÍA ORTEGA; RUBIO TOLEDO, 2007).

Tanto o âmbito acadêmico-científico, como a indústria do Design começaram a focalizar a geração de soluções que colaborassem para a **reciclagem e/ou diminuição de resíduos**, contribuindo para a criação de uma cultura menos consumista e em conformidade com o desenvolvimento sustentável, proporcionando iniciativas de prevenção ao esgotamento dos recursos naturais e da contaminação do meio ambiente.

O meio acadêmico cumpre uma função fundamental a esse respeito: educação para o desenvolvimento. Nesse campo, deveriam ser propostos questionamentos éticos relacionados com o funcionamento da sociedade, tais como o consumo, a saúde, o meio ambiente, entre outros. Os aspectos destacados acima supõem uma mudança de paradigma lento e em contracorrente com o desafio de um desenvolvimento acelerado dos países mais pobres, sem que isso implique em um aumento das desigualdades ou da exclusão social. (PALOS RODRÍGUEZ, 2009).

Os designers, enquanto profissionais que atuam na transformação da sociedade, visto que seus projetos afetam o modo de vida dos consumidores, têm a oportunidade de criar novas propostas sociais e influenciar atitudes, bem como materializar o seu poder de conscientização social ao conceber que, para atender às necessidades humanas, não é necessário prejudicar o meio ambiente.

Nesse sentido, a presente investigação, pautada na concepção de sustentabilidade, aplica o conceito de **Design Sustentável** a partir da perspectiva de reutilização de resíduos, focalizando o resíduo da bauxita na produção de composições cerâmicas para pavimentação. Esse minério apresenta um grande passivo ambiental para a indústria de beneficiamento de alumínio, ocasionando riscos de contaminação ao meio ambiente e elevado custo associado ao seu manejo e disposição nos lagos de armazenamento, posto que representa uma grande parte dos custos de produção de alumina ou óxido de alumínio.

A Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento cita entre as atividades industriais mais poluentes a indústria de metais não-ferrosos e, dentre esses, a do alumínio (DONAIRE, 1995). Cabe ressaltar que, durante muito tempo, o resíduo de bauxita foi considerado um **resíduo inaproveitável** para a indústria da alumina (CHAVES, 1962).

A intenção do design sustentável é mitigar o impacto ambiental negativo através de projetos hábeis e aplicados à sociedade. Propostas de design sustentável exigem recursos renováveis, mínimo impacto ambiental e formas de conexão das pessoas com o ambiente natural (SACHS, 2000).

Com a finalidade de aproveitamento de um resíduo para produzir um produto e adotando as regras de Design Sustentável, o resíduo de bauxita, gerando pelas refinarias de alumina (ver Figura 1), será aplicado para confecção de novas peças, vislumbrando um cenário favorável para o desenvolvimento aliado à responsabilidade socioambiental. Desse modo, neste trabalho, busca-se avaliar o uso do resíduo de bauxita para confecção de composições cerâmicas.

Figura 1: Mineração e refino de resíduos de bauxita.



Fonte: USGS.

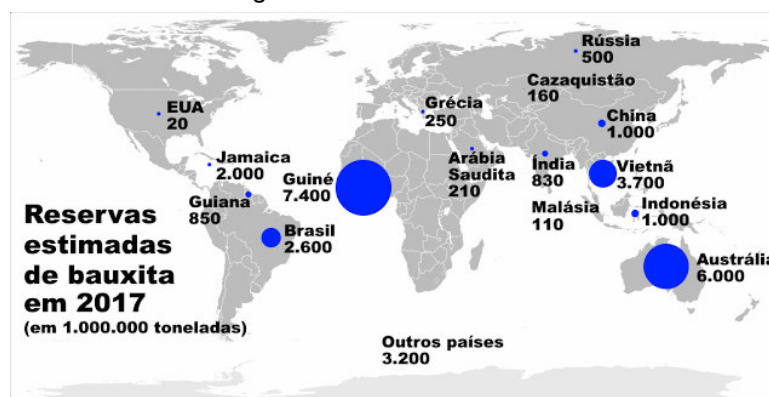
1 JUSTIFICATIVA

Os ladrilhos hidráulicos enquanto material de revestimento trazem, como consequência, o resgate de seu processo de produção, uma vez que conservam características essencialmente artesanais que fazem de cada ladrilho uma peça única. A escassez de domínio da técnica de fabricação revela a necessidade de resgatar e registrar esse conhecimento. Dessa forma, esta pesquisa se propõe a fazê-lo por meio de uma pequena produção de **ladrilhos hidráulicos**, usando em sua composição o resíduo de bauxita, em uma fábrica local, situada na cidade de São Luís - MA, avaliando ainda as suas condições de aplicação em composições cerâmicas, de acordo com suas dimensões e características (MARQUES, 2012).

No que concerne ao resíduo de bauxita, ressalta-se que o aumento da exigência na **legislação ambiental** reforçou a adequação necessária por parte dos geradores de resíduos às exigências legais em torno da não contaminação do meio ambiente, fato que representou uma nova rubrica nas despesas para as reservas do material (ver Figura 2) e as unidades produtoras e geradoras desses resíduos (PEDROSA, 1999).

Assim, no desenvolvimento do presente estudo, avaliamos o uso do resíduo de bauxita, originária do processo Bayer, como substituto parcial da areia na confecção de composições cerâmicas, conforme as normas da ABNT e da política de sustentabilidade ambiental (HABASHI, 2005).

Figura 2: Reservas de bauxita.



Fonte: USGS.

2 OBJETIVOS

Tem-se como objetivo geral fornecer subsídios técnicos, com vistas à **viabilização do uso de resíduo da bauxita como agregado fino**, para a confecção de composições cerâmicas para pavimentação, determinando as questões do design sustentável por meio de ensaios de propriedades físico-mecânicas e químicas.

2.1 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foi necessário o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- Evidenciar a resistência mecânica à compressão.
- Evidenciar a resistência mecânica à flexão.
- Caracterizar quimicamente as amostras confeccionadas.
- Determinar a mudança de fase nas amostras via difração de raios-X.
- Identificar a quantidade favorável ou máxima de resíduo de bauxita a ser utilizada na argamassa de cimento.
- Demonstrar conformidade com os regulamentos para uso prático e comercial.
- Apresentar conceitualmente as contribuições dessa iniciativa para a sustentabilidade de projetos, empresas e governos no âmbito da melhoria da emissão de carbono, gerando produtos ecológicos e contribuindo para a redução dos resíduos poluentes existentes coletados em áreas de risco.

2.2 Questão De Pesquisa

O resíduo de bauxita pode ser integrado na produção de composições cerâmicas para pavimentação e materializar produtos funcionais?.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Um grave problema que a humanidade vem enfrentando devido ao grande desenvolvimento industrial iniciado após a segunda guerra mundial é o descarte dos resíduos gerados pelas indústrias que, quando descartados sem controle no meio ambiente, causam verdadeiros desastres ambientais, comprometendo assim a sustentabilidade do planeta e pondo em risco a própria existência do ser humano na Terra.

O estudo sobre o aproveitamento de resíduos descartados na produção industrial vem aumentando e se diversificando cada vez mais. Um dos setores de maior absorção desses materiais é a indústria da construção civil, principalmente, na fabricação de tijolos, argamassas e concretos. O ladrilho hidráulico, apresenta-se, nesse sentido, como uma **opção sustentável** para realizarmos investigações acerca do uso de resíduos.

Estudos nesse viés envolvem esforços e muita dedicação em estratégias de pesquisas que visem o aprimoramento da tecnologia e da sustentabilidade agregando valores para uso desses materiais, os quais, destaca-se aqui o resíduo da bauxita, um subproduto da indústria de refino da bauxita obtido pelo “Processo Bayer”, utilizado para obtenção da alumina e, neste trabalho, para a confecção de composições cerâmicas (HABASHI, 2005).

3.1 Design Sustentável

Desde o início da história da humanidade, os materiais foram removidos do mundo natural e moldados, modificados e adaptados a tudo, desde ferramentas primitivas até eletrônicos modernos (ASHBY, JOHNSON; 2011).

A partir da origem da civilização (Paleolítico Superior, por volta de 35.000 a 10.000 anos antes de Cristo), os seres humanos desenvolveram uma ampla variedade de materiais para se protegerem das condições ambientais e climáticas circundantes. Eles fizeram isso, a partir dos recursos naturais presentes em cada local, portanto, as soluções utilizadas foram e continuam sendo muito variadas.

Milhares de anos depois (Período Neolítico, aproximadamente 6.000 a 3.000 anos antes de Cristo) e paralelamente ao processo de sedentarização, as comunidades humanas começaram a usar materiais mais sólidos e duráveis em seus assentamentos. Nesse sentido, passou-se a observar construções produzidas com materiais orgânicos, como madeira, bambu ou guadua; e inorgânicos, como pedra, terra e argila (FEATHERS; JOHNSON; KEMBEL, 2008).

Durante séculos, diferentes comunidades e culturas aproveitaram racionalmente os recursos naturais oferecidos pelo meio ambiente e projetaram seus materiais em resposta ao clima. No entanto, desde a Revolução Industrial (final do século XVIII), essa situação foi modificada, dando lugar à exploração irracional de recursos naturais para a produção de produtos para consumo em massa, o que deu origem ao que mais tarde seria conhecido como **crise ecológica**, que se manifestou globalmente e que ainda não foi superada (BENNETT, 2016).

Vivemos em um mundo em que o ser humano tem a capacidade de produzir elementos a partir de materiais. Esses elementos contêm um significado especial, raciocínio simbólico, transmissão de emoções e sentimentos. "O uso estratégico de materiais é um dos meios mais influentes que os designers podem usar para se comunicar e criar conexões emocionais entre produtos e seus usuários" (DIAS, 2009, p. 2).

Porém, com o aumento da expectativa de vida e, portanto, o crescimento da população, **desencadeou-se um aumento no consumo**, com a produção de materiais não recicláveis e o cultivo de resíduos, afetando o meio ambiente com resíduos de polímeros e alumínio, entre outros.

Hoje, estamos em um momento evolutivo em direção ao design sustentável, onde, mesmo por muitos anos, enfrentaremos a cultura de resíduos, impactando severamente nosso habitat. Nesse cenário adverso, o design pode apoiar a sustentabilidade, usando novas habilidades e metodologias para reduzir as dificuldades econômicas, sociais e ambientais. (CALEGAR; OLIVEIRA, 2013).

As inúmeras reuniões globais sobre desenvolvimento sustentável mostram que muitos países aceitaram a ideia de que é necessário pensar em materiais e consumo limitado de recursos. Nesse sentido, muitas fábricas começaram a projetar produtos

mais ecológicos, tornando-se agentes ativos e principais participantes no processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis.

As definições para o termo sustentabilidade podem ser traçadas a partir de diferentes nuances, entretanto há alguns aspectos em comum que atravessam essa delimitação, envolvendo, em geral, a associação da ideia de sustentabilidade aos eixos econômico, ambiental e social. Um dos conceitos com maior difusão nos diferentes estudos que abordam essa temática corresponde ao da Comissão de Brundtland, evento das Nações Unidas que pautou a questão ambiental em suas interfaces com o desenvolvimento (CLARO; CLARO; AMÂNCIO, 2008).

De acordo com a Comissão acima mencionada, o desenvolvimento sustentável deve satisfazer as necessidades da geração atual sem comprometimento das necessidades das gerações futuras. Essa conceitualização põe em relevo um dos princípios fundamentais da noção de sustentabilidade:

A visão de longo prazo, uma vez que os interesses das futuras gerações devem ser analisados (Claro; Claro; Amâncio, 2008, p. 289).

Uma das concepções de sustentabilidade que cabe destacar é abordada por Sachs (2000), ao discorrer sobre a noção de desenvolvimento que, segundo ele, consiste em um conceito **pluridimensional e interdisciplinar**. Em linhas gerais, o autor afirma que o crescimento econômico não é, necessariamente, sinônimo de desenvolvimento, visto que os custos sociais e ecológicos implicados no crescimento de base apenas econômica também devem ser considerados.

Para Sachs (2000), os três critérios necessários para que se pense o desenvolvimento em seu sentido pleno englobam as dimensões social, ecológica e econômica. O aspecto social diz respeito a consideração do bem-estar de todos e ao respeito aos princípios de ética, justiça e solidariedade. O elemento ecológico envolve a necessidade de resguardar o capital da natureza e, para além disso, manter um comprometimento ético e solidário também com as gerações futuras. Já o critério econômico, perpassa os dois anteriores, ou seja, a ideia de que a eficiência econômica

tenha como parâmetro o aspecto macrosocial e contemple a utilização dos recursos de modo racional.

Ainda de acordo com o autor acima, é importante

se dar conta do quanto progredimos na tomada de consciência da gravidade da importância do problema ambiental e da sua relação com o problema social. A mensagem de Estocolmo foi de que não pode haver uma luta eficiente contra a pobreza que não leve em consideração a dimensão ambiental. Porém a outra parte da mensagem foi de que não haverá política ambiental bem sucedida se ela não for organicamente ligada a uma política de progresso social, ou seja, desenvolvimento e meio ambiente não podem ser dissociados. Sachs (2000, p.7).

Ao tratar sobre o conceito de Design para sustentabilidade, numa perspectiva interdisciplinar, Cavalcante et al (2012, p.254) apontam que

A sustentabilidade pode ser uma ação estratégica para a preservação do ambiente, da cultura e da dignidade social das gerações. A partir dos pilares do Desenvolvimento Sustentável - o ambiental, o social e o econômico - e das discussões de ordem mundial sobre novos paradigmas de consumo e comportamento ressalta-se as mudanças culturais que precisam ocorrer a curto, médio e longo prazo para que se alcance a qualidade de vida almejada pela maioria da população do planeta que vive abaixo da linha da miséria.

A partir do exposto acima, entende-se que a perspectiva central da concepção de sustentabilidade abrange não somente a preservação dos recursos disponíveis no planeta para o momento presente, mas garante a preocupação com as gerações que ainda virão, bem como a adoção de novos paradigmas nos padrões de consumo que possibilitem melhor qualidade de vida nos aspectos socioculturais e ambientais das diferentes gerações.

Especialmente no âmbito do Design, o profissional que atua nessa área tem um relevante papel no que tange às mudanças da sociedade, uma vez que trabalha na criação de produtos, aplicações e serviços que, de algum modo, **irão afetar o modo de vida dos consumidores**. É nesse sentido que se insere a necessidade de pensar soluções que contemplem a ideia de sustentabilidade na inovação ou modificação de produtos que visem, conseqüentemente, uma melhor qualidade de vida. (RODRIGUES, BELLIO, ALENCAR, 2012).

Nessa perspectiva de atuação, o Design congrega diferentes áreas de conhecimento na interligação **produção-ambiente-consumo**, o que se configura ainda como um dos principais desafios na área, a saber:

O desenvolvimento de soluções para questões de alta complexidade que exigem uma visão alargada do projeto, envolvendo produtos, serviços e comunicação, de forma conjunta e sustentável (Rodrigues, Bellio, Alencar, 2012, p. 105).

3.1.1 Reciclagem para novos produtos

A reciclagem é o processo de reutilização de materiais descartados para reintroduzi-los no ciclo de produção. Nesse sentido, em âmbito mundial, a indústria da construção é responsável por 75% do consumo dos recursos naturais da terra. (CORFO, 2019).

Por outro lado, o descarte e o acúmulo de resíduos inutilizam as terras para outras finalidades, além de representar um risco para aqueles que vivem nos arredores dos aterros sanitários e dos locais de acumulação residual, uma vez que tais moradores permanecem expostos aos gases que se originam durante o processo de decomposição.

Nessa perspectiva, Santos (2008) destaca alguns aspectos relativos ao acúmulo de resíduos que trazem **impactos significativos ao meio ambiente**: a contaminação das águas com nitratos e metais pesados filtrados através dos resíduos; a contaminação das águas de chuvas e das águas superficiais; a acumulação indiscriminada de resíduos que podem tornar a água inadequada para o consumo humano e para o desenvolvimento da vida aquática; a queima de resíduos sólidos, ocasionando deterioração do ar em conjunto com os gases tóxicos gerados pela combustão de materiais plásticos, assim como o metano, emanado pela decomposição dos resíduos sólidos.

Entretanto, importa enfatizar que esse descarte apresenta grandes possibilidades de reutilização. Os materiais reciclados podem formar novos componentes de construção, mantendo uma qualidade comparável a dos materiais tradicionais.

O arquiteto Ignacio Queraltó (INFOBAE, 2019), membro fundador do estudo de arquitetura *M80* e coorganizador de *48 hs Open House Buenos Aires*, destaca que, em geral, é possível obter a mesma qualidade entre o material reciclado e o convencional, no que tange aos aspectos de resistência e de funcionalidade. Para o estudioso “no caso de alguns materiais, obtém-se acabamentos mais rústicos, não tão minimalistas, mas isso **não impede que cumpram sua função**¹”. Na maioria dos países, as atividades de reciclagem estão orientadas à utilização de papel e papelão da matéria orgânica.

Conforme o quadro que segue, acerca do que é possível observar sobre as atividades de tratamento e reciclagem de resíduos em países da América Latina e Caribe, a “*Organización Panamericana de la Salud*”, salienta que

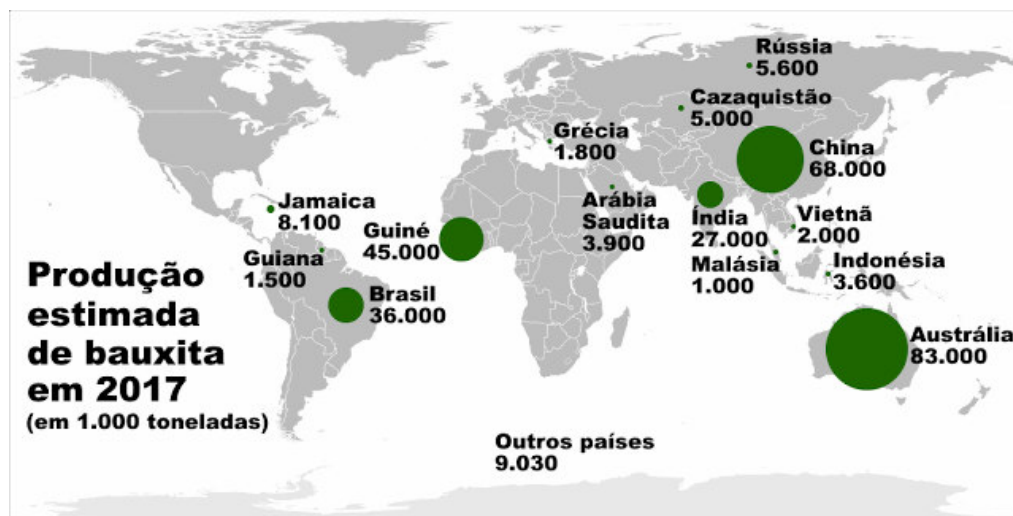
[...] existe uma tendência ao aumento da reciclagem de plásticos, devido a mudanças nos padrões de consumo. A reciclagem nesses países não é economicamente atrativa. Em muitas situações resulta mais econômico utilizar a matéria prima original em vez de reciclar. Isso gera pouco incentivo para desenvolver tecnologias de reciclagem². (SÁEZ; URDANETA G., 2014, p.130).

Infelizmente, os resíduos industriais, como o resíduo de bauxita, não receberam a atenção necessária em comparação aos resíduos urbanos, sem ter muitas possibilidades de sua reciclagem. O resíduo de bauxita é gerado no quase todo mundo (ver Figura 3).

¹ Do original: “En el caso de algunos materiales, se logran terminaciones más rústicas, no tan minimalistas, pero eso no quita que cumplan su función”.

² Do original: “[...] existe una tendencia al aumento de reciclaje de plásticos, debido a cambios en los patrones de consumo. El reciclaje en estos países no es económicamente atractivo, en muchas situaciones resulta más económico utilizar la materia prima original que reciclar, esto genera poco incentivo para desarrollar tecnologías de reciclaje”.

Figura 3: Produção de Bauxita.



Fonte: USGS.

Tabela 1: Situação das atividades de tratamento e reciclagem de resíduos em alguns países da América Latina e Caribe

País	Iniciativa
México	*Desde 1994, instalaram-se plantas de seleção e aproveitamento de resíduos sólidos com uma capacidade de 5.500 ton/dia. * Na Cidade do México opera uma planta pequena para a elaboração de compostagem a partir de resíduos de jardinagem.
Colômbia	* País latino-americano com a taxa mais alta de reciclagem de papel e papelão, com 57 toneladas recicladas para cada 100 produzidas.
Chile	* São reciclados 50 % de papéis e papelões.
Equador	*Estima-se que 40 % de papel e papelão são recuperados. * Na cidade de “Loja” conseguiu-se a separação intradomiciliar de resíduos orgânicos, aplicando a técnica de vermicompostagem.
Uruguai	*Possui um programa de reciclagem de embalagens de plástico, com a retirada de mais de 250 toneladas anuais de embalagens PET. * Montevideu possui uma planta processadora de resíduos, gerando 15 toneladas diárias de fertilizante orgânico. * Vários municípios têm programas de coleta seletiva de baterias ou pilhas.
Ilhas Cayman	*É realizada a venda para “outros” países de baterias de automóveis, óleos lubrificantes a partir de resíduos, recipientes de alumínio, papel, metais, entre outros.

Venezuela	*Estima-se que entre 10 % e 20 % do total de resíduos poderiam ser reciclados. * O alumínio é o material mais reciclado (95%), seguido do ferro (90%), vidro (25%), papel e papelão (20%), plástico (2%) e matéria orgânica (1%).
Barbados	* Mais de 152 mil toneladas de materiais que incluem plásticos, papel, metais ferrosos e não ferrosos, entre outros, são reciclados anualmente.
Trindade e Tobago	* Formalizaram-se iniciativas de reutilização de vidros, plásticos, papel e papelão.

Fonte: Adaptado de OPS (2005) e Sáez; Urdaneta G. (2014)

No que concerne ao processamento de resíduos, compostagem e incineração, somente 0,6 % dos resíduos orgânicos foram transformados em adubo; 1% corresponde a resíduos de incineração, com processos que cumprem minimamente as normas vigentes. (OPS, 2005).

3.1.2 Outros materiais recicláveis

Vidro: esse material reciclável possui diferentes temperaturas de fusão e composição química, razão pela qual o vidro de janelas, em especial, não pode ser reciclado juntamente com outros objetos de vidros. Ainda assim, o vidro de janelas pode fundir-se e reutilizar-se como fibra de vidro, incorporar-se ao asfalto ou combinar-se em pinturas refletoras amarelas e brancas. O vidro quebrado também pode ser combinado com concreto para criar pisos e bancadas de granito (INFOBAE, 2019).

Aço: o aço pode ser transformado infinitamente em novos objetos sem perda de qualidade. Quando é reciclado, o consumo de eletricidade diminui em torno de 80%, causando um menor impacto ambiental e eliminando por completo a extração de matérias primas.

Madeira: seu uso habitual na forma reciclada ocorre na moagem completa da madeira e com a fabricação de lâminas de MDF para a produção de carpintaria.

Concreto: produz o que se conhece como “agregado reciclado” que será entre 10% e 15% mais leve por unidade de volume que o concreto virgem, diminuindo custos de material e transporte, entre outros.

Materiais como o amianto, pintura de látex, solventes químicos, adesivos e pintura a base de chumbo são tratados com cautela, reduzindo seu impacto no meio ambiente. Outros materiais, tais como embalagens, tecidos, alumínio e zinco também podem ser submetidos a reciclagens. (INFOBAE, 2019).

3.1.3 Design para minimização ou redução de resíduos

A preocupação em torno do meio ambiente é um tema recente nos países industrializados. Ademais, a sociedade latino-americana começa pouco a pouco a introduzir-se nessa problemática de âmbito mundial: dar aos resíduos um destino adequado para preservar a natureza e a saúde humana.

Diante disso, surge a preocupação e a necessidade de desenhar produtos pensando no que irá ocorrer com eles quando se convertam em resíduos ao final de sua vida útil, bem como ao longo dos fluxos dos mesmos. Ao aumentar o poder aquisitivo dos cidadãos, aumenta-se, conseqüentemente, a quantidade de resíduos. Nesse sentido, o desafio focalizado consiste, portanto, em conseguir que a quantidade de resíduos a serem tratados possa diminuir. Para isso, Manzini e Vezzoli (2011), usam o conceito de **desmaterialização** ou **ecologia industrial**, que consistem em processos sustentáveis de produção de produtos, baseados em soluções de diferentes combinações de orientação para biocompatibilidade e para a não-interferência, diminuindo o impacto ambiental.

A partir do exposto acima, vejamos alguns dados em âmbito mundial:

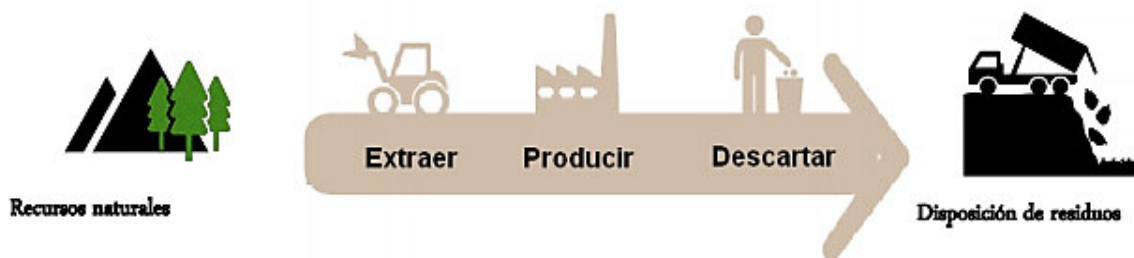
- Anualmente são gerados 10 bilhões de resíduos urbanos. Cifra que segue aumentando;
- Há mais de 2 bilhões de pessoas sem acesso à coleta de resíduos sólidos;
- Há aproximadamente 3 bilhões de pessoas sem acesso a instalações de disposição final de resíduos;
- A maioria dos países em desenvolvimento carece de infraestrutura legal e de gestão suficiente. (ONU, 2019).

Assim, faz-se necessário modificar certos hábitos de consumo, potencializando os produtos com ponto verde, a coleta seletiva e considerando a frequência economicamente mais eficiente nas opções reais de reciclagem (MARTÍNEZ CENTENO, 2007-2008).

A atual **Economia linear** (ver Figura 4): “pegar, fazer, descartar” corresponde a uma lógica na qual os recursos, a energia e o crédito compreendem-se como ilimitados e fáceis de se obter, sem que haja consciência das graves consequências ao meio ambiente por nós vivenciadas. Nesse tipo de economia, negava-se ou minimizava-se o discurso de alerta de muitos ecologistas.

3.1.4 Economia linear

Figura 4: Economia linear



Fonte: ONU

Dessa forma, a **Economia Circular** apresenta-se como alternativa lógica e viável, que corrige os principais problemas da Economia linear. Concebe-se que os bens não são ilimitados e geram resíduos impossíveis de gerir. A Economia circular (ver Figura 5 e 6) pretende conseguir com que os produtos, componentes e recursos em geral mantenham sua utilidade e valor em todo momento ou que correspondam ao conceito de “**lixo zero**”.

3.1.5 Economia circular

Figura 5: Economía circular



Fonte: European Parliament

Em 1976, o arquiteto e economista Walter Stahel, com a colaboração de Genevieve Reday esboçou, em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, a visão de uma economia em circuito (ou economia circular) e seu impacto na criação de emprego, competitividade econômica, economia de recursos e prevenção de resíduos. Atribui-se a Stahel a origem da expressão “*Cradle to Cradle*” (Berço ao berço).

De acordo com Webster, na *Crator Space Tour*, Basf, Barcelona (2015), as características principais de uma economia circular são determinadas por:

Desenhar sem resíduos. Os materiais biológicos não são tóxicos e podem manter-se no processo de compostagem facilmente. Os materiais técnicos – polímeros, ligas e outros materiais artificiais – estão desenhados para voltar a utilizar-se com mínima energia e máxima retenção da qualidade. A reciclagem, do modo como se entende habitualmente, provoca uma redução da qualidade e volta ao processo como matéria prima bruta.

Aumentar a resiliência por meio da diversidade. Os sistemas diversos com muitas conexões e escalas são mais resilientes aos impactos externos que os sistemas construídos simplesmente para maximizar a eficiência e o rendimento.

Uso de energia de fontes renováveis. Os sistemas deveriam funcionar fundamentalmente a partir de energia renovável, o que seria possível pelos valores reduzidos de energia que funcionaria a partir de uma economia circular restaurativa.

Pensar nos «sistemas» A capacidade de compreender como influenciam entre si as partes dentro de um todo e a relação do todo com as partes é fundamental. Os elementos devem ser considerados a partir da relação com seus contextos ambientais e sociais. O pensamento de sistemas refere-se normalmente à imensa maioria dos sistemas do mundo real: não são lineares, tem uma grande retroalimentação e são interdependentes.

Pensar em efeito cascata. Para os materiais biológicos, a essência da criação de valor consiste na oportunidade de extrair valor adicional de produtos e materiais mediante seu efeito cascata por outras aplicações.

Figura 6: Representação do ciclo.

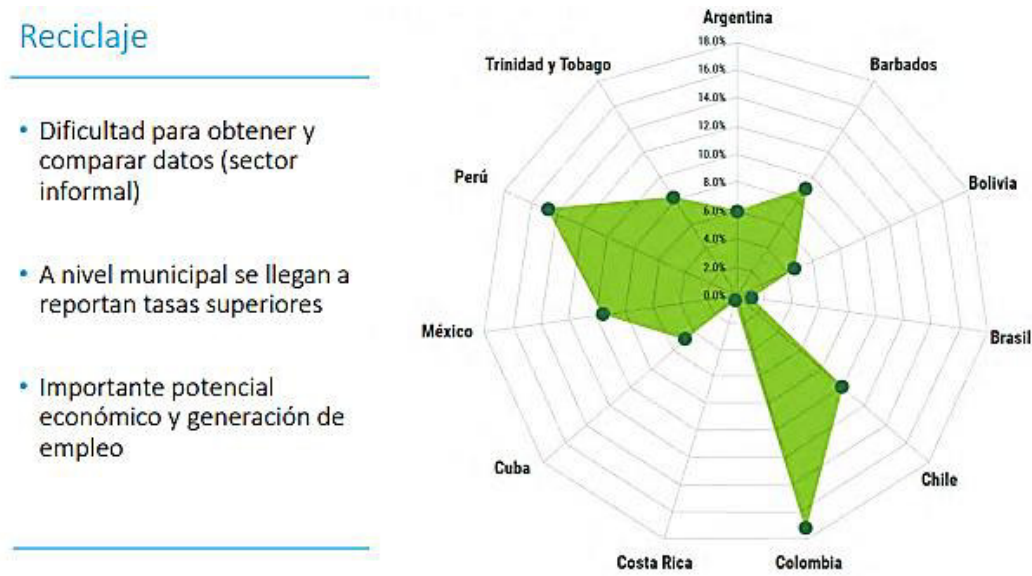


Fonte: G.B.C. Brasil

3.1.6 Iniciativas mundiais

Muitos países desenvolveram guias para a **prevenção da contaminação** dirigida a setores industriais. Um exemplo disso consiste na Agência de Proteção do Meio ambiente dos E.U.A. (EPA), que elaborou guias com a finalidade de minimizar os resíduos, emissões e descargas na indústria (ver Figura 7 y 8).

Figura 7: Taxas de reciclagem em 11 países da região: Relatório da ONU *América Latina y el Caribe* – 2019

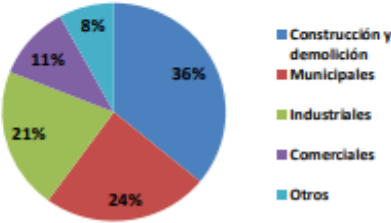


Fonte: ONU

Figura 8: Resíduos de mineração

Estimación a nivel mundial (2010)

Origen	Toneladas (Miles de Millones)
Residuos mineros	10-20
Agro-forestales	10-20
Resto ("urbanos")	7-10



Los residuos municipales representan <5% generación total

Fonte: UNEP GWMO.

Na Espanha, no início dos anos 90, a Direção Geral de Política Ambiental do Ministério de Obras Públicas iniciou a elaboração de estudos sobre a problemática ambiental de diferentes setores industriais e a identificação de soluções aplicáveis, como as de prevenção em processo, **reciclagem e recuperação**.

Além disso, a “*Dirección General de Política Tecnológica del Ministerio de Industria y Energía*”, elaborou em 1993 o Manual de Minimização Econômica do Impacto Ambiental, denominado Manual MEDIA, cujo objetivo consistiu em ajudar as empresas a considerar o aspecto meio ambiental como mais um fator de competitividade.

Por sua parte, a União Europeia elaborou uma Diretiva relativa à prevenção e controle integrados da contaminação, comumente conhecida como IPPC, que busca estabelecer medidas e procedimentos para evitar, quando seja possível, ou mesmo reduzir ao mínimo as emissões derivadas das instalações industriais da Comunidade, a fim de conseguir um nível elevado de proteção global do meio ambiente.

De acordo com o exposto anteriormente, desenvolveu-se um resumo das guias de minimização econômica de impacto ambiental, conforme pode-se observar abaixo:

Minimização

- Redução
- Reciclagem
- Recuperação

Técnicas de Minimização

- Gestão de inventários
- Modificação dos processos produtivos
- Redução do volume
- Reciclado e recuperação

Aspectos da Minimização

- Reduz custos
- Melhora a imagem da empresa
- Diminui riscos

Plano de Minimização

- Identificação de fluxos de resíduos
- Hierarquia entre os fluxos
- Estabelecimento de opções de minimização
- Análise da viabilidade (técnica, ambiental e econômica) de cada opção
- Seleção de melhor alternativa
- Implantação da opção selecionada
- Seguimento e controle da opção implantada
- Voltar a começar com outro fluxo ou outra opção
- Coordenar com outros planos implantados na indústria

Cabe ainda ressaltar que é preferível reciclar que descartar. Desenhar um produto que seja reciclável consiste, em grande medida, em considerar que ele não contenha materiais tóxicos. (MARTÍNEZ CENTENO, 2007-2008).

O Design Sustentável aumenta a capacidade do sistema produtivo de proporcionar bem-estar usando menos recursos ambientais (MANZINI; VEZZOLI, 2011), além de proporcionar a minimização de resíduos, como é possível observar no que concerne ao resíduo de bauxita.

Assim, ao recorrer à Ecologia Industrial, é possível converter aquilo que foi considerado um rejeito em material para diferentes áreas, o que inclui, além do design, a Arquitetura e a Construção Civil. É a partir dessa perspectiva que se buscou, nesta pesquisa, incentivar a adição de resíduo da bauxita, reciclando-o, de modo a projetar produtos funcionais de acordo com as normas técnicas, realizando uma mudança de conceito em torno do rejeito para convertê-lo em material para composições cerâmicas.

3.2 Resíduo de bauxita

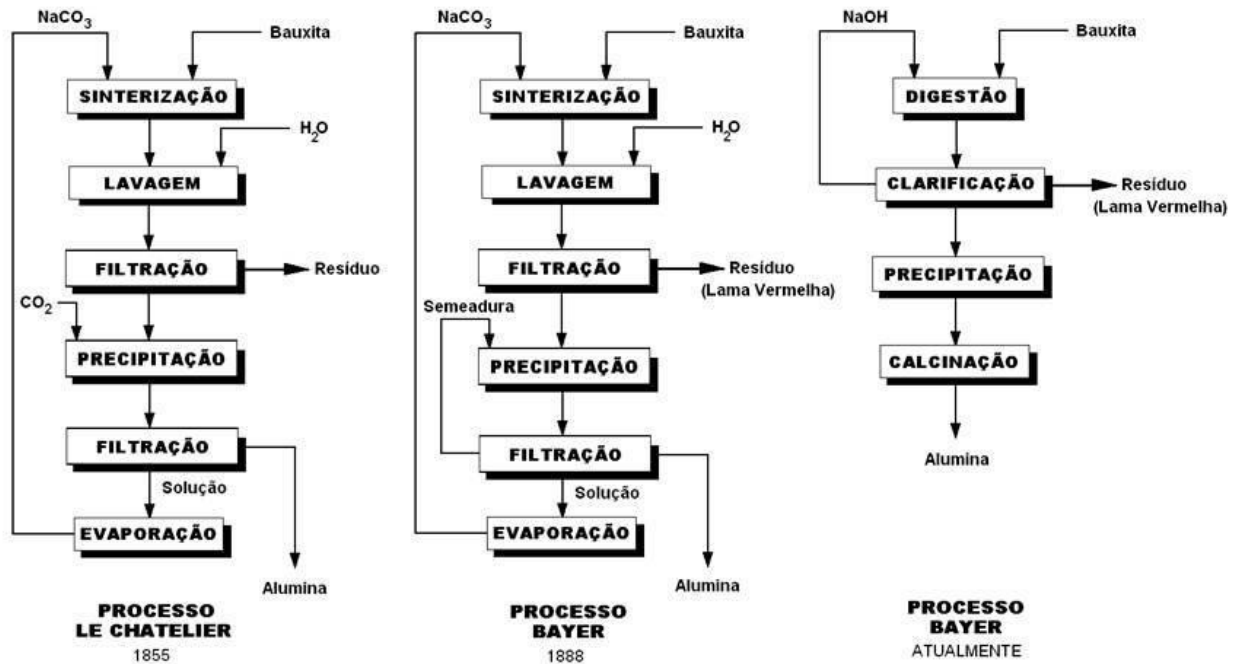
Nesta pesquisa, buscou-se trabalhar com o resíduo gerado pela indústria da alumina (ver Figura 9), depois do processamento do metal, a chamada lama vermelha ou resíduo de bauxita (nome proveniente da primeira mineração comercial na França, na província de *Les Baux*), rejeito que se acumula diariamente nas indústrias de refinamento.

O processo mencionado acima é conhecido como “**Processo Bayer**”. O mesmo foi inventado por Karl Josef Bayer, em 1888, e apresenta grande relevância na história da metalurgia, sendo utilizado para o refino da bauxita na produção do alumínio (Al_2O_3). O “Processo Bayer” é comparado com a cianetação para tratamento de ouro e prata e, posteriormente, cobre (HABASHI, 2005).

O “**Processo Le Chatelier**” foi a forma de refinamento anterior ao Processo Bayer, desenvolvido na década do 1930 por Louis Le Chatelier, método este que consiste no aquecimento da bauxita com Carbonato de Sódio (Na_2CO_3) a 1200°C , lavagem, filtração, precipitação, filtração e evaporação (HABASHI, 2005).

O processo Bayer substitui o processo *Le Chatelier*, devido à drástica redução no custo de produção de alumina (Al_2O_3). O primeiro continua hoje praticamente sem alterações significativas, o que simplifica a digestão, clarificação, precipitação e calcinação. A literatura não é clara em relação às datas, mas a Figura 9 mostra uma evolução cronológica dos métodos de produção de alumina (HABASHI, 2005).

Figura 9: Esquema da evolução cronológica produção de alumina.

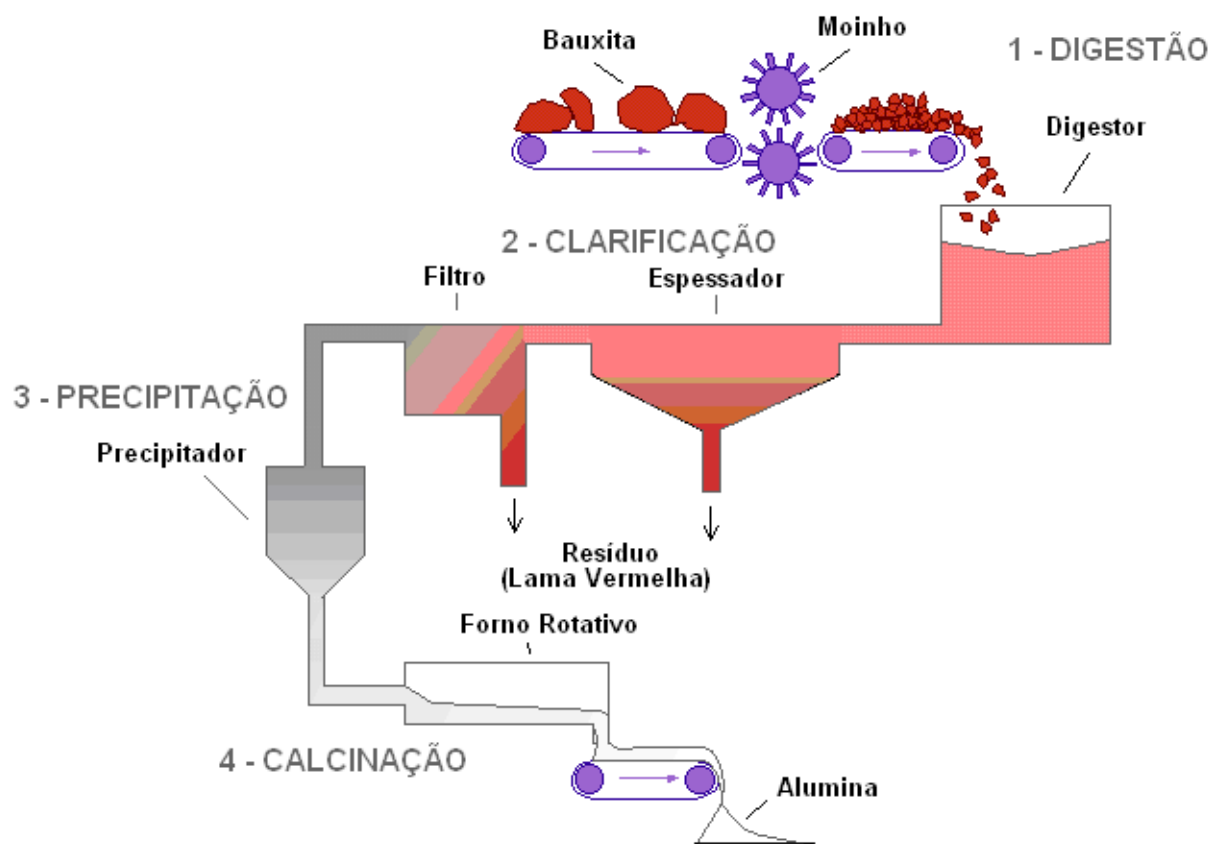


Fonte: Habashi, 2005.

O processo Bayer, originalmente, foi **desenvolvido para a indústria têxtil**, que utiliza a alumina (Al_2O_3) como fixador para o tingimento do algodão. Porém, somente com a sua associação ao processo eletrolítico de obtenção do alumínio metálico, Processo *Hall-Heroult*, criado no ano de 1886, é que passou a ser considerado o principal processo de produção de alumínio, ganhando importância na metalurgia, visto que melhorou a vida das pessoas por meio de suas inúmeras possibilidades de aplicação (ABAL, 2019).

A produção de alumina através do Processo Bayer pode ser esquematicamente apresentada conforme a Figura 10, cujos estágios são detalhados a seguir:

Figura 10: Fluxograma e esquema do Processo Bayer.



Fonte: Habashi, 2005.

É relevante destacar que o resíduo da bauxita (ver Figura 11 e 12) pode trazer impactos negativos ao meio ambiente, sobretudo na **contaminação de mananciais de águas**, em razão do seu alto teor de alcalinidade, bem como por apresentar-se em grandes volumes. Especificamente na indústria de alumínio não se dispõe ainda de procedimentos satisfatórios para completa minimização dos riscos, provenientes das adições de soda cáustica, ou para a reciclagem desse resíduo (PEDROSA, 1999).

Figura 11: Resíduo de Bauxita



Fonte: www.g1.globo.com

Figura 12: Resíduo de bauxita seco



Fonte: HYDRO, 2020.

Conforme Pedrosa (1999, p. 143):

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.

Entre as refinarias de alumina localizadas nos estados brasileiros, a bauxita utilizada por empresa consorciada e produtora de alumina instalada no Maranhão gera em torno de **0,6 t** de resíduo para cada tonelada de alumina produzida e um volume de aproximadamente **744.000m³/ano** de resíduos de bauxita. Cabe ressaltar que “[...] devido à solubilidade da soda cáustica em água, o resíduo de bauxita é um resíduo Classe II – resíduo não inerte – nos termos da CB-155 da ABNT”, ou seja, não se configura entre os resíduos inflamáveis, corrosivos, tóxicos, patogênicos, mas

igualmente, merece atenção quanto a sua destinação final e formas de tratamento. (PEDROSA, 1999, p. 143).

Uma das companhias do consórcio mencionado acima tem capacidade de produção anual de **268 mil toneladas** de lingotes em alumínio, possuindo ainda uma fábrica na cidade de Poços de Caldas – Minas Gerais, com capacidade de 96 mil toneladas de alumínio por ano; e o controle da mina de Juruti - Pará, inaugurada em setembro do ano de 2009, com produção de 446,1 mil toneladas de bauxita e vida útil prevista de 70 anos. A venda do produto ocorre em estados sólidos, nos formatos de lingotes, tarugos, pó; bem como em estado líquido. (MÁRTIRES, 2001).

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. No Brasil, **98% da produção de bauxita** destina-se às refinarias de alumínio. (MÁRTIRES, 2001).

Ainda segundo Mártires (2001), a produção do alumínio ocorre a partir da alumina, por meio do processo *Hall- Herould*. É através da bauxita que se dá a extração da alumina pelo Processo Bayer. Para cerca de 5 (cinco) toneladas de bauxita obtém-se a produção de 2 (duas) toneladas de alumina. Essa última corresponde ao principal insumo para produção de alumínio e, quando submetida ao processo de redução *Hall-Herould*, produz por volta de 1 (uma) tonelada do metal.

No Processo Bayer ocorre a utilização da propriedade dos hidróxidos de alumínio da bauxita que se dissolvem em solução de hidróxido de sódio, formando um licor verde a ser utilizado para a produção de alumina. Nesse processo, há ainda a separação de resíduos de óxidos de ferro e de outros elementos que compõe a bauxita, o que resulta na geração de um subproduto, resíduo insolúvel e alcalino: a lama vermelha. (ANTUNES, CONCEIÇÃO, NAVARRO, 2011).

O resíduo de bauxita caracteriza-se por ter partículas muito finas, do tamanho médio inferior a 10 micrômetros e algumas partículas com diâmetro maior que 20 micrômetros. É considerado um material alcalino, com valores de **pH entre 10 e 13**. (PARAMGURU et al., 2004).

O resíduo de bauxita classifica-se como um semissólido alcalino, com concentração de **pH** que varia entre **11,9 e 13,6**. De acordo com a NBR 10004:2004, esse rejeito 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 (MERCURY ET AL, 2010).

Em decorrência de sua elevada alcalinidade, a lama vermelha poderá ser classificada como resíduo Classe I, segundo a norma NBR 10.004/2004 da ABNT. Essa classificação a situa enquanto material perigoso por sua alta corrosividade e reatividade. Ademais, sua manipulação inadequada pode resultar em diversos problemas ambientais (RIVAS, MERCURY ET AL, 2010).

De acordo com a pesquisa desenvolvida pelos autores citados acima, acerca do comportamento térmico e propriedades físico-mecânicas da lama vermelha (LV), há uma escassez de informações acerca dessa produção no Brasil, entretanto, é possível inferir, a partir de dados da ABAL uma média de produção da LV em âmbito nacional e no estado do Maranhão.

Na literatura, informações sobre a produção nacional de LV são escassas. Porém, dados da Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) para o ano de 2006, indicaram que a produção de alumina no Brasil atingiu a marca de 6,66 milhões de toneladas, sendo que, em São Luís, foram produzidas 1,4 milhões de toneladas. A partir destes dados, e levando em conta que para cada tonelada de alumina produzida são produzidos em média 0,5 toneladas de lama vermelha, é possível inferir que a produção nacional e a maranhense de LV é de aproximadamente 3,33 milhões de toneladas e 700 mil toneladas, respectivamente.

Conforme Antunes, Conceição e Navarro (2011), para armazenar a lama vermelha é necessária uma área ampla para sua acomodação. Há também a necessidade de cuidados em torno da manutenção dos locais onde ela permanece alojada, tal fato resulta ainda em altos custos para as indústrias de refino da Bauxita. É nesse sentido que os autores apontam como alternativa para os problemas ocasionados em decorrência da produção desse material, o desenvolvimento de tecnologias voltadas para sua reutilização, mencionando ainda estudos dos últimos vinte anos com a utilização de LV na **construção civil**, insumo de cimento, produção de material cerâmico, catalisador, reagente, captura de CO₂, etc.

Em consonância com o exposto acima, Ceccato et al (2009) compreendem que o resíduo industrial, ao acumular-se em sua disposição final, poderá resultar em problemas ambientais diversos, relacionados à busca constante de armazenamento físico para o resíduo, poluição, **impossibilidade de cultivo** nas terras próximas e diminuição da qualidade de vida das comunidades localizadas perto dos locais onde o resíduo está armazenado. Entretanto, numa perspectiva de reciclagem, o resíduo de fundição, enquanto matéria-prima, poderá possibilitar um ótimo desempenho técnico e econômico na construção civil (CECCATO ET AL, 2009).

Quando se trata especialmente da reciclagem de resíduos sólidos industriais, cabe destacar os ganhos sociorregionais decorrentes de um desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, é necessário recorrer à experimentação, visto que por meio dela é possível identificar quais usos podem ser viáveis para o desenvolvimento de **produtos gerados a partir desses resíduos**. A reciclagem permite ainda a economia de energia e materiais, diminuição da poluição e da quantidade de aterros e maior controle ambiental (CECCATO ET AL, 2009).

Ao focalizar o impacto socioambiental dos resíduos industriais é necessário pensar que eles têm sido destinados apenas a sua disposição final, gerando propostas emergentes que não conseguem lidar com o excesso de terras pertencentes às comunidades (ZENTENO, HERRERA, GUTIERREZ, 2018). É a partir dessa perspectiva que esta pesquisa busca conferir valor econômico na área de Design aos resíduos, além de contribuir para sua minimização.

3.3 O caminho da alumina

A empresa Hydro (2020) menciona que a alumina, ou **óxido de alumínio**, pertence à categoria mais alta dos custos individuais em relação à produção de alumínio. Também acrescenta que é necessária uma alumina de boa qualidade para produzir um metal de igual qualidade e com baixo impacto ambiental. A produção mundial de alumina é de aproximadamente 100 milhões de toneladas e ocorre, principalmente, a partir da bauxita, no processo Bayer, no qual os resíduos são lavados, pulverizados, dissolvidos em soda cáustica ou hidróxido de sódio (NaOH) e submetidos à alta pressão e temperatura.

O líquido resultante do processo anteriormente descrito contém uma solução de resíduos de aluminato de sódio e bauxita, cuja composição é formada por ferro, silício e titânio. Esses resíduos descem para o fundo de um tanque e são removidos, sendo comumente conhecidos como "lama vermelha".

A solução clarificada de aluminato de sódio é bombeada para um enorme tanque chamado precipitador. Quando o líquido esfria são adicionadas **partículas finas** de alumina para induzir a precipitação de partículas puras de alumina. As partículas são depositadas no fundo do tanque, removidas e enviadas para um forno ou calcinador para remover a água que elas contêm, produto da cristalização. O resultado é um pó branco, alumina pura. A soda cáustica é devolvida ao início do processo e é utilizada novamente (ABAL, 2019).

O óxido de alumínio (Al_2O_3), também conhecido como alumina, juntamente com a sílica, são componentes fundamentais para a **construção de argilas e vernizes**, conferindo resistência e aumentando a temperatura de maturação. Apresentam-se naturalmente sob a forma de corindo e esmeril (BALDEON TIMOTEO ET AL, 2012).

O termo alumina é um nome atribuído a mais de 27 materiais que consistem em diferentes variedades hidratadas ou de óxido ou hidróxido de alumínio, cuja apresentação na forma de sólidos porosos despertou grande interesse tecnológico em razão de suas múltiplas aplicações (BALDEON TIMOTEO ET AL, 2012):

A indústria de alumínio primário utiliza alumina principalmente como matéria-prima básica para a produção de alumínio. Além disso, a alumina é usada de maneira complementar para diferentes funções, vejamos algumas de suas aplicações:

- Isolamento térmico para o topo dos tanques eletrolíticos;
- Revestimento protetor para evitar a oxidação de ânodos de carbono;
- Absorção das emissões dos tanques;
- Também é usado para secar o ar comprimido, pois possui a propriedade de adsorver e dessorver água;
- Na área de saúde de próteses dentárias, é utilizada como base da estrutura de coroas e pontes, proporcionando grande dureza e resistência, leveza e translucidez;

- Em moinhos de esmaltes de cerâmica;
- Como pedras de moagem (pedras que os pássaros engolem para esmagar os grãos na moela).

Sua regeneração (no caso de adsorção / dessorção) ocorre com ar quente e seco e tem uma temperatura no ponto de orvalho de -40°C .

3.3.1 Estrutura cristalina

Os cristais de óxido de alumínio (Ver Figura 13) possuem um sistema cristalino hexagonal de tamanho muito fino (nm), uma característica importante **no preenchimento de espaços vazios** em misturas cerâmicas.

Figura 13: Alumina (óxido de alumínio)



Fonte: HYDRO, 2020.

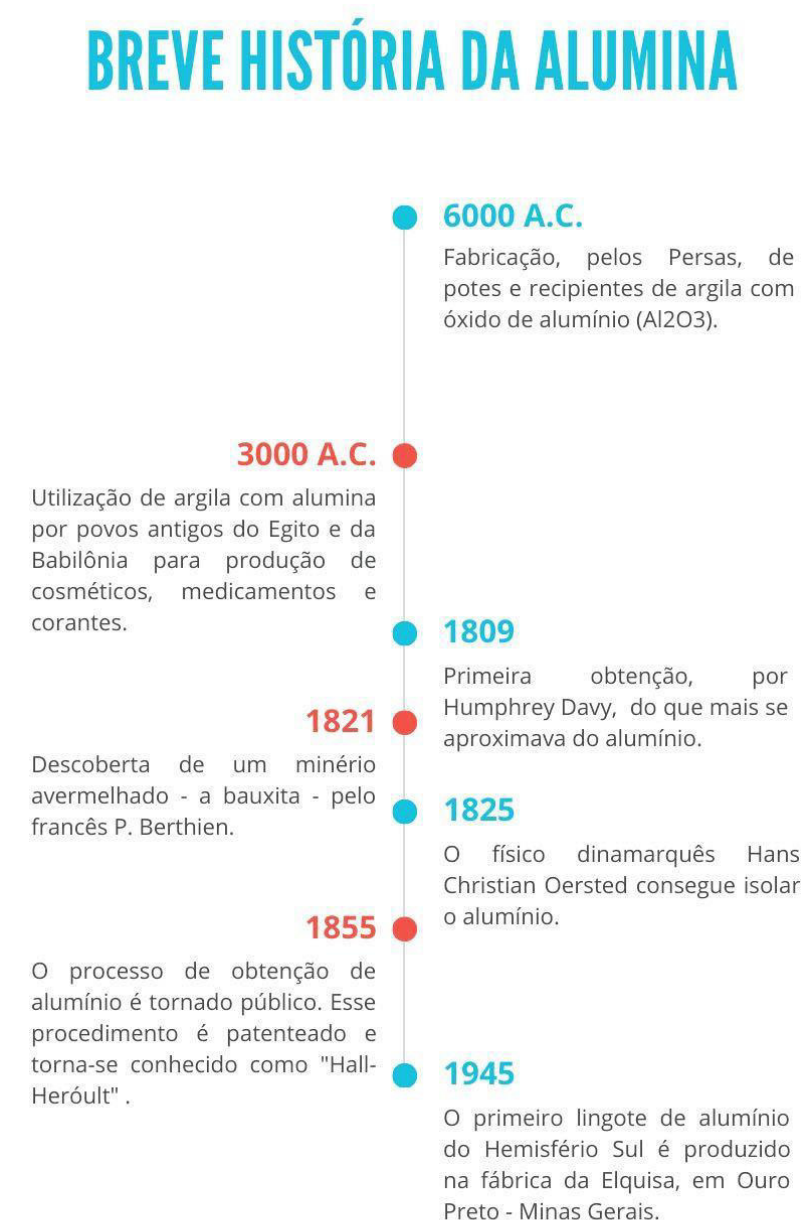
Como mencionado anteriormente, a indústria de alumina usa o processo Bayer para produzi-la a partir de rochas de bauxita. O resultado é um material vital para a produção de alumínio, no qual são necessárias aproximadamente duas toneladas de alumina para produzir uma tonelada desse último (BALDEON TIMOTEO ET AL, 2012).

A produção comercial do alumínio remonta a, aproximadamente, 150 anos, entretanto, ao investigar o percurso histórico do referido metal é possível observar que os vasos confeccionados por ceramistas da Pérsia, há sete milênios atrás, já continham em seu processo de produção um tipo específico de barro que contava com o óxido de

alumínio como um de seus elementos. Passados trezentos anos mais tarde, constatou-se que egípcios e babilônios também utilizavam o alumínio em produtos destinados à cosmética e ao uso medicinal (ABAL, 2019).

Na Figura 14 é possível visualizar um breve panorama da **trajetória histórica** da alumina, iniciando com os persas, passando pelos egípcios e babilônios e culminando com o processo de obtenção do metal e sua primeira fabricação no Brasil.

Figura 14: Histórico da Alumina.



Fonte: Elaborado pelo pesquisador a partir de ABAL (2019).

Segundo Cardoso et al (2011), o alumínio ocupa a **terceira posição** entre os elementos mais encontrados na crosta terrestre e, especialmente entre os elementos metálicos, destaca-se por ser o de maior abundância, possuindo ainda propriedades que ampliam suas condições de uso na produção de diferentes itens e contemplando variados campos e atividades: tratamento da água, metalurgia, aeronáutica, indústria farmacêutica e setor de alimentos.

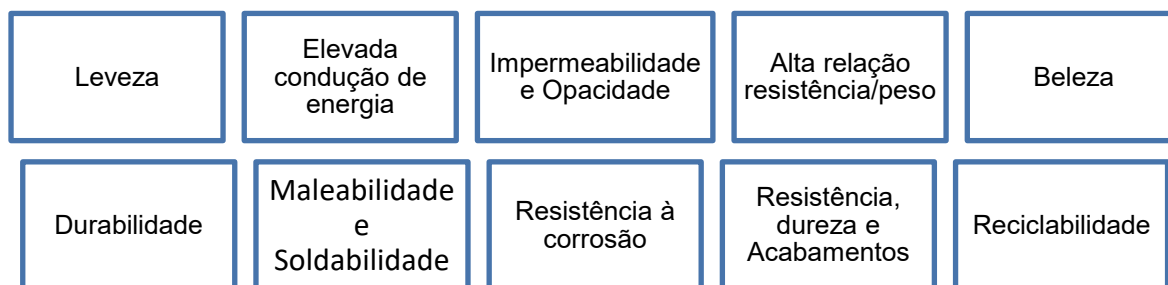
De acordo com o autor supracitado, a obtenção do alumínio na forma metálica é oriunda de um processo que envolve: a mineração da bauxita; o seu beneficiamento; a etapa de refinaria, que consiste no tratamento químico do minério para obtenção do que se denomina alumina; e, por fim, a transformação da bauxita em alumínio primário, gerando sua forma metálica através de processo físico-químico.

Mártires (2001, p.2) ressalta que

A bauxita é a principal matéria-prima utilizada na indústria do alumínio. Trata-se de uma rocha constituída, principalmente, de minerais hidratados de alumínio. Cerca de 95% da produção mundial de bauxita são utilizados na produção de alumina. Essa é a bauxita denominada bauxita grau metalúrgico[...]. As bauxitas também são empregadas nas indústrias químicas (sulfato de alumínio), de abrasivos e de cimento (aluminoso).

Ao tratar sobre as aplicações, vantagens e valor comercial do alumínio, a ABAL (2019) enfatiza que esse metal abrange um leque de aplicações, caracterizando-se por **sua leveza, durabilidade e alta performance**, sendo ainda um dos metais mais utilizados em todo o mundo. Algumas das características que reforçam as vantagens apresentadas pelo alumínio podem ser observadas na figura 15, abaixo:

Figura 15: Vantagens do Alumínio.



Fonte: Elaborado pelo pesquisador a partir de ABAL (2019)

A propriedade **leveza** costuma fazer-se presente na indústria de transportes e na indústria alimentícia. No primeiro caso, reflete-se no menor consumo de combustível, menor desgaste, maior eficiência e aumento da capacidade de carga. No segundo caso, destaca-se pela praticidade de embalagens e redução de peso, em comparação a outros materiais.

Outra vantagem do alumínio consiste em sua **condutibilidade de energia**, seja elétrica ou térmica. Na comparação com o cobre, o alumínio sobressai-se no setor de fios e cabos no que concerne aos critérios peso e preço. Ademais, no que tange às possibilidades de ambiente de aquecimento e resfriamento é amplamente utilizado nos setores alimentício, automobilístico, na indústria química, aeronáutica e petrolífera.

A **impermeabilidade e opacidade** garantem a proteção e não deterioração de medicamentos e alimentos contra a luz, umidade e oxigênio. Já a **relação resistência e peso** permite um alto desempenho, sobretudo, ao setor de automóveis. Essas características possibilitam ainda uma maior durabilidade e melhores condições de conservação para utensílios domésticos.

No que diz respeito à **beleza**, ressalta-se as possibilidades do alumínio em proporcionar melhor acabamento e aplicação de camadas de tinta. Além disso, a não deterioração ao longo do tempo e o ar de modernidade do metal somam-se aos resultados desse aspecto.

Por conta de sua película de óxido autoprotetora é possível verificar que o alumínio apresenta alta resistência e **durabilidade** frente a possíveis elementos externos, o que garante ainda a facilidade de conservação de obras, embalagens de produtos, equipamentos utilizados na construção civil e em veículos de diferentes portes.

Sobre isso, Cardoso et al (2011, p. 59) afirmam que

A utilização do alumínio no segmento da construção, além das vantagens em comum com os demais segmentos, permite boa manutenção, conservação e, conseqüentemente, maior durabilidade. Sua capacidade de servir a estruturas o tem capacitado, em conjunto com outros elementos, a substituir o aço em algumas aplicações. Outro aspecto relevante é sua aparência decorativa, o que, muitas vezes, determina sua demanda em projetos modernos. Além disso, equipamentos para empresas e escritórios também formam uma importante demanda para o metal.

Já as propriedades de **maleabilidade e soldabilidade** permitem a adequabilidade do alumínio para o uso em diferentes projetos, visto que o mesmo possui propriedades mecânicas que auxiliam em sua conformação. A **resistência à corrosão** garante sua maior durabilidade quando utilizado em ambientes marítimos ou em outros ambientes que sejam mais agressivos.

A utilização do alumínio em meios de transportes, como aviões ou trens, torna-se possível em virtude da relação **resistência e dureza**, visto que o limite de sua rigidez natural pode ser aumentado através do uso de trabalho a frio. Outro fator que se enquadra como vantagem é sua **possibilidade de muitos acabamentos**, o que contribui também para a resistência do material.

Por fim, vale enfatizar a sua propriedade de **reciclabilidade**. Essa característica garante o reaproveitamento do material após um longo tempo de vida útil, além de contribuir para o meio ambiente e para a diminuição de resíduos por meio do processo de reciclagem.

Em Cardoso et al (2011, p. 76) observa-se que, diferentemente de outros materiais, o alumínio não perde suas propriedades ao longo da reciclagem, fato que também lhe atribui vantagens. Além disso, para os autores citados, o tempo de vida útil do metal é outro fator significativo ao tratarmos de sua reciclabilidade. “Em cada segmento, o tempo de vida do alumínio é diferente. No setor de embalagens, não é maior que alguns meses. Por outro lado, nos segmentos de construção e de energia elétrica, a média é de 35 anos”.

Os aspectos mencionados acima demonstram, portanto, diversos atributos que tornam o alumínio elemento de relevância em diferentes áreas de aplicação, perpassando atividades econômicas desenvolvidas nas indústrias metalúrgica, aeronáutica, farmacêutica e alimentar.

3.4 Ladrilho Hidráulico

O ladrilho hidráulico é uma placa cerâmica utilizada em piso e/ou parede constituída por três partes: **Camada superior** ou estética, composta de cimento branco, pó de mármore e, no caso das peças coloridas, pigmento industrial, sempre diluído na água, apresentando-se como uma camada líquida; **Camada intermediária** ou secante, composta por cimento comum ou cimento branco (no caso das peças coloridas) e areia; e **Camada inferior** ou de fundo, composta por cimento, areia e água. Essa última é utilizada para hidratar e auxiliar na obtenção de uma mistura sólida. Todos esses elementos são dispostos em moldes metálicos e levados para uma prensa hidráulica, responsável por homogeneizar as camadas por meio da pressão. Quando as peças secam são vendidas ao público, principalmente da área da construção civil (ABCP, 2010). Os resultados podem ser apreciados na Figura 16.

Figura 16: Ladrilhos hidráulicos



Fonte: Autor da pesquisa

Os primeiros ladrilhos hidráulicos são da **época dos antigos mosaicos bizantinos**, criados para revestimento de piso e parede, onde expressavam-se a arte e a religiosidade. O ladrilho foi um produto largamente aplicado na Europa, sendo popular nos espaços exteriores e interiores. Por seu sucesso e sua simplicidade, foram importados de Portugal, da França e da Bélgica para o Brasil. No final do século XIX, as técnicas de manufatura do ladrilho hidráulico foram transmitidas aos imigrantes residentes no Brasil, os quais começaram a abrir as primeiras fábricas, movimentando seu mercado e sendo uma solução que se mantém até a atualidade (FÁBRICA, 2019).

De acordo com Carvalho (2008), nas mais importantes fábricas de ladrilhos hidráulicos, localizadas no Estado do Mato Grosso do Sul, muitos dos materiais originais utilizados na produção dos ladrilhos foram substituídos. Entretanto, os agregados novos não tinham as propriedades dos materiais de procedência original. As mudanças variam desde as tintas e óleos usados na produção. Um relato de um artesão fala da decadência dos materiais e exemplifica que a tinta que era importada era mais forte e que a **qualidade das peças decaiu**.

Carvalho (2008) relata que nas décadas de 1930, 1940 e 1950, a indústria do ladrilho hidráulico tentou competir com a indústria da cerâmica de produção automatizada, mas não conseguiu o mesmo nível de produtividade, prazos de entrega e custos de produção, **sendo absorvida** pelo avanço tecnológico. Nos anos de 1960, o ladrilho foi relegado ao esquecimento, com a introdução da cerâmica industrializada. Posteriormente, muitas fábricas de ladrilhos hidráulicos foram fechadas. A partir de então, os ladrilhos hidráulicos passaram a ser pouco especificados em projetos de construção.

Os processos de produção empregados na fabricação de ladrilho hidráulico ainda são utilizados na atualidade e prevalecem, por meio do ensino, para além das gerações. As características principais do ladrilho são: sua forma artesanal de manufatura, seu baixo impacto ambiental, a possibilidade de criação no modo de série e a presença de um mestre artesão, que opera o processo de produção do início ao fim. Essa aproximação do mestre com o processo em sua totalidade **possibilita a correção** de pequenas imperfeições nas peças, além do cuidado com o detalhe e personalização na produção de seu taroz (SOUZA, 2012).

O nome “ladrilho hidráulico” foi inspirado em sua tecnologia de fabricação, visto que depois das peças serem prensadas e retiradas dos moldes, dá-se início ao processo de cura por **imersão ou cura úmida**, permitindo o incremento da resistência das peças em função do cimento Portland. Além disso, na produção de ladrilhos hidráulicos não há a necessidade de uso do forno, aspecto que também o diferencia do mercado cerâmico.

Os elementos anteriormente citados configuram esse processo de produção enquanto artesanal, além de gerarem muitos benefícios no que concerne aos custos, à sustentabilidade e à relação da produção e posterior venda. Nos anos em que o uso do

ladrilho hidráulico esteve em destaque, a possibilidade de que fossem produzidos em série e a entrega em tempo hábil aos clientes foram fatores que contribuíram para o sucesso desse material outrora. (SOUZA, 2012).

Assim, a ênfase nesse formato deu-se em razão da aproximação dos termos de Design Sustentável, buscando reduzir, o máximo possível, os impactos das máquinas, bem como os perigos para o trabalhador no processo de fabricação de revestimentos para superfícies. (ABCP, 2010).

3.4.1 Normas técnicas do ladrilho hidráulico

A norma NBR 9457:2013, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, chamada “Ladrilhos hidráulicos para pavimentação – especificação e métodos de ensaio”, define o ladrilho hidráulico como uma “placa cimentícia paralelepípedica de dupla camada, executada por prensagem, com a superfície **exposta ao tráfego** lisa ou em baixo-relevo”. (ABNT, 2013, p.1).

As características técnicas dos ladrilhos hidráulicos, que devem ser comprovadas e controladas por testes de laboratórios, após 28 dias de sua fabricação, necessitam apresentar os seguintes requisitos: comprimento nominal máximo de 400 mm, largura nominal mínima de 100 mm, espessura nominal mínima de 18 mm, resistência mecânica na condição de ser assentada na capa de apoio e resistência à flexão maior ou igual a **3,5 MPa**, que é a medida da força aplicada nos testes. Além disso, em seu empenamento e escondidade não são admitidos valores superiores a 3 mm e a inspeção deve também ser visual por parte do provedor. (NBR 9457: 2013).

Para a venda dessas peças, a norma NBR 9457:2013 explica que a conformação de um lote ou conjunto de peças deve ser limitado à produção diária ou semanal, utilizando-se o mesmo equipamento e matérias primas. Desse modo, de cada lote retiram-se nove peças para cada 400 m² e uma peça adicional para cada 50 m², até perfazer um **máximo de 32 peças**. Na realização dos testes de flexão, os quais considera-se cada ladrilho um corpo de prova, tem-se que: para as dimensões de 20 X 20 mm é necessário o mínimo de nove peças e para as dimensões de 30 X 30 mm, seis peças.

No caso dos agregados para concreto, a norma NBR 7211:2009 permite componentes de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes de uma britagem de rochas. No que concerne aos agregados recuperados, como é o caso do resíduo de bauxita, pode-se adicionar o resíduo à mistura, viabilizando sua reciclagem, entretanto esse acréscimo **não deve superar 5% da composição total**. Isso se deve ao fato de que os agregados podem mudar a resistência e, com isso, possivelmente, não cumprir com os requisitos mínimos das normas e do mercado.

3.4.2 Características do ladrilho hidráulico

As características dos ladrilhos hidráulicos cumprem com os requisitos estabelecidos na norma NBR 9050:2015, que exige que os espaços públicos devam ser acessíveis aos cidadãos, de modo a garantir a livre circulação das pessoas com **mobilidade reduzida**.

Nesse sentido, espera-se ainda que o planejamento do projeto seja inclusivo, considerando a acessibilidade universal como um conceito primordial e que, ao mesmo tempo, coordene com o governo local as leis de construção. Para conseguir esse objetivo, são estabelecidas medidas que incluem por exemplo: rolamento do piso, inclinações máximas ou facilidade de leitura para os pedestres, outorgando importância ao uso da sinalização tátil e visual. Esse produto oferece soluções para impedidos visuais e soluções funcionais e decorativas personalizadas, podendo-se ampliar seu mercado mais ainda.

Os ladrilhos hidráulicos em condições mais extremas são associados ao uso exterior, onde a peça mantém-se exposta à circulação de pedestres, cadeirantes e à abrasão e intempéries. Devido a isso, necessitou-se fazer produtos que sejam fáceis de execução e manutenção; fácil instalação; tenham uma superfície antiderrapante, para garantir a segurança dos pedestres, ainda que a calçada esteja molhada; tenham uma rápida liberação de tráfego, para usar após as 24 horas após a instalação; sejam ecológicos, com baixo impacto ambiental e **possibilidade de reciclagem de materiais** na sua mistura; e tenham conforto de rolamento.

Cabe ressaltar que a norma NBR 9457:2013 ajuda na homologação não somente das peças, mas também das calçadas, visto que há a necessidade de facilitar o deslocamento das cadeiras de rodas e dos carrinhos de transporte. Além disso, uma superfície composta por ladrilho hidráulico apta a cumprir com a norma NBR 9050: 2015 necessita apresentar resistência e durabilidade para garantir a segurança ao pedestre e para oferecer maior tempo de uso; possibilitar diversidade de cores e texturas, a fim de alcançar diversas funções e soluções, bem como **possibilitar conforto térmico**, já que o ladrilho possui a propriedade da absorção de calor (ABCP, 2010).

Todas essas características são essenciais para um correto uso dos ladrilhos hidráulicos e colaboram com a sinergia da cidade, que busca incluir todo cidadão, sem importar sua forma de deslocamento. Homologar o trânsito para todas as pessoas é um dos pontos chave no novo paradigma da construção de espaços e objetos (NBR 9050, 2015).

3.4.3 Formatos e Dimensões no mercado

Os formatos mais comuns de ladrilhos hidráulicos são o quadrado e retangular, mas também costumam apresentar-se nos formatos hexagonais. Na tabela abaixo vemos as dimensões mais comuns do mercado:

Tabela 2: Formatos e dimensões do ladrilho hidráulico.

Formatos	Comprimento (mm)	Largura (MPa)	Espessura (MPa)	Nº de Peças (pc/m²)	Peso (kg/m²)
Quadrado	200	200	20	25	35
	250	250	25	16	45
	330	330	25	9	54
Retangular	440	440	25	6	60

Fonte: NBR 9457:2013 e ABCP, 2010.

3.4.4 Produção do ladrilho hidráulico

Os procedimentos de produção do ladrilho hidráulico obedecem às **etapas** descritas anteriormente: fôrma com o molde sendo lançada à calda pigmentada; retirada do molde; desenho formado pela calda pigmentada, face que receberá a próxima camada constituinte, o secante; lançamento da camada do secante; na sequência tem-se o processo de mescla e de prensagem; remoção da nova peça do molde, utilizando-se de outro ladrilho; remoção do novo ladrilho da base da fôrma; apresentação do ladrilho hidráulico ainda sem resistência; e armazenamento do ladrilho hidráulico em prateleiras 24 horas, para após outras 24 horas de cura úmida ser retirado para secar definitivamente (ABCP, 2010).

3.4.5 Pigmentos

Os pigmentos inorgânicos dos ladrilhos hidráulicos são feitos à base de óxido de ferro sintético, de acordo a norma NBR 9457:2013. Nesse caso, fabricado pela Bayer SA, denominado Bayferrox, vendido em pó em embalagens de 25 kg. Mas a presente pesquisa, **não utiliza este produto**, apenas trabalha-se com a mistura de cimento, água, areia e resíduos de bauxita, que pigmenta a peça quando é adicionado.

3.4.6 Ferramentas

As ferramentas fundamentais para a **montagem de uma fábrica de cerâmica** com as características correspondentes às necessidades de produção de ladrilhos hidráulicos são: prensa hidráulica (ver figura 18); armações de base (figura 19); moldes estéticos (para pigmentos e formas, de acordo a norma NBR 9457:2013), conforme vemos nas Figuras 17, 18 e 19, de uma fábrica de São Luís MA; além de espátulas, pincel e recipientes.

Figura 17: Prensa hidráulica



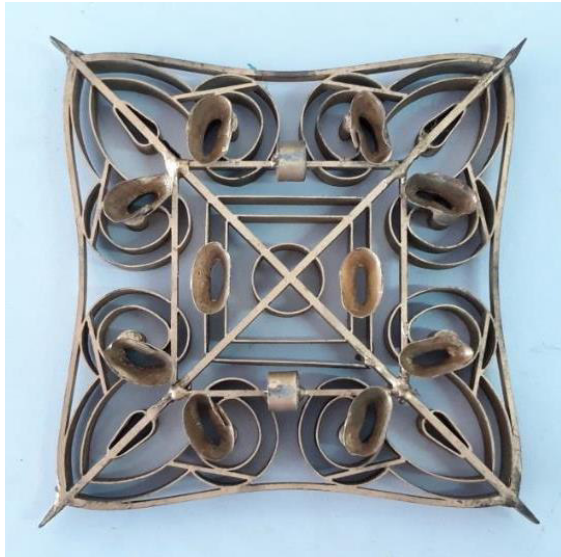
Fonte: Autor da pesquisa

Figura 18: Armações de base.



Fonte: Autor da pesquisa

Figura 19: Moldes estéticos



Fonte: Autor da pesquisa

3.4.7 Etapas de produção dos ladrilhos hidráulicos

Camada superior: para iniciar o processo, os moldes estéticos são dispostos dentro dos quadros básicos, perfeitamente ajustados. Então, dependendo da terminação final ou função do produto, cor e/ou forma é aplicada a calda pigmentada, ou não, dentro dos moldes, respeitando o padrão metálico, como é possível visualizar na Figura 20. (ABCP, 2010).

Figura 20: Disposição da calda pigmentada no molde



Fonte: Autor da pesquisa

A calda pigmentada ou não (ver Figura 21), quando aplicada, não possui apenas uma função estética, mas também fornece resistência à peça, formando a primeira camada e apresentando a forma. A relação entre areia ou pó de mármore e cimento comum ou cimento branco é de 1:1. No caso do pigmento branco, especificamente, usa-se pó de mármore e cimento branco para sua composição (ABCP, 2010).

Figura 21: Calda sem pigmento apenas textura.



Fonte: Autor da pesquisa

Camada intermediária: na etapa de secagem, respeitando a relação 1:1, é feita uma mistura de cimento e areia completamente seca, como vemos na Figura 22. Integra-se à peça uma segunda camada para realizar o trabalho de secagem e dar resistência para a parte central, ao passo em que se colam as camadas (ABCP 2010).

Figura 22: Aplicação da camada de secagem



Fonte: Autor da pesquisa

Camada inferior: respeitando a relação 1:1, é feita uma mistura de cimento e areia molhada, apenas para umedecer. Integra-se à peça uma terceira camada para realizar o trabalho de base ou fundo, dando resistência e fechando a peça como vemos na Figura 23. (ABCP, 2010).

Figura 23: Aplicação da base ou fundo



Fonte: Autor da pesquisa

Prensado: a mistura é coberta por uma tampa de metal pesada e colocada na prensa hidráulica, unindo as três camadas, como mostram as figuras 24 e 25 abaixo (ABCP, 2010). A peça fica com 5 mm de camada superior e intermediária e 10 mm de camada inferior, aproximadamente, até cumprir os requisitos mínimos da norma NBR 9457:2013.

Figura 24: Aplicação da tampa de metal pesada.



Fonte: Autor da pesquisa

Figura 25: Prensado das camadas.



Fonte: Autor da pesquisa

Desmoldagem: a mistura já convertida em uma peça é desmoldada e as sobras são removidas (ABCP, 2010), conforme vemos na figura 26. A apresentação da peça pode ser apreciada na figura 27.

Figura 26: Remoção de armações de base.



Fonte: Autor da pesquisa

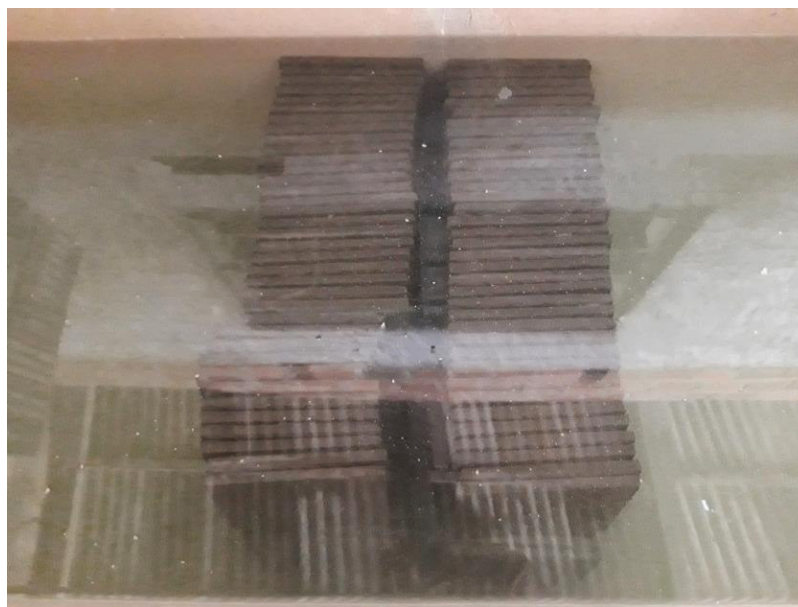
Figura 27: Apresentação da peça.



Fonte: Autor da pesquisa

Cura úmida e secagem final: A peça é imersa em água por 24 a 48 horas para completar o processo químico da mistura e aumentar sua resistência. Posteriormente, deixa-se 24 horas secando, somando um total de três dias desde o início até o final das etapas, como pode-se observar nas figuras 28 e 29, respectivamente. (ABCP, 2010).

Figura 28: Peças submersas



Fonte: Autor da pesquisa

Figura 29: Secagem final.



Fonte: Autor da pesquisa

3.5 Analises

3.5.1 Análise de difração de raios-x (DRX)

A difração de raios X (NBR 5751:2015) fornece um meio conveniente e prático para a **identificação qualitativa de compostos cristalinos**. Na análise realizada nesta pesquisa, compara-se os difratogramas de raios X entre as diversas amostras, o que permitirá identificar as alterações ocorridas nas mesmas amostras aos 28 dias de cura úmida.

3.5.2 Fluorescência de raios X

A fluorescência de raios X (FRX) é uma técnica aplicada para **identificar qualitativamente os elementos existentes nas amostras**. Esta não é uma técnica destrutiva, o que permite não só uma análise quantitativa (identificação dos elementos presentes numa amostra), como também quantitativa, possibilitando estabelecer a proporção de cada elemento que se encontra presente nas amostras.

3.5.3 Determinação da composição granulométrica

O objetivo da determinação da composição granulométrica é determinar a **finura e a dimensão máxima** do agregado, neste caso, resíduo de bauxita, cimento e areia (NBR 7217:1987).

3.5.4 Teste: resistência à compressão axial.

A resistência à compressão axial será determinada no pelo rompimento dos **corpos-de-prova cilíndricos**, nas respectivas idades 3, 7 e 28 dias, como previsto na norma NBR 5739/2007.

3.5.5 Teste: resistência à flexão.

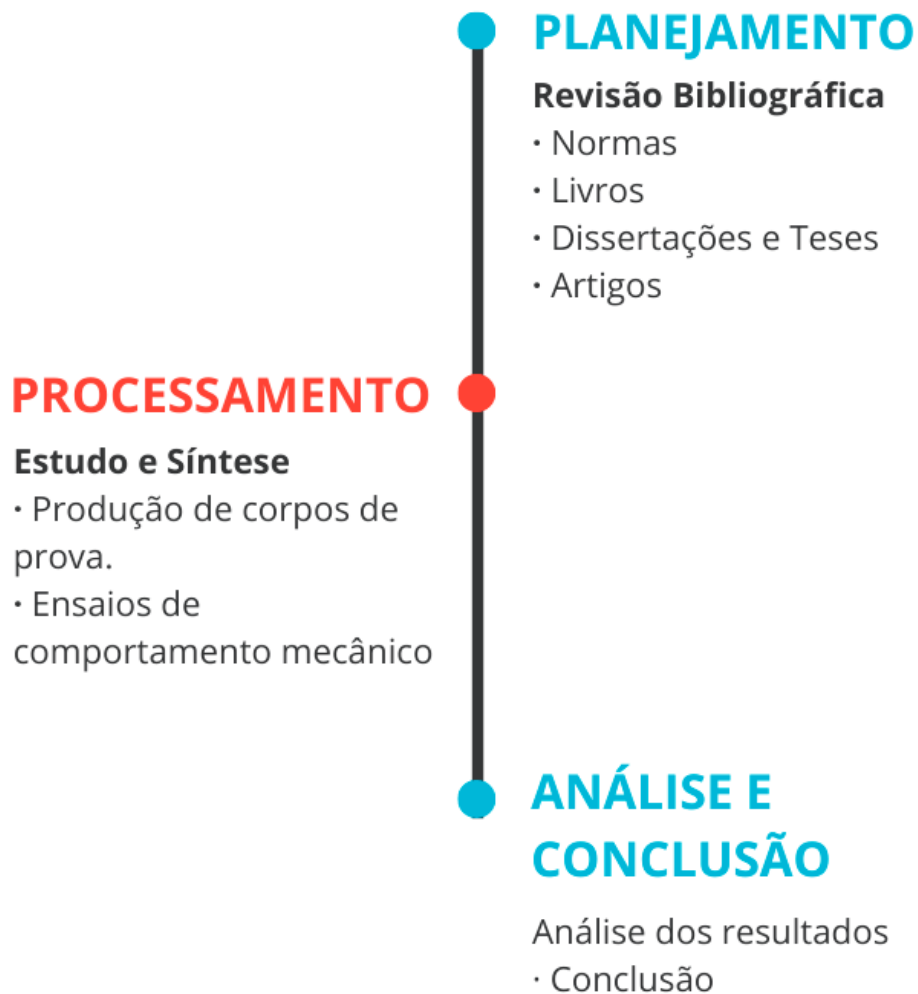
Nesse teste, amostras com idades de 3, 7 e 28 dias, com seção transversal redonda, retangular ou plana, são colocadas em dois pinos de suporte paralelos. A força de carga é aplicada no meio, através do pino de carga. Esses pinos de suporte e carregamento são montados de modo a permitir sua rotação livre sobre eixo paralelo ao eixo do pino e eixo paralelo ao eixo das amostras. Essa configuração fornece carregamento uniforme da amostra e evita o atrito entre a amostra e os pinos de suporte. Devido a isto, esse teste é também conhecido como **flexão de 3 pontos** (NBR 13818:1997).

4 METODOLOGIA E MATERIAIS

Na figura abaixo, pode-se observar as etapas utilizadas para a produção desta pesquisa, a partir do exposto por Moraes (2012):

Figura 30: Estrutura da metodologia.

ETAPAS DA METODOLOGIA



Fonte: Adaptado de Moraes, 2012.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para fazer as composições foram: **água, areia, resíduo de bauxita e cimento Portland tipo CP-IV-Z-32-RS** da empresa Bravo. Para confecção das amostras usamos um molde plástico cilíndrico para corpos de prova de 40 x 28 mm, molde metálico retangular para corpos de prova de 80 X 20 X 10 mm, prensa hidráulica de 30 ton, proveta de 500 ml, balança eletrônica de 500 g e masseira.

4.1.1 Água

A água utilizada para realizar as composições foi proveniente da **CAEMA**, Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão.

4.1.2 Areia

Como agregado foi utilizada a areia natural quartzosa, proveniente do município de São Luís – MA.

4.1.3 Cimento Portland composto com Pozolana (CPIV Z 32-RS)

Neste estudo foi utilizado o cimento Bravo, cedido pela empresa CIMAR (Cimentos do Maranhão S/A), localizada no Distrito Industrial do município de São Luís, do tipo **CP- IV-Z-32- RS, Portland pozolânico, (RS) resistente a sulfato**, sendo esse produto amplamente utilizado pelo comércio de construção civil.

4.1.4 Resíduo de bauxita

Para este estudo, o resíduo de bauxita (ver Figura 31) utilizado foi de uma empresa fabricante de alumina no Maranhão.

Figura 31: Lagoa de lama vermelha



Fonte: HYDRO

4.2 Procedimentos metodológicos

4.2.1 Teste: resistência à compressão axial e flexão

Durante a preparação das amostras foram confeccionadas peças de formato cilíndrico, para os testes de compressão, e retangular, para os testes de flexão, com o objetivo de avaliar suas propriedades físico-mecânicas. As amostras foram preparadas no IFMA, Instituto Federal do Maranhão, no período de setembro a dezembro de 2019, onde houve a substituição da areia em **20%, 40% e 60%** pelo resíduo de bauxita, considerando a proporção de **1:1 de cimento e areia** usados pela fábrica de ladrilhos hidráulicos, conforme descrito na tabela 3. Os percentuais acima informados foram utilizados neste trabalho com o objetivo de avaliar o comportamento das peças ao ser acrescentada maior quantidade de resíduo de bauxita na composição.

Tabela 3: Percentuais de misturas das amostras dos experimentos.

Amostras	Cimento (%)	Areia (%)	Resíduo de bauxita (%)	Total (%)
Amostra 1 Padrão (0%)	50	50	0	100
Amostra 2 (20% da areia)	50	40	10	100
Amostra 3 (40% da areia)	50	30	20	100
Amostra 4 (60% da areia)	50	20	30	100

Fonte: Autor da pesquisa

As amostras foram preparadas segundo os percentuais previstos na tabela 3, que correspondem às quantidades mássicas (em g) de **cimento, de areia, água e resíduo de bauxita**, respectivamente, para obter um volume de argamassa. Esse ensaio foi replicado de acordo com a norma NBR 5738/2002, que rege o procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova (ABNT, 2003), porém foram utilizadas dimensões proporcionais ao corpo de prova, devido a limitação da disponibilidade de material.

Em cada amostra foram moldados dez corpos de prova de formato cilíndrico (ver Figura 32) para cada idade de ruptura; 3, 7 e 28 dias. Decorridas 24 horas, foi realizada a desmoldagem dos corpos de prova e imediata identificação de cada um deles. Em seguida, os corpos foram imersos e acondicionados em água até a realização dos ensaios de resistência à compressão axial.

Figura 32: Amostras para teste de resistência à compressão axial.



Fonte: Autor da pesquisa

4.2.2 Teste: Análise de fluorescência de raios X-FRX

Para a presente análise, a empresa de produção de alumina realizou o ensaio em seu laboratório, no qual o equipamento utilizado foi o espectrômetro de fluorescência de raios-X, **AFT Phoenix 6000** e a **VFD Phoenix 6000MD**. A identificação dos elementos presentes em cada amostra (ver Figura 33) foi realizada no sistema a vácuo. O preparo das amostras passou pela etapa de pulverização e secagem a $110^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Após essas etapas fez-se a mistura de 1.4000 ± 0.0005 g da amostra e 7.0000 ± 0.0005 g de fundente. Em seguida, a mistura foi homogeneizada, moldada em formato de pastilha e submetida à análise.

Figura 33: Teste resistência à compressão axial realizado.



Fonte: Autor da pesquisa

4.2.3 Teste: Análise de difração de raios X

Para a análise de difração de raios X, a empresa de produção de alumina realizou este ensaio com objetivo de determinar a fase cristalina formada. Uma massa de $9 \text{ g} \pm 0,0005$ da amostra foi pesada diretamente num frasco homogeneizador e levada para um aparelho **Homogeneizador Mixer-mill**, onde foi micronizada por 15 min, utilizando um meio refrigerante (30 mL de álcool etílico PA) com a finalidade de não alterar fases de elementos presentes na amostra, devido ao aquecimento provocado pelo atrito das partículas. Logos após, a amostra foi seca em estufa e prensada em formato de pastilha para leitura no difratômetro de raios-x.

4.2.4 A Granulometria ou Análise Granulométrica

A granulometria das amostras foi determinada segundo a Norma NBR 7217/1987 (Agregados - Determinação da composição granulométrica). Uma massa de 40 kg da amostra foi disposta em uma bandeja para secagem entre 105° e 110° C , onde foi colocada sobre a peneira superior do conjunto e promovida a agitação mecânica por um tempo de 20 minutos, a fim de permitir a **separação e classificação** prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra.

4.2.5 Teste de flexão para ladrilho hidráulico

A norma NBR 9457:2013 especifica que **cada peça** de ladrilho hidráulico **e um corpo de prova**, também menciona uma determinada resistência mínima que consegue uma qualidade do produto aceitável. Devido isso, foram confeccionadas quatro amostras, com o objetivo de avaliar algumas de suas propriedades físico-mecânicas. Os ladrilhos foram fabricados por numa empresa local com materiais do Instituto Federal do Maranhão, no período de dezembro de 2019, onde houve a substituição da areia em 20%, 40% e 60% pelo resíduo de bauxita, conforme descrito na anterior Tabela 3. Para concluir os testes, consultou-se também nas normas NBR 13818:1997 e ASTM C 1161 do 2002, devido que a versão 2018 e paga.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físico-químicas do resíduo de bauxita produzida no processo Bayer, da empresa produtora de alumina na região, são enfatizadas nesse trabalho levando em consideração o objetivo do estudo de **substituir parcialmente a areia como agregado fino** na confecção de ladrilhos hidráulicos, e avaliar seu comportamento quanto ao uso, levando em consideração os princípios do Design Sustentável. Desse modo, pode-se verificar abaixo os materiais utilizados na pesquisa, bem como suas propriedades.

5.1.1 Areia

A areia aplicada na formulação da composição de cada amostra apresenta as características físico-químicas descritas na tabela 4.

Tabela 4: Características físico-químicas da areia

Agregado	Areia
Massa específica solta	1,57 g/cm ³
Teor de material pulverulento	2,68%;
Massa específica	2, 646 g/cm ³
Teor de umidade	0,36%.
Material retido na peneira 25 mm	-----
Material retido na peneira 19 mm	-----
Material retido na peneira 12,5 mm	-----
Material retido na peneira 4,75 mm	0,12%
Material retido na peneira 2,36 mm	0,58%
Material retido na peneira 1,18 m	0,98%
Material retido na peneira 600 mm	4,18%
Material retido na peneira 300 mm	44,16%
Material retido na peneira de 150 mm	36,91%
Modulo de finura	1,45
Dimensão máxima	6,3 mm

Fonte: Laboratório da Cimentos do Maranhão S/A CIMAR

5.1.2 Cimento CP-IV-Z-32-RS

Nas tabelas 1, 2 e 3, apresentadas abaixo, é possível observar as propriedades físicas e mecânicas, bem como a análise química do cimento. Os resultados obtidos foram cedidos pelo laboratório da empresa **CIMAR**.

Tabela 5: Propriedades do cimento CP-IV-Z-32-RS.

Cliquer+gesso	Calcário	Pozolana
76 a 94%	0 a 10%	6 a 14%

Fonte: Laboratório da Cimentos do Maranhão S/A CIMAR

Tabela 6: Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP-IV-Z-32-RS.

Finura		Tempo de Pega		Expansibilidade		Resistência à compressão (MPa)			
Resíduo na peneira 75 mm(%)	Área específica (m2/kg)	Início (h)	Término (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
≤ 12,0	≥ 260	≥ 1	≤ 10	≤ 5	≤ 5	-	≥ 10	≥ 20	≥ 32

Fonte: Laboratório da Cimentos do Maranhão S/A CIMAR

Tabela 7: Análise química do cimento CP-IV-Z-32-RS.

Resíduo Insolúvel (%)	Perda ao fogo (%)	MGO (%)	SO3 (%)	CO2 (%)	S (%)
≤ 16,0	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 4,05	≤ 5,0	-

Fonte: Laboratório da Cimentos do Maranhão S/A CIMAR

5.1.3 Análise do resíduo de bauxita

De acordo com os resultados obtidos e a Norma (ABNT) NBR 6502/95, a distribuição granulométrica encontrada é **menor que 0,0074mm**, o que equivale a 99,12%, sendo uma granulometria extremamente fina, mais fina que o agregado fino areia.

Tabela 8: Distribuição granulométrica do resíduo de bauxita

Distribuição granulométrica	
Peneira de Malha (mm)	Material retido (%)
2	0,03
0,82	0,12
0,42	0,16
0,15	0,29
0,0074	0,24
<0,0074	99,12

Fonte: Autor da pesquisa

No que concerne à composição química, o resíduo de bauxita apresentou: 44,19% de teor residual de óxido de alumínio; 16,01% de óxido de ferro; 17,98% de óxido de silício; 7,5% de óxido de titânio; 3,73% de óxido de sódio; e 2,23% de óxido de cálcio, composição decorrente da geologia da bauxita originária das regiões de **Trombetas e Juruti no Estado do Pará**, conforme tabela 8. Essa análise foi realizada no laboratório da Universidade Federal do Maranhão.

Tabela 9: Análise química resíduo de bauxita

Componente (%)	Percentual
Al_2O_3	44,20
SiO_2	17,98
Fe_2O_3	24,36
TiO_2	7,5
Na_2O	3,73
CaO	2,23

Fonte: Autor da pesquisa

No presente trabalho medimos o PH da amostra e obtivemos o resultado de 12,4, indicando ser, portanto, um resíduo de alta basicidade, o que o classifica, de acordo com a NBR 10004/2004, como **resíduo classe I**, isto é, resíduo perigoso que apresenta riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

5.1.4 Resistência à compressão axial

Foi analisada a resistência à compressão axial dos três dias de curas. Também se analisou o comprimento, o diâmetro e a relação comprimento/diâmetro (C/D) a fim de verificar as possíveis variações quanto às dimensões. As medições finais foram feitas a partir de uma **média** dos resultados das amostras.

Tabela 10: Ensaio amostra de 3 dias

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			3 dias (MPa)
	Comprimento(mm)	Diâmetro (mm)	C/D	Resistência
A1 (Referência)	39,91	27,62	1,44	8,86
A2 (20%)	40,22	27,46	1,46	5,37
A3 (40%)	40,11	27,56	1,46	4,80
A4 (60%)	39,91	27,45	1,45	6,25

Fonte: Autor da pesquisa

Tabela 11: Ensaio *amostra de 7 dias*

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			7 dias (MPa)
	Comprimento(mm)	Diâmetro (mm)	C/D	
A1 (Referência)	39,93	27,45	1,45	8,20
A2 (20%)	39,95	27,46	1,45	4,00
A3 (40%)	40,38	27,61	1,46	4,70
A4 (60%)	39,95	27,67	1,44	5,45

Fonte: Autor

Tabela 12: Ensaio *amostra de 28 dias*

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			28 dias (MPa)
	Comprimento(mm)	Diâmetro (mm)	C/D	
A1 (Referência)	40,15	27,45	1,46	7,50
A2 (20%)	39,52	27,40	1,44	6,95
A3 (40%)	39,83	27,23	1,46	8,83
A4 (60%)	40,14	27,75	1,45	6,55

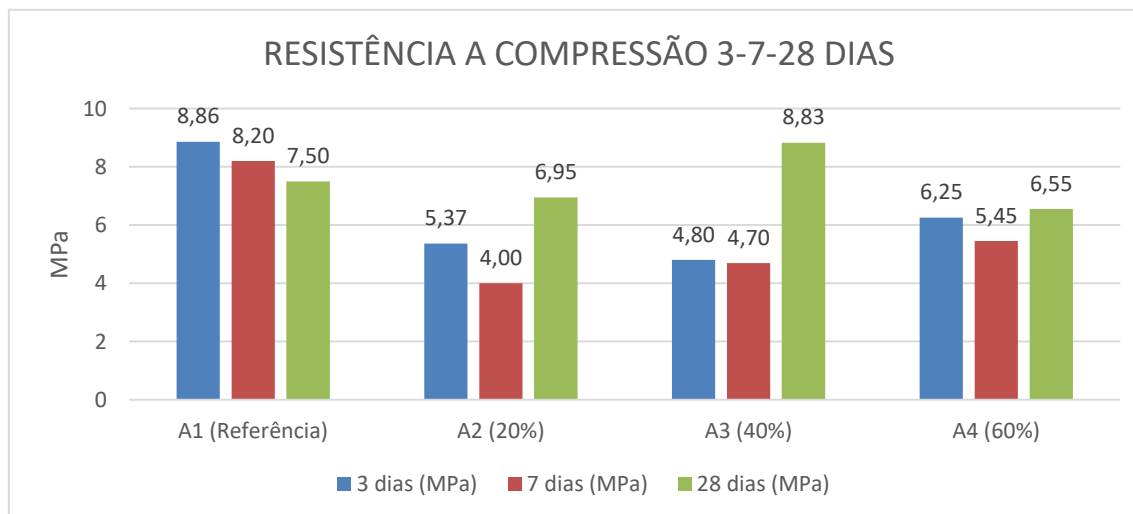
Fonte: Autor da pesquisa

Tabela 13: Ensaio *amostra de 28 dias*

AMOSTRAS	3 dias (MPa)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
A1 (Referência)	8,86	8,20	7,50
A2 (20%)	5,37	4,00	6,95
A3 (40%)	4,80	4,70	8,83
A4 (60%)	6,25	5,45	6,55

Fonte: Autor da pesquisa

Gráfico 1 - Média (MPa) dos resultados resistência à compressão axial



Fonte: Autor da pesquisa

Pode-se observar que as dosagens com composições de 20%, 40% e 60% de resíduo de bauxita das diferentes curas tiveram uma diminuição de resistência com o tempo. Com exceção da composição de 40% de RB, a qual teve um **aumento de resistência** superior à amostra A1 Referência na idade de 28 dias de cura, não apresentando uma diferença significativa na mistura de 60% dessa cura, de acordo com seu padrão.

5.1.5 Análise de fluorescência de raios X-FRX

Foi observado também que a presença dos óxidos de silício, SiO_2 , e cálcio, CaO , influenciaram diretamente na composição dos principais minerais do cimento. O elevado teor de cal livre (CaO) no cimento pode provocar **efeitos expansivos** no concreto, devido ao aumento de volume do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 resultantes da hidratação da cal na amostra com 28 dias de cura.

Tabela 14: Elementos químicos na **amostra de 28 dias** de cura

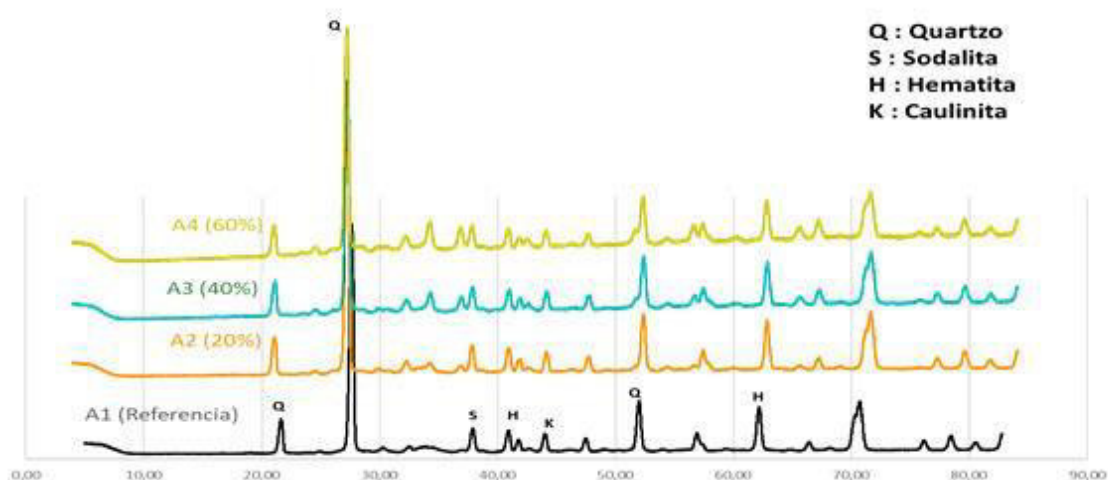
Amostras	Cura com 28 dias			
	A1 (0%)	A2(20%)	A3(40%)	A4(60%)
Al₂O₃	5,3	8,59	9,1	9,79
SiO₂	78,29	61,28	64,07	63,41
Fe₂O₃	2,14	5,72	6,29	7,24
TiO₂	0,24	0,53	0,92	0,89
Ga₂O₃	0	0	0,0009	0,0015
MnO	0,03	0,067	0,034	0,025
ZrO₂	0,025	0,054	0,08	0,073
Na₂O	1,18	4,252	5,029	5,109
CaO	12,099	18,6019	13,4	12,68
SO₃	0,562	0,746	0,502	0,594
P₂O₅	0,157	0,111	0,134	0,149
V₂O₅	0,025	0,032	0,033	0,037
Cr₂O₃	0,011	0,013	0,014	0,014

Fonte: Autor

5.1.6 Análise de difração de raios X

Identificou-se, quantitativamente, nas fases cristalinas presentes nas composições a presença da **gibbsita, quartzo, calcita, alita e belita**, em todas as amostras. Quando se analisou os picos existentes no difratograma, constatou-se que, quando se substitui gradativamente a areia pelo resíduo da bauxita, há uma redução da gibbsita, da belita e do quartzo, que têm influência direta na resistência à compressão do material, conforme pode ser observado no gráfico abaixo. Observa-se com isso que a adição do resíduo da bauxita na argamassa com o cimento CP-IV-Z-32-RS não gerou a formação de novas fases cristalinas na amostra com 28 dias de cura, como se pode observar Gráfico 2.

Gráfico 2: DRX das composições

DRX – Amostras das composições

Fonte: Autor da pesquisa

5.1.7 Teste: resistência à flexão

A resistência à flexão (no MPa) foi determinada pelo rompimento dos corpos de prova de formato retangular nas respectivas idades: 3, 7 e 28 dias depois da cura úmida. A altura dos corpos foi obtida a partir da medida da camada inferior dos ladrilhos hidráulicos e correspondeu a 10 mm. A largura e o comprimento foram de 20 mm e 80 mm, respectivamente, determinados por um molde metálico padrão. As medições finais foram feitas a partir de uma **média dos resultados das amostras**.

Tabela 15: Ensaio Flexão *amostra* de 3 dias de cura

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			3 dias (MPa)
	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	
A1 (Referência)	10,10	20,10	80,30	0,080
A2 (20%)	10,20	20,15	80,10	0,097
A3 (40%)	10,00	20,20	80,20	0,086
A4 (60%)	10,10	20,10	80,30	0,088

Fonte: Autor da pesquisa

Tabela 16: Ensaio Flexão *amostra* de 7 dias de cura

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			7 dias (MPa)
	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	
A1 (Referência)	10,10	20,00	80,15	0,080
A2 (20%)	10,15	20,10	80,10	0,087
A3 (40%)	10,12	20,10	80,12	0,111
A4 (60%)	10,10	20,10	80,13	0,110

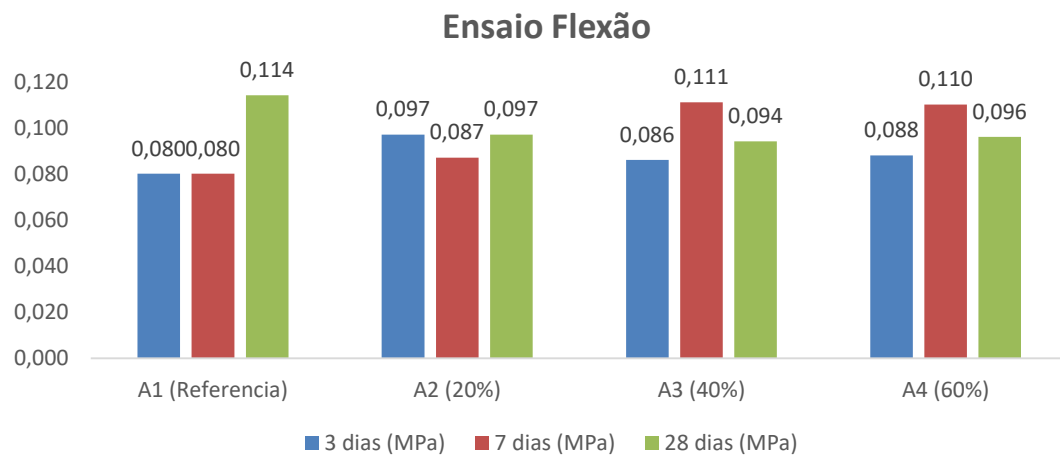
Fonte: Autor da pesquisa

Tabela 17: Ensaio Flexão *amostra* de 28 dias de cura

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			28 dias (MPa)
	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	
A1 (Referência)	10,15	20,10	80,10	0,114
A2 (20%)	10,15	20,15	79,99	0,097
A3 (40%)	10,13	20,10	79,98	0,094
A4 (60%)	10,12	20,10	80,00	0,096

Fonte: Autor da pesquisa

Gráfico 3 - Média (MPa) dos resultados resistência à flexão

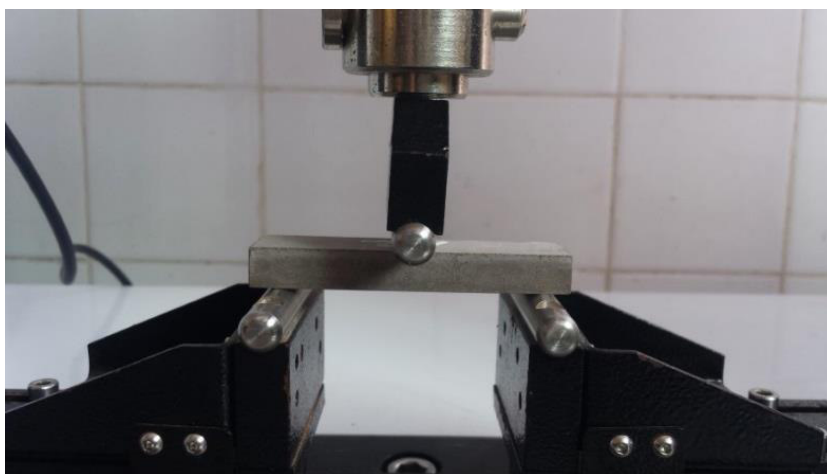


Fonte: Autor da pesquisa

Pode-se observar que as dosagens com composições de 20%, 40% e 60% de resíduo de bauxita das curas correspondentes a 3 e 7 dias tiveram um aumento de resistência com o tempo, sendo essa última idade a que mais diferenciou-se de seu padrão, uma vez que nos 3 dias de cura **obteve-se um aumento** e, posteriormente, uma diminuição, ficando mais próximo do padrão.

As composições de 20%, 40% e 60% de resíduo de bauxita, tiveram uma diminuição de resistência, comparando com 0% de resíduo de bauxita na idade de 28 dias de cura, não apresentando uma diferença significativa na mistura de 40%, mas aumentando um pouco na composição de 60% ao final, sendo insuficiente para aproximar-se do padrão (ver Figura 34).

Figura 34: Teste resistência à flexão.



Fonte: Autor da pesquisa

5.1.8 Teste para ladrilho hidráulico

Para a preparação das amostras, utilizou-se os seguintes percentuais: **A1** (padrão) com 0% de R.B. da areia, **A2** com 20%, **A3** com 40% e **A4** com 60%, adotando-se o formato de ladrilho hidráulico correspondente a 200 X 200 X 18 mm. O teste realizado teve como objetivo avaliar a resistência à flexão das peças a partir das diferentes misturas com o resíduo em foco, comparando-as com seu padrão ou peça comercial sem a lama vermelha.

Os procedimentos de produção das amostras de ladrilhos obedeceram às **etapas descritas anteriormente na revisão bibliográfica**: primeiro, colocou-se a calda pigmentada com resíduo de bauxita de acordo as proporções da Tabela 18; posteriormente ocorreu a retirada do molde, na qual formou-se um desenho a partir da calda pigmentada, neste caso, em superfície lisa, uma vez que consiste na melhor forma para realização dos testes, face que receberá a próxima camada constituinte, intermediária ou secante feita somente de cimento e areia. Em seguida, colocou-se a camada inferior, fundo ou taroz, considerando também as proporções da Tabela 16; na sequência, deu-se o processo de mescla e de prensagem; remoção da nova peça da fôrma, utilizando-se de outro ladrilho; remoção do novo ladrilho da base da fôrma; apresentação do ladrilho hidráulico ainda sem resistência; e armazenamento do ladrilho hidráulico em prateleiras, para após 12h dar seguimento à cura úmida (ABCP, 2010).

Tabela 18: Percentuais de misturas das amostras de ladrilho hidráulicos

Amostras	Cimento (%)	Areia (%)	Resíduo de bauxita (%)	Total (%)
Amostra 1 Padrão (0% R.B. da areia) ^o	50	50	0	100
Amostra 2 (20% R.B. da areia) ^t	50	40	10	100
Amostra 3 (40% R.B. da areia) ^f	50	30	20	100
Amostra 4 (60% R.B. da areia) ⁿ	50	20	30	100

Fonte: Autor da pesquisa

Figura 35: Amostras 200 X 200 X 18 mm



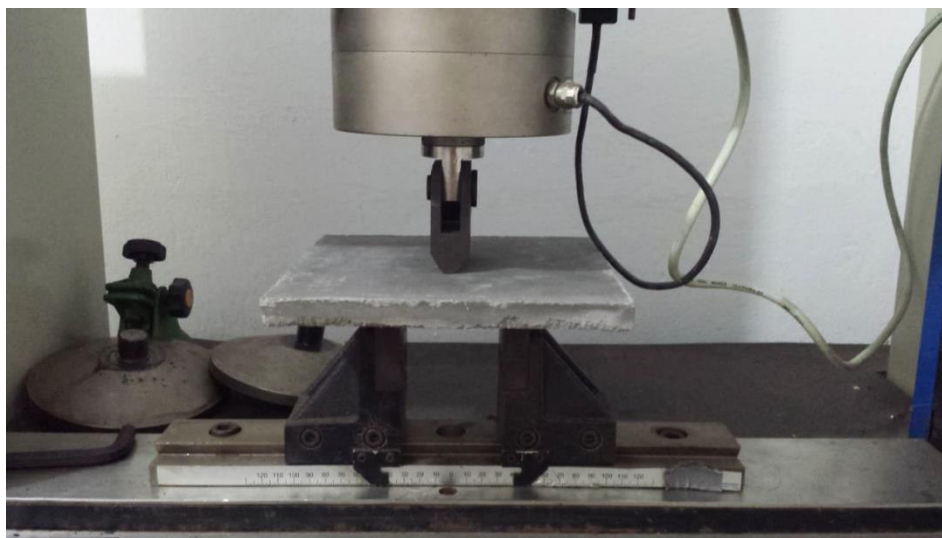
Fonte: Autor da pesquisa

Conforme explicitado anteriormente, segundo a norma NBR 9457:2013, as amostras devem obter um **mínimo de 3,5 Mpa** com **18 mm de altura** nos testes de resistência à flexão. Para tanto, apoiamo-nos ainda nas normas *NBR 13818:1997* e ASTM C 1161 do ano 2002 para auxiliar nessa tarefa. Assim, foi realizado no Laboratório de Cerâmica, da Universidade Estadual do Maranhão, os referidos testes em uma máquina *EMIC DL10000* (ver Figuras 36 e 37).

Figura 36: Teste resistência à flexão no *EMIC DL10000*

Fonte: Autor da pesquisa

Figura 37: Teste resistência à flexão A1



Fonte: Autor da pesquisa

Tabela 19: Resultados amostras *ladrilho hidráulico* de 28 dias de cura

AMOSTRAS	Dimensão (mm)			28 dias (MPa)
	Altura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	
A1 (Padrão 0%)	18	200	200	3,2
A2 (20%)	18	200	200	3,4
A3 (40%)	18	200	200	3,7
A4 (60%)	18	200	200	3,5

Fonte: Autor da pesquisa

A partir dos resultados obtidos é possível depreender que as resistências coincidiram com os testes anteriores, observando-se um aumento nelas em comparação com a peça padrão, que incrementa até a Amostra 3 (três), com o total de 40% de R.B. e decresce na Amostra 4 (quatro), mas sem diminuir a resistência mínima requerida pela norma NBR 9457:2013, que é de **3,5 MPa**.

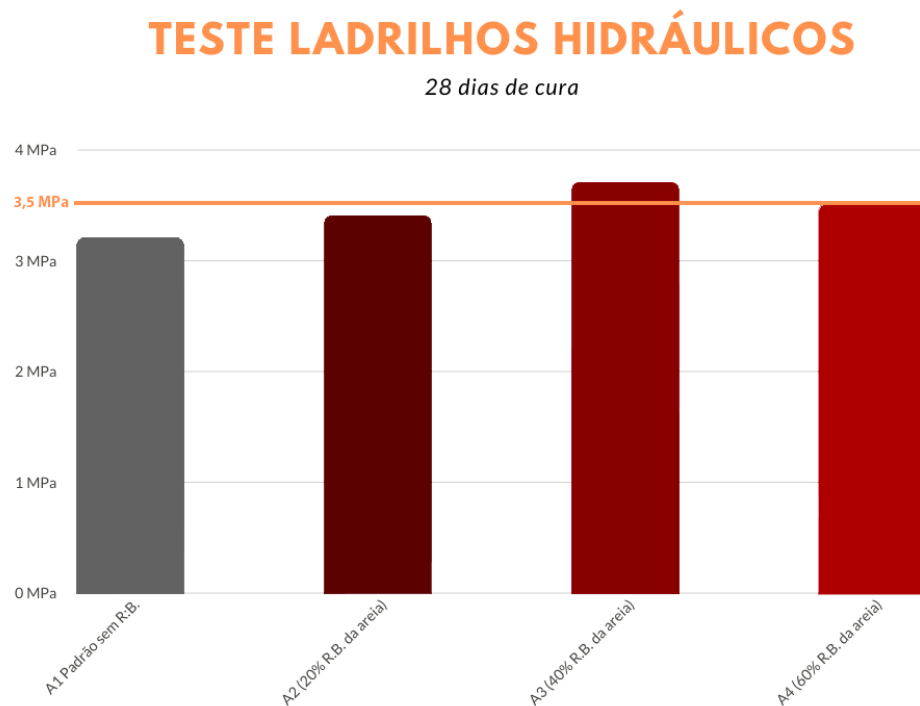
Figura 38: Testes feitos A1, A2, A3 e A4, respectivamente.



Fonte: Autor da pesquisa

Até o momento é factível o adicionamento de R.B. na mistura, o que ocasiona o aumento da resistência das amostras, ao passo que também promove a pigmentação das mesmas. Considera-se a Amostra 3 (três) como a que conseguiu ultrapassar os **3,5 Mpa** (ver Gráfico 4).

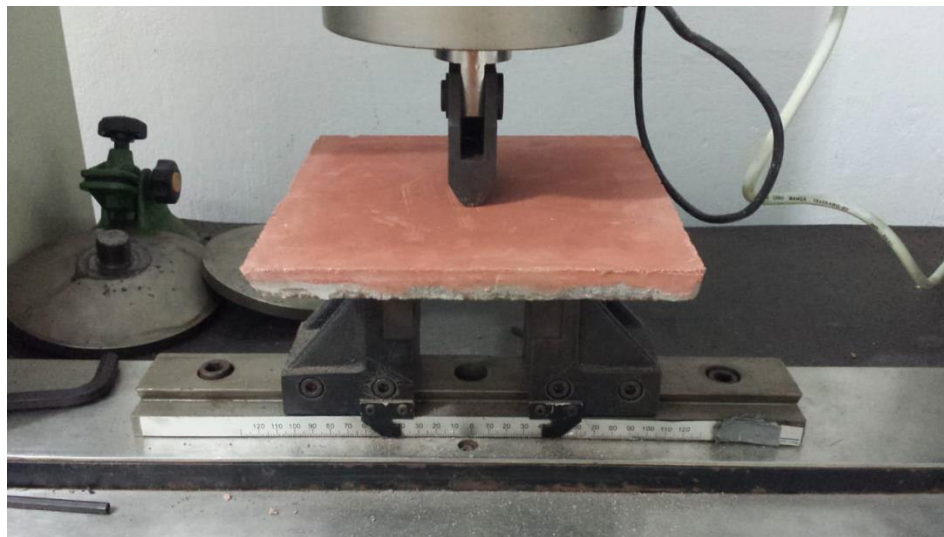
Gráfico 4: Média (MPa) dos resultados resistência à flexão ladrilhos hidráulicos.



Fonte: Autor da pesquisa

A partir da imagem acima, é possível observar que as dosagens com composições de 20%, 40% e 60% de resíduo de bauxita, com 28 dias de cura, tiveram um aumento de resistência comparado com o padrão de 0% de R.B. As composições A3 e A4 conseguiram o mínimo exigido pela norma NBR 9457:2013. A primeira ultrapassando os **3,5 Mpa** e a segunda cumprindo com o mínimo da resistência estabelecida.

Figura 39: Teste resistência à flexão A3.



Fonte: Autor da pesquisa

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A resistência mecânica à compressão é medida por meio de uma Unidade de Teste Universal da Universidade Federal do Maranhão, utilizando a norma NBR 5739/2018 para gerar corpos de prova cilíndricos em menor escala, devido aos recursos disponíveis. Nesse teste, foi possível identificar um aumento de resistência, na idade final de cura correspondente a 28 dias, resultando na substituição de 40% da areia por resíduo de bauxita (amostra 3) pelo registro com 0% de lama vermelha (amostra 1), **excedendo-o em 18% em MPa resistido**. O mesmo não foi observado na substituição de 60% (amostra 4), que diminuiu 13% em comparação com os cilindros padronizados, evidenciando, de acordo com o primeiro dos objetivos da pesquisa, a factibilidade de adicionar lama vermelha até 20% da mistura total de uma composição cerâmica.

Na resistência mecânica à flexão, algo semelhante aconteceu nos 7 dias de cura, em que se observou um **aumento de acordo com o padrão de 39%** nos corpos de prova, com 40% e 60% de substituição do resíduo de bauxita, evidenciando, mais uma vez, sua viabilidade de integração, coincidindo e mantendo-se o resultado da amostra 3 (40%) e amostra 4 (60%). Para isso, foi replicada a dimensão da camada inferior do tijolo hidráulico correspondente a 10 mm, para os corpos de prova, devido à impossibilidade de simular nesse formato todas as camadas que compõem esse produto, aproximando-se da NBR 9457:2013.

A partir dos dados desses testes, destaca-se que a composição que apresentou maior resistência à compressão foi a mistura de 40% de resíduo de bauxita, após os 28 dias de cura úmida. No teste de flexão, a composição que apresentou maior resistência à flexão foi também a mistura de 40% de resíduo de bauxita, após 7 dias de cura úmida, mantendo seu número de MPa para a composição de 60%. Para justificar tal resultado, destaca-se o maior **empacotamento de sua estrutura cristalina**, devido à granulometria da lama, fornecendo maior resistência e proporcionando isotropia ao material. Ou seja, quanto menos espaços vazios existam na mistura, maior será sua resistência. (FRANCO, 2014).

Na análise de fluorescência de raios X-FRX, observou-se também que a presença dos componentes do resíduo de bauxita influencia diretamente na composição dos principais minerais do cimento e pode provocar efeitos expansivos no concreto na amostra com 28 dias de cura. Em alguns casos, nessas mudanças, é observado um **aumento de resistência**, aspecto positivo para comparar com o produto de mercado.

Na análise de difração de raios X, identifica-se, qualitativamente, nas fases cristalinas existentes nas composições, a presença da **gibbsita, quartzo, calcita, alita e belita** em todas as amostras. Esses elementos têm influência direta na resistência à compressão do material, dando resistência à peça no caso da cura de 28 dias.

No teste de flexão para ladrilhos hidráulicos, confirmou-se que se pode adicionar resíduo de bauxita nas diferentes camadas que conformam a peça, emulando a técnica tradicional quase sem modificações, inclusive **fortalecendo mais ainda** com essa mistura e **outorgando pigmentação** que varia de acordo com a quantidade de lama integrada e tipo de cimento usado.

Semelhante aos outros testes de resistência à compressão axial e à flexão realizados com formato pastilha de 80 X 20 X 10 mm, o ladrilho hidráulico apresentou-se como uma **forma de fortalecer a peça**, especialmente com a mistura de A3 (40% de resíduo de bauxita) no qual o incremento foi maior, superando em 16% o MPa resistido se comparado ao corpo padrão. É por essa razão que essa mistura foi escolhida como a melhor composição no que concerne aos seus benefícios estruturais, meio ambientais, estéticos e econômicos, demonstrando conformidade com os regulamentos para **uso prático e comercial** desse produto (NBR 9457:2013).

Assim, 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.

Além disso, apresentam-se, conceitualmente, as contribuições dessa iniciativa para a sustentabilidade de projetos, empresas e governos no âmbito da melhoria da emissão de carbono, o que possibilita a geração de produtos ecológicos e contribui para a redução dos resíduos poluentes existentes e coletados em áreas de risco. Operar dessa maneira significa colocar em ação o processo de desmaterialização da demanda social de bem-estar. Sob esse termo, entendemos que é necessária uma drástica redução da intensidade material do resíduo de bauxita para atingir esse bem-estar socialmente aceitável, aumentando a inteligência do sistema produtivo dos geradores de resíduos industriais por meio da **ecologia industrial** e **design sustentável**. (MANZINI; VEZZOLI, 2011).

Como sugestões para trabalhos futuros, propõem-se a:

- Realização de testes de propriedade de pigmentação do resíduo de bauxita nas misturas cerâmicas;
- Experimentação com outros resíduos afins, como é o caso do resíduo de cobre, utilizando-se esta metodologia;
- Experimentação da lama vermelha com outros formatos cerâmicos;
- Aprofundamento na filosofia do Design Sustentável;
- Realização de testes de comportamento da lama através do tempo, de modo a assegurar sua adição aos produtos de Design;
- Verificação do impacto ambiental na substituição de areia ou cimento pelo resíduo de bauxita;
- Diminuição do impacto ambiental da própria pesquisa;
- Utilização somente das normas ABNT para investigações futuras;
- Proposição de modelos de economia circular no entorno da geração de resíduos industriais, a partir do ponto de vista do Design Sustentável, levando em consideração fatores como transporte, disposição e periodicidade do resíduo de bauxita, especialmente no que concerne à população próxima aos depósitos de lama vermelha.

7 REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. Materials and design: the art and science of material selection in product design. Amsterdam: Elsevier/Butterworth Heinemann, 2011, p.3, 4, 9, 10, 12, 54.

Associação Brasileira do Alumínio. História do alumínio. Disponível em: <http://abal.org.br/aluminio/%20historia-do-%20aluminio/>. Acesso em: 10. dez. 2018.

ABCP. (Associação Brasileira de Cimento Portland). Manual de ladrilho Hidráulico. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualLadrilhoHidraulico.pdf>. Acesso em: 05. mar. 2019.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5751 - Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211 – Agregados para concreto - Especificação. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9457 – Ladrilhos Hidráulicos para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação. 2004.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13818 – Placas cerâmicas para revestimento - Especificação e métodos de ensaios. 1997.

ANTUNES, M.L.P.; CONCEIÇÃO, F. T DA; NAVARRO, G.R.B. Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de suas Propriedades para Futuras Aplicações. *In: Cleaner production initiatives and challenges for a sustainable world*. São Paulo, 2011. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sexoes/6B/4/Antunes_MLP%20-%20Paper%20-%206B4.pdf. Acesso em: 10 de outubro 2019.

American Society for Testing and Materials. C 1161 - Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature – Texas, 2002.

BALDEON TIMOTEO, Nataly et al. Soporte catalítico para la obtención de la alumina. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú, 2012

BARRAGÁN, Horacio Luis. Desarrollo, salud humana y amenazas ambientales: la crisis de la sustentabilidad. - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2010.

BENNETT, J. Global Ecological Crisis: Structural Violence and the Tyranny of Small Decisions. Addressing Global Environmental Challenges from a Peace Ecology Perspective. (vol. 4 of the series the Anthropocene: Politik—Economics—Society—Science, pp. 55 - 75), México 2016.

CALEGAR, E. P; OLIVEIRA, B.F. de. Um estudo focado na relação entre design e materiais. Revista projetica, Londrina, V.4, nº1, p. 49-64, Jan/Jun. 2013. páginas. 50, 54, 57. Disponível em:
<www.uel.br/revistas/uel/index.php/projetica/article/download/14348/13418> Acesso em 1 de Abril de 2020.

CARDOSO, José Guilherme da Rocha et al. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. Biblioteca Digital BNDES. 2011. Disponível em:
<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2499>. Acesso em: 10. dez. 2018.

CARVALHO, Luciana. Ladrilhos hidráulicos de Corumbá. IPHAN, CNFCP. Rio de Janeiro, 2008. 36 p. il. – (Sala do Artista Popular ; n. 146). 1998.

CAVALCANTE, Ana Luisa Boavista Lustosa et al. Design para a Sustentabilidade – um conceito interdisciplinar em construção. Projética Revista Científica de Design. Londrina, v.3, n.1, jul., 2012, p. 252-263.

CECCATO, D.M. et al. Reciclaje de escoria granulada de fundición (EGF) como sustitución de parte del cemento en hormigón. In: Revista Matéria, v. 14, n. 1, p. 737–748, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/20762>. Acesso em: 08 de setembro 2019.

CHAVES, A. G. A lama vermelha e sua eliminação da fábrica de alumina. 2º semana de estudos. Alumínio e Zinco. Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos dos Alunos da Escola de Minas de Ouro Preto.Ouro Preto.1962.

CLARO, Priscila Borin de Oliveira; CLARO, Danny Pimentel; AMÂNCIO, Robson. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. Revista de Administração da Universidade de São Paulo. v. 43, n.4, p.289-300, out.-dez., São Paulo 2008.

CORFO (Corporación de Fomento de la Construcción). Programa Construye 2025, 2019. Disponível em; www.corfo.cl. Acesso em: 20.dez.2019.

DIAS, M. R. A. C. Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação permatus. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) -

Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009, p. 2.

DONAIRE, D. Gestão ambiental na empresa. São Paulo: Atlas. 1995.

FÁBRICA DE MOSAICOS. Ladrilhos Hidráulicos. Disponível em: www.fabricademosaicos.com.br. Acesso em: 20 setembro 2019.

FRANCO, L. C., SANTOS, D. H., ROSA, P. P. G., SILVA, G. J. B., PEIXOTO, R. F. Aplicação de resíduo de mineração como agregado para a produção de concreto. In: Anais do 56 Congresso Brasileiro do Concreto, ISSN 2175-8182. p. 2175-8182. 2014.

FEATHERS, J., JOHNSON, J., y KEMBEL, S. Luminescence dating of monumental stone architecture at Chavín de Huántar, Perú. *Journal of Archaeological Method and theory*, 15 (3), 266-296, 2008.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. Economia Circular. Disponível em: www.gbcbrasil.org.br. Acesso em: 11 janeiro 2020.

HABASHI, F. A short history of hydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, 2005.

HYDRO. Bauxita e alumina. Disponível em: hydro.com/pt-BR. Acesso em: 08 janeiro 2020.

INFOBAE. ¿Qué materiales de construcción son más fáciles de reciclar? 2019. Disponível em: <https://www.infobae.com/economia/real-estate/2019/10/21/que-materiales-de-construccion-son-mas-faciles-de-reciclar/> Acesso em: 20.dez.2019.

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

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS) y Organización Mundial de la Salud: División de Salud y Ambiente. Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington, DC, 2005.

PEDROSA, S. B. M. Projeto e implantação da área de disposição de resíduos de Bauxita #3 da Alumar. 1999.

PARAMGURU, R. K.; RATH, P. C.; MISRA, V. N., Trends in red mud utilization - A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 26, (1), 1-29, 2004.

MARQUES, J. de S. Estudo do processo de produção de ladrilhos hidráulicos visando à incorporação de resíduos sólidos. 2012. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. MARTÍNEZ CENTENO, Luis M. "Minimización". Módulo: Resíduos, 2007-2008.

MÁRTIRES, R. A. C. (2001). Alumínio. Balanço Mineral Brasileiro, DNPM.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. Tradução: Astrid de Carvalho. 1ª ed. 3ª reimpr. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2011.

MERCURY, J. M. R; GALDINO, L. G.; VASCONSELOS, N. S. L. S.. Estudo do comportamento térmico e propriedades físico-mecânicas da lama vermelha. Revista Matéria. v. 15, n. 3, p. 445 – 460, 2010.

MORAES. R. S., Análise de sistemas mistos de concreto armado e alvenaria. 2012 174 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, 2012.

PALOS RODRÍGUEZ, José. Educación y desarrollo sostenible. OEI Educación y Valores. Universidad de Barcelona., 2009.

RIVAS MERCURY, J.M. ; 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, pp. 445 – 460, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v15n3/07.pdf>. Acesso em: 19 de setembro 2019

RODRIGUES, Janice Accioli Ramos; BELLIO, Liliana; ALENCAR, Camila Osugi Cavalcanti de. SUSTENTABILIDADE NO DESIGN: A transversalidade das teorias filosóficas e suas articulações na contemporaneidade complexa. ModaPalavra E-periódico. Ano 6, n.9, jan.-jul., 2012, p. 95 -115.

SACHS, Ignacy. Sociedade, cultura e meio ambiente. Mundo & vida, v. 2, 2000. Disponível em: <http://ambiental.adv.br/ufvjm/ea2012-1sachs.pdf>. Acesso em: 15 maio. 2019.

SÁEZ, Alejandrina; URDANETA G., Joheni A. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. Revista Omnia, vol. 20, n. 3, 2014, p. 121-135. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

SANTOS, Maira Judith Contreras. Evaluación de experiencias locales urbanas desde el concepto de sostenibilidad: el caso de los desechos sólidos del municipio de Los Patios (Norte de Santander, Colombia). Trabajo Social, n. 10, p. 109-134, 2008.

SOLFA, Federico Del Giorgio; LAGUNAS, Federico Ernesto; LASALA, Ana Inés. Informe Científico Final: Diseño sustentable: la industria, los consumidores y los profesionales del diseño industrial en el desarrollo de productos y en la preservación del medio ambiente. Palma de Mallorca: Ediciones de la Fundació Càtedra Iberoamericana, 2011.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Mineração e refino de resíduos de bauxita. Disponível em: www.usgs.gov. Acesso em: 03 setembro 2019.

VICTORIA URIBE, Ricardo; SANTAMARÍA ORTEGA, Arturo; RUBIO TOLEDO, Miguel Angel. Diseño Sustentable, experiencias y reflexiones sobre su enseñanza. *In: Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 2007.

WEBSTER, Ken. Economía circular. Crator Space Tour, Basf, Barcelona, 2015.

ZENTENO, HERRERA, GUTIERREZ, Utilización de escoria de cobre en remplazo a la arena para ladrillos de hormigón. Universidad Técnica Federico Santa María, Viña del Mar, Chile, 2018.

Torres, Rodrigo Andrés Martínez

Reciclagem de resíduos da bauxita em ladrilhos hidráulicos –
São Luis, 2020.

Xx f.: il.

Dissertação de Mestrado – Curso de Design, Universidade
Federal do Maranhão – São Luis – UFMA, 2020.

1 Reciclagem de resíduos da bauxita em ladrilhos hidráulicos.
I. Título.

CDU -----