

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO  
PAULO – CAMPUS CARAGUATATUBA

BRUNO FERNANDES CONTI

TIPOS, TRATAMENTOS E APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL DO RESÍDUO  
LAMA VERMELHA NO BRASIL

CARAGUATATUBA

2022

BRUNO FERNANDES CONTI

TIPOS, TRATAMENTOS E APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL DO RESÍDUO  
LAMA VERMELHA NO BRASIL

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Caraguatatuba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Ricardo Soares Mota Silva

Coorientador (a): Prof. Me. Luis Mateus Genova

Coordenador (a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis

CARAGUATATUBA

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Serviço de Biblioteca e Documentação do IFSP Câmpus Caraguatatuba

C762t Conti, Bruno Fernandes  
Tipos, tratamentos e aplicações na Engenharia Civil do  
resíduo lama vermelha no Brasil. / Bruno Fernandes Conti.. --  
Caraguatatuba, 2022.  
54 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Soares Mota Silva.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em  
Engenharia Civil) -- Instituto Federal de São Paulo,  
Caraguatatuba, 2022.

1. Engenharia Civil. 2. Resíduos. 3. Bauxita. 4. Alumínio. 5.  
Construção civil. I. Silva, Ricardo Soares Mota, orient. II.  
Instituto Federal de São Paulo. III. Título.

CDD: 624

ATA N.º 44/2021 - CTMA-CAR/DAE-CAR/DRG/CAR/IFSP

Ata de Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **TIPOS, TRATAMENTOS E APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL DO RESÍDUO LAMA VERMELHA NO BRASIL** apresentado(a) pelo(a) aluno(a) **Bruno Fernandes Conti (CG1700839)** do Curso **SUPERIOR EM BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL (Câmpus Caraguatatuba)**. Os trabalhos foram iniciados às **09:00** pelo(a) Professor(a) presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

Membros	IES	Presença (Sim/Não)	Aprovação/Conceito (Quando Exigido)
<b>Ricardo Soares Mota Silva</b> (Presidente/Orientador)	IFSP	Sim	Aprovado
<b>Luis Mateus Genova</b> (Examinador interno/Coorientador)	IFSP	Sim	Aprovado
<b>Vassiliki Terezinha Galvao Boulomytis</b> (Examinadora interna)	IFSP	Sim	Aprovado
<b>Leandro Cesar de Lorena Peixoto</b> (Examinador Interno)	IFSP	Sim	Aprovado

Observações:

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo da monografia, passou à arguição do(a) candidato(a). Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo(a) aluno(a), tendo sido atribuído o seguinte resultado:

[ X ] Aprovado(a)                      [ ] Reprovado(a)

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos às 10:20 e, para constar, eu lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Câmpus Caraguatatuba, 20 de dezembro de 2021

Documento assinado eletronicamente por:

- **Ricardo Soares Mota Silva**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/12/2021 15:37:05.
- **Luis Mateus Genova**, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 20/12/2021 15:45:19.
- **Vassiliki Terezinha Galvao Boulomytis**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/12/2021 16:52:58.
- **Bruno Fernandes Conti**, CG1700839 - Discente, em 20/12/2021 17:26:36.
- **Leandro Cesar de Lorena Peixoto**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/12/2021 19:00:40.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/12/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 275446  
Código de Autenticação: 95f076215b



Dedico esta dissertação aos meus pais João e Kadja e a meus familiares, que me motivaram a trilhar o caminho ideal para a conclusão deste trabalho.

Também dedico a meu orientador Ricardo Soares Mota Silva, por sua competência, atenção e disponibilidade no andamento do trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado discernimento e sabedoria para que nunca perdesse o foco.

Aos meus pais, meu irmão e familiares por me incentivar e me guiar neste trabalho e em minha vida.

Aos meus colegas, em especial ao André da Silva Mendes, por estar ao meu lado no desenvolvimento desse trabalho e em todo o decorrer do curso.

Agradeço a minha namorada Nicolly Siqueira Melo por sempre me dar apoio e motivação.

Agradeço aos orientadores Ricardo Soares Mota Silva e Luis Mateus Genova e a coordenadora do curso de Engenharia Civil Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis por me ajudarem no desenvolvimento do trabalho, com muita atenção e disponibilidade.

Por fim, agradeço a todos que ajudaram direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

A lama vermelha é o resíduo proveniente do processo industrial de beneficiamento da bauxita para a obtenção da alumina. Ela é descartada no meio ambiente sem tratamento prévio, afetando toda a área ao redor, impedindo o nascimento de vegetação e podendo poluir águas subterrâneas. Pesquisadores tem investido esforços para reaproveitar o resíduo, principalmente na área da construção civil em artefatos cerâmicos, argamassas cimentícias e agregados sintéticos. O resíduo para ser implantado deve passar por processos de caracterização e tratamento. Diversas técnicas são usadas, dentre as de caracterização as que se destacam são Difractometria de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Fluorescência de Raios-X (FRX), Granulometria, Termogravimetria (TGA) e teste de pH. Já entre os tratamentos as técnicas que se destacam são tratamentos térmico, moagem, calcinação e controle de pH, tornando assim viável sua incorporação e homogeneização a outras misturas.

## **ABSTRACT**

Red mud is the residue from the industrial process of turning bauxite to obtain alumina. It is discarded into the environment without prior treatment, affecting the entire surrounding area, preventing the birth of vegetation and potentially polluting groundwater. Researchers have invested efforts to reuse the residue, mainly in the area of civil construction, in ceramic artifacts, cementitious mortars and synthetic aggregates. The residue to be implanted must go through characterization and treatment processes. Several techniques are used, among the characterization ones that stand out are X-Ray Diffractometry (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), X-Ray Fluorescence (FRX), Granulometry, Thermogravimetry (TGA) and pH test. Among the treatments, the techniques that stand out are heat treatments, grinding, calcination and pH control, thus making its incorporation and homogenization into other mixtures viable.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados de reciclagem de latas de alumínio nos EUA, Média Europa, Japão e Brasil. ....	13
Figura 2 - Processo Industrial da Bauxita.....	14
Figura 3 - Processo Hall- Héroult.....	17
Figura 4 - Lagoa de disposição da lama vermelha.....	18
Figura 5 - Apresentação da metodologia de trabalho utilizada.....	23
Figura 6 - Crescimento do acervo acadêmico entre Resíduos e Construção Civil entre os anos de 1990 a 2019. ....	27
Figura 7 - Crescimento do acervo acadêmico entre Resíduos, Construção Civil e Lama Vermelha entre os anos de 1990 a 2019. ....	27
Figura 8 - Percentual das empresas que cederam a lama vermelha para estudos. ....	29
Figura 9 - Contaminação de Lama Vermelha no Rio Murucupi em Barcarena/PA.....	30
Figura 10 – Caracterizações divididas de acordo com propriedades químicas e físicas. ....	32
Figura 11 - Percentual das técnicas de caracterização.....	32
Figura 12 - Percentual dos materiais encontrados através da DRX.....	34
Figura 13 - Técnicas de tratamento separas de acordo com as propriedades físicas e químicas. ....	35
Figura 14 - Percentual das técnicas de tratamento utilizadas. ....	36
Figura 15 - Percentual das aplicações utilizadas. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Empresas que cederam a lama vermelha para pesquisa nas bibliografias analisadas. ....	28
Tabela 2 – Métodos de caracterização utilizadas nas bibliografias analisadas. ....	31
Tabela 3 - Materiais identificados utilizando a DRX. ....	33
Tabela 4 - Tipos de tratamento utilizados nas bibliografias analisadas. ....	35
Tabela 5 - Aplicações utilizadas nas bibliografias analisadas. ....	37

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	10
2.1	História .....	10
2.2	Atualmente .....	11
2.3	Alumínio .....	13
3	JUSTIFICATIVA.....	20
4	OBJETIVOS .....	21
4.1	Geral.....	21
4.2	Específicos .....	21
5	METODOLOGIA.....	22
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	26
6.1	Quantificação inicial das bibliografias analisadas .....	26
6.2	Impactos ambientais.....	29
6.3	Caracterização da lama vermelha .....	30
6.4	Tratamentos da lama vermelha .....	34
6.5	Aplicações para a lama vermelha .....	37
6.5.1	Artefatos Cerâmicos .....	39
6.5.2	Argamassas Cimentícias .....	40
6.5.3	Meio Adsorvedor .....	41
6.5.4	Agregados Sintéticos.....	41
7	CONCLUSÃO .....	43
8	PERSPECTIVAS FUTURAS.....	44
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
10	APÊNDICE.....	49

# 1 INTRODUÇÃO

A exploração de jazidas de minérios cresceu nos últimos tempos. Conseqüentemente, resíduos são gerados e acumulados, podendo trazer diversos problemas ambientais. Com o planeta Terra passando por diversos problemas ambientais, a palavra sustentabilidade tornou-se mais frequente em nosso vocabulário.

Um dos metais mais utilizados ao redor do mundo é o alumínio. Para a obtenção do metal, existe um processo industrial e químico muito específico que gera uma alta quantidade de resíduo, o processo de beneficiamento da bauxita. Para a obtenção do alumínio como produto final, a bauxita é extraída por processos físicos de escavação e passa por processos químicos denominado processo Bayer onde a lama vermelha, resíduo do processo industrial, é gerada (HILDEBRANDO et. al. 1999).

O resíduo altamente alcalino possui propriedades cáusticas devido a presença de Na(OH) proveniente do processo químico. Ele é disposto a céu aberto por meio de lagos ou barragens, onde exposto pode trazer diversos problemas ambientais. Além dos elevados custos para sua deposição, cursos d'água podem ser contaminados pela percolação de resíduo, além flora e conseqüentemente a fauna local (SILVA FILHO et. al., 2007).

Há muitos anos, pesquisadores buscam formas de reutilizar o resíduo na produção de materiais cerâmicos para a construção civil. Podendo expandir as aplicações para o resíduo, pesquisadores nos últimos anos tentam aplicar a lama vermelha em diversos insumos para a construção civil, buscando formas de tornar o resíduo eficiente além de solucionar possíveis catástrofes ambientais através de sua disposição (MACÊDO et. al., 2011).

O presente trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre a lama vermelha, desde a extração da bauxita a obtenção do produto final, apresentando resultados de aplicações para a lama vermelha buscando alternativas de minimizar os impactos ambientais causados e valorizando sua utilização na engenharia civil.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 História

Desde os tempos antigos a humanidade vem sofrendo com problemas de despejo e descarte de resíduos, sejam eles apresentados em vários aspectos físicos. Os termos relacionados ao meio ambiente estão muito popularizados, e palavras como sustentabilidade ganham espaço a cada ano que se passa. Nos dias atuais, reinventar não é apenas um diferencial, mas sim, uma necessidade.

Na Idade Média, mais precisamente no século XIV, o mundo pode presenciar algo trágico em sua história, a peste negra, que teve como palco a Europa. Devido à falta de conhecimento na época, muitos acreditavam que as doenças causadas eram por castigos divinos. Um dos agravantes para o alastre da praga da época era o descarte dos resíduos pessoais – fezes, urina e águas fétidas – lançados pelas janelas das residências para as ruas. Além disso, o ar também era contaminado, aumentando as chances de transmissão e contágio (VELLOSO, 2007). A partir dessa época, a humanidade passou a adotar as primeiras medidas para os descartes de resíduos, mesmo sendo eles apenas pessoais. Nos dias atuais percebe-se que cada país tenta criar novos métodos para aproveitar ao máximo todo tipo de resíduo gerado em seu território.

No século XX surge um termo revolucionário que vem trazendo até hoje grandes resultados: a política dos 3R's. Ele é uma alternativa que procura solucionar problemas com descarte de resíduos, buscando **reduzir** o uso de produtos para que gere menos resíduos, **reutilizar** alguns descartáveis que normalmente iriam ser dispensados, e **reciclar** os materiais usados em um novo material. Nos dias atuais já se falam nos 5R's, onde deve-se **refletir** no consumo de produtos e como devem ser descartados e **recusar** utilizar produtos que prejudicam o meio ambiente. O principal foco é diminuir massivamente grandes toneladas de resíduos que normalmente tomariam lugar em aterros sanitários ou lixões, ou no pior dos casos despejados no meio ambiente, podendo contaminar florestas e lençóis freáticos (TEIXEIRA, 2007).

## 2.2 Atualmente

Muitas outras formas de tratar os materiais descartados foram desenvolvidas, mas a que se destaca é a gestão de resíduos. É um conjunto de medidas interdisciplinares que abrange as várias etapas dos processos industriais, tratando do controle, produção, armazenamento, recolha, transporte, processamento, tratamento e o destino final, preservando a saúde humana e ambiental (RUSSO, 2003).

*“Resíduo sólido industrial: é todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso - quando contido, e líquido - cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. ”*

*Resolução CONAMA nº 313 de 2002. Art. 2º, parágrafo I.*

Em junho de 1992, no estado do Rio de Janeiro, a Cnumad (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento) tratou de mudar a forma com que a humanidade encara o planeta, tratando de assuntos como desenvolvimento econômico, social e ambiental, visando a sustentabilidade. Tendo seu grande início a um nível global a partir desta data, a gestão sustentável de resíduos sólidos passa a ser prioridade (JACOBI & BESEN, 2001).

Devido a dados históricos, a disposição inadequada dos resíduos sólidos causa impactos socioambientais negativos, atingindo de forma equivalente em escala global as mudanças climáticas e o gerando o aquecimento global.

Com o aumento da longevidade de vida do ser humano e o crescimento populacional dos grandes centros, o consumo aumentou exponencialmente. Levando em consideração esses fatores, há um considerável aumento na geração de resíduos ao redor de todo o planeta, tornando mais evidente a necessidade de geri-los (GUINZELLI & NOWACK, 2010). A situação atual dos rejeitos ao redor do mundo é a constante diminuição de seu peso específico causando um aumento no volume. Levando em consideração esse aumento da população, houve uma duplicação da produção dos resíduos, quadruplicando assim o volume final (RUSSO, 2003).

*“Para tanto, apresentar propostas que possibilitem a minimização do impacto ambiental causado pela indústria da construção civil tem sido cada vez mais uma preocupação por parte de pesquisadores e estudiosos. Através das*

*pesquisas sobre materiais não convencionais, o setor da construção civil tem conseguido absorver essa demanda por alternativas sustentáveis”.*

(LIRA et al., 2018, p. 1).

Para realizar a ISWM (Integrated Solid Waste Management) deve-se conscientizar os centros produtivos para reduzir sua produção e reaproveitar o que inicialmente seria descartado como rejeito do processo, gerando resultados socioeconômicos positivos, como geração de empregos e melhora na qualidade de vida da população em seu entorno.

No cenário mundial, o país que mais se destaca é a Suécia, que consegue reaproveitar quase 100% do seu lixo para a geração de energia para o pesado inverno sueco. Eles possuem plantas subterrâneas onde incineram o lixo e armazenam essa energia para que seja convertida em energia elétrica. Além disso, em toda a União Europeia, o uso dos aterros sanitários caiu em desuso, fazendo com que o lixo dos países ao redor seja vendido para os suecos, reaproveitando ao máximo o que supostamente não teria utilidade alguma (MASSAO, 2018).

Embora a tecnologia ao redor de reutilizações de resíduos e seu tratamento sobre eles tenha evoluído, ainda há áreas que precisam de uma maior atenção. Uma delas é o despejo da lama vermelha, resíduo gerado através do processo de obtenção do alumínio, através da mineração de bauxita (mistura natural de óxidos de alumínio como  $Al_2O_3$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $AlO(OH)$ , entre outros) e pelo processo industrial de Hall-Héroult.

O alumínio no Brasil é muito importante, principalmente quando o assunto é reciclagem, sendo um país que se destaca ao redor do mundo. Mas desde a sua produção, o maior empasse que as indústrias sofrem é sobre o destino final do resíduo gerado após a bauxita passar pelo processo industrial de tratamento para a produção do produto final.

*“A lama vermelha (LV) é um resíduo oriundo do processamento da bauxita, na extração de  $Al(OH)_3$ . De acordo com a Aluminium Association, a crescente produção de alumina atingiu em 2011 45 milhões de toneladas e em 2013 valores próximos a 50 milhões de toneladas. Ainda de acordo com a Associação, a produção de cada tonelada de  $Al_2O_3$  gera 2,5 toneladas de LV, apontando ser este um dos maiores rejeitos industriais inseridos na sociedade atual”.*

(ALARCON, 2018, p. 19).

A disposição deste resíduo atualmente não é feita de forma correta, despejada em locais abertos, com contato direto ao solo, impossibilitando o crescimento de vegetação ao redor e podendo poluir águas subterrâneas. Uma possível reutilização para este rejeito seria sua implantação na área da engenharia civil, pois na sua composição há a presença de alumínio, elemento muito utilizado pelo ramo das construções.

*“O método de descarte da lama vermelha quando efetuado de maneira inadequado pode causar a contaminação da água de superfície e subterrânea por hidróxido de sódio, ferro, alumínio e outros agentes químicos e resultar em impacto visual pelo vento carregar o pó do resíduo. A lama vermelha quando não tratada possui um pH elevado entre 11-13 o que torna impossível o crescimento das plantas”.*

(DEGEN et al, 2019, p. 6).

## 2.3 Alumínio

O Brasil se destaca no cenário mundial quando o assunto é alumínio. Em 2017 ocupava altas colocações como 11º produtor de alumínio primário, 4º produtor de bauxita e o 3º produtor de alumina. O país consumiu 1 milhão e 383 mil toneladas apenas no ano de 2018. A indústria contribui para 1% do PIB e gerou em 2017 cerca de 500 mil empregos. No ano de 2017 o Brasil foi líder em reciclagem de latas de alumínio para bebidas, apresentando o valor de 97,3% (ABAL, 2018).

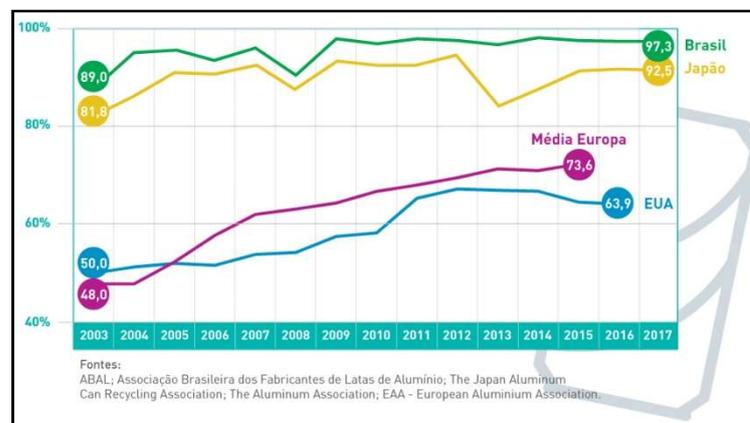


Figura 1 – Dados de reciclagem de latas de alumínio nos EUA, Média Europa, Japão e Brasil.

Carl Josef Bayer (1847-1904) foi um químico austríaco que inventou o processo Bayer de extração de alumina a partir de bauxita, essencial para o dia de

hoje para a produção econômica de alumínio. Em 1888, a Bayer desenvolveu e patenteou o seu processo de extração de alumina do minério de bauxita (SILVA; ALVES; MOTTA; 2007).

Em meados do século XIX, o alumínio era tão precioso que uma barra de metal foi exibida ao lado das joias da coroa francesa na Exposição Universal de Paris de 1855. Junto com o processo Hall-Hérault, a solução da Bayer fez com que o preço do alumínio a cair cerca de 80% em 1890 do que tinha sido em 1854 (CONSTANTINO et al., 2002).

O alumínio é produzido, basicamente, a partir da bauxita. Trata-se de um processo de produção difícil, pois exige muita energia elétrica. A bauxita de cor marrom-avermelhada deve sofrer um processo de purificação para que se possa extrair a alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) de outras substâncias. Através da figura 2 é possível observar todas as etapas do processo industrial em questão.

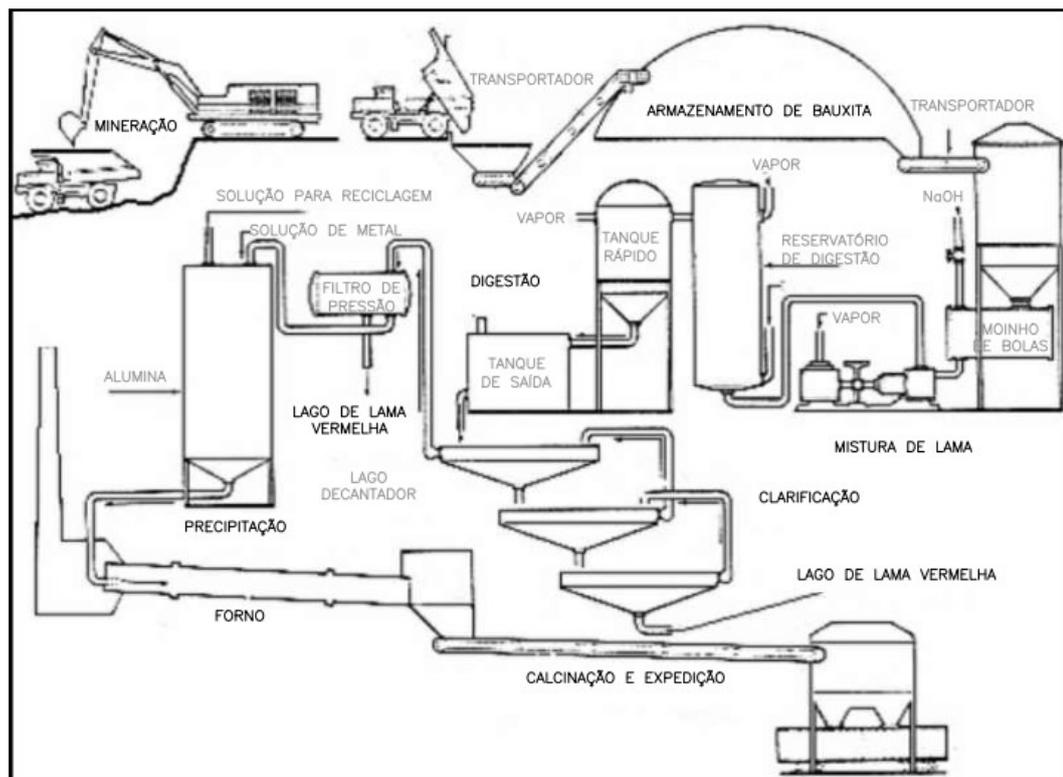
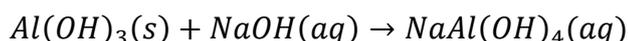


Figura 2 - Processo Industrial da Bauxita.

Fonte: <http://wwwchem.uwimona.edu.jm/lectures/bauxite.html>

Esse processo inicia-se com a extração do minério da bauxita. Após a extração o minério é transportado por caminhões até as instalações onde ocorrerá sua lavagem e filtragem. Após a lavagem é levada para britadores onde ocorre a moagem utilizando

moinhos de martelos e em seguida de barras para que atinja uma granulometria de 208µm. Após a moagem a bauxita será levada a tanques específicos, onde será misturada com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), nos quais permanecem em homogeneização pela ação de bombas recirculantes e pás rotativas, a qual reage a uma temperatura de cerca de 150°C e pressões controladas (SILVA; ALVES; MOTTA; 2007). A reação pode ser definida por:



Após a saída dos digestores a solução é levada para tanques de saída. O material dissolve-se formando  $NaAl(OH)_4$ , enquanto as impurezas permanecem na fase sólida. Para se separar a fase sólida da fase líquida realiza-se a clarificação, que pode ser dividida em dois processos, o espessamento e a filtração (CONSTANTINO et al., 2002).

O espessamento consiste em um processo de decantação que ocorre em tanques chamados de espessadores ou lavadores, neles trocadores de calor auxiliam a formação de partículas mais densas que irão sedimentar e, assim, separar a fase líquida da sólida. O que não foi aproveitado é levado a outro tanque e reinicia-se o processo de clarificação, para que haja mínimo desperdício no processo. Após a passagem por três tanques o resíduo remanescente, denominado lama vermelha, é levado para lagos de disposição.

A parte líquida separada em todas as etapas do espessamento é destinada para a filtração, onde são removidos todos os possíveis resíduos sólidos não solúveis.

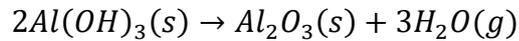
A solução é levada para um tanque de precipitação, onde a solução será reconvertida em  $Al(OH)_3$ . Para que ocorra a precipitação a temperatura deverá ser reduzida para cerca de 80°C (SILVA; ALVES; MOTTA; 2007). Em seguida são adicionados agentes nucleantes, que tem como função facilitar o crescimento e união dos cristais do hidróxido que estavam dissolvidos na solução, precipitando-os, realizando a seguinte reação:



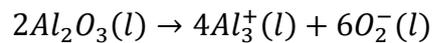
Após a precipitação o  $Al(OH)_3$  é levado para a calcinação, enquanto o NaOH é levado para ser reutilizado no início do processo.

Na calcinação o  $Al(OH)_3$  recém chegado da precipitação é lavado para remover qualquer resíduo da solução, em seguida é filtrado e levado para a secagem em 300°C

para a remoção da água absorvida, ou a 1000°C para obter uma alumina com grau de pureza muito alto (SILVA; ALVES; MOTTA; 2007). Esse processo é representado pela seguinte equação:



A partir da alumina ocorre o processo de transformação da alumina em alumínio metálico. Esse processo, que antes era realizado através da fundição da alumina a 2.000°C, foi aperfeiçoado por Charles Martin Hall em 1896. Ao invés de fundir a alumina a essa temperatura, ele passou a dissolvê-la em criolita ( $Na_3AlF_6$ ) fundida. Com esse processo, Hall diminuiu de 2.000°C para 1.000°C a temperatura. Atualmente, a alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio em baixa tensão. A mistura obtida é colocada numa cuba eletrolítica e sofre uma reação de eletrólise. Nessa etapa, o óxido de alumínio é transformado (reduzido) em alumínio metálico (Al) (SILVA; ALVES; MOTTA; 2007). Basicamente, a reação que ocorre nesse processo é:



O recipiente de aço atua como cátodo, ou seja, como polo negativo, onde ocorre a redução dos cátions do alumínio, expressada pela reação:



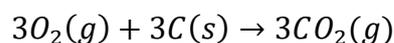
Esse alumínio formado permanece no estado líquido, porque o seu ponto de fusão é menor que o da mistura “criolita + alumina”, sendo igual a 660,37°C. Porém, visto que sua densidade é maior que a densidade da mistura, ele desce para o fundo do recipiente, onde é coletado por escoamento.

Depois o alumínio fundido é colocado em moldes, nos quais se solidifica.

Em termos de rendimento, para produzir 1kg de alumínio utiliza-se 2kg de alumina, 100g de criolita e 10kW de energia elétrica. Os eletrodos de carbono atuam como ânodos, polos positivos onde há a oxidação dos ânions oxigênio, expressada na reação:



Esse gás oxigênio formado reage com o carbono do eletrodo e forma o gás carbônico ( $CO_2(g)$ ):



Desse modo, a equação global que ocorre nesse processo é dada por:

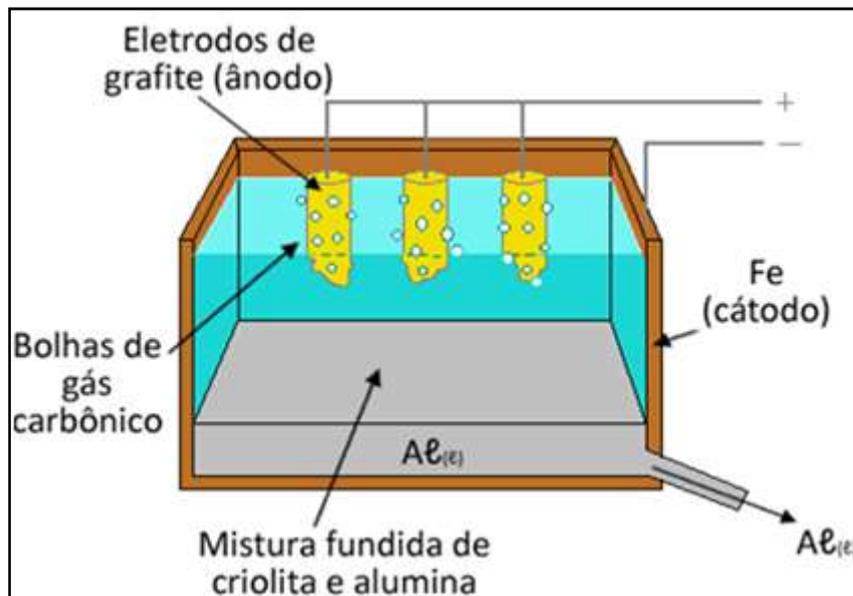
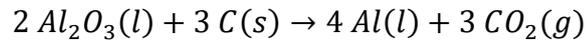


Figura 3 - Processo Hall- Héroult.

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/obtencao-aluminio-por-meio-eletrolise.htm>

Como outro pesquisador, Paul Louis Toussaint Héroult também chegara, no mesmo ano, às mesmas conclusões de Hall, o processo ficou conhecido como Processo de Hall-Héroult. O alumínio produz duas ligas metálicas: a duralumínio (95% alumínio, 4% cobre, 1% magnésio, ferro e silício), bastante utilizada na confecção de carrocerias de ônibus, e a magnálio (83% alumínio, 15% magnésio, 2% cálcio), utilizada na produção de rodas automotivas.

Dentre os resíduos gerados, o que mais se destaca é gerado durante a etapa de clarificação do processo Bayer, denominado lama vermelha. Nele há impurezas que não são dissolvidas completamente, como parte da alumina na etapa de digestão. Dentre as impurezas contidas podem ser citados óxidos de ferro, sílica, titânio, zinco, fósforo, níquel e vanádio (MANFROI, 2009).

*“Entretanto, com o aumento da demanda pelo alumínio e com a queda da qualidade das reservas de minério de bauxita, projeta-se uma tendência de crescimento para a geração desse resíduo, a qual, em média, já está em mais de uma tonelada para cada tonelada de alumina produzida ao final do processo Bayer”.*

(BITENCOURT et al., 2012, p. 1).

Anualmente, ao redor do mundo, são gerados 90 milhões de toneladas de lama vermelha. O resíduo é disposto em lagoas projetadas para este fim. Em contrapartida, os custos são altíssimos, chegando a 5% do custo total da produção do alumínio. Quanto as suas características, apresenta entre 15% e 40% de sólidos em sua mistura, além de partículas extremamente finas. O pH pode apresentar valores superior a 12 (LIMA, 2015).



*Figura 4 - Lagoa de disposição da lama vermelha.*

*Fonte: SILVA FILHO, 2007.*

A EPA (Environmental Protection Agency) não classifica a lama vermelha como um resíduo perigoso, não sendo particularmente tóxica. Com sua alta capacidade de troca iônica e elevada alcalinidade pode danificar o meio ambiente em que está sendo disposta, podendo ocorrer lixiviação e contaminação de águas superficiais e subterrâneas (ANTUNES, 2011).

*“A utilização de resíduos da indústria de mineração e metalurgia tornou-se indispensável para que este segmento industrial insira-se no conceito de desenvolvimento sustentável, passando a priorizar definitivamente o meio ambiente, contribuindo efetivamente para programas de preservação”.*

(SANTOS et al., 2014, p. 1).

Segundo Filho (2004, v. 1, p. 2) “a disposição final do lama vermelha atualmente é feita em lagoas devidamente impermeabilizadas. Alguns métodos utilizam o plantio de vegetais para recuperar a área”.

Sobre a causticidade da lama vermelha, afirmam Macêdo et al (2011, v. 11, p. 2) “outro fator importante é que o material possui ainda uma quantidade de NaOH em torno de 8% em peso, o que explica a causticidade presente na lama vermelha”.

Devido ao fato do resíduo ser agressivo ao meio ambiente e ter inúmeras características significativas para sua reutilização, sua implantação na construção civil é viável, embora o requisito mínimo para sua aplicação seja um tratamento de balanceamento de pH.

*“A utilização de resíduos industriais na produção de materiais pode mitigar os impactos gerados pelo agente gerador. A utilização na construção civil de materiais gerados a partir de resíduos, minimizaria também os impactos gerados pela extração de recursos naturais para este setor”.*

(GUIDOLIN, 2016, p. 6).

### **3 JUSTIFICATIVA**

O meio ambiente sofre fortes consequências devido ao descarte incorreto de materiais. A lama vermelha, resíduo proveniente de processo industrial e com alto pH, afeta em larga escala o meio em que é descartado, afetando o solo, a flora ao redor e principalmente águas subterrâneas. Uma forma de minimizar o descarte é reutilizar o resíduo. A engenharia civil é um amplo território, onde a aplicação deste resíduo é vasta. Encontrar as principais formas de caracterização, tratamento e possíveis aplicações torna mais fácil direcionar esforços com maior probabilidade de sucesso, reduzindo impactos negativos ao meio ambiente.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Geral**

Realizar pesquisa bibliográfica sobre a lama vermelha, identificar principais técnicas de caracterização, tratamentos e possíveis aplicações na engenharia civil que possibilitariam minimização dos impactos ambientais.

### **4.2 Específicos**

- Descrever quais os impactos ambientais causados pelo descarte da lama vermelha;
- Classificar quais técnicas de caracterização e de tratamento são mais utilizadas dentre as bibliografias analisadas em território nacional;
- Apontar as principais aplicações para a lama vermelha na área da Engenharia Civil;
- Verificar se são apresentadas aplicações que podem levar a redução dos impactos ambientais.

## 5 METODOLOGIA

Durante a realização de um trabalho científico é de suma importância saber pesquisar, avaliar, refinar e condensar as ideias de outras fontes bibliográficas para o desenvolvimento de textos acadêmicos. Pode-se salientar que o pesquisador deve utilizar de técnicas que venham agregar o desenvolvimento de seu trabalho de forma eficiente e direta ao ponto em questão, atentando-se sobre o que realmente é relevante.

Para realizar a pesquisa bibliográfica deve-se estruturar as formas de pesquisa, tornando-a sistemática e eficiente, economizando tempo e encontrando um leque maior de opções quanto ao embasamento teórico (LIMA & MIOTO, 2007).

A figura 5 demonstra de forma simplificada os processos de trabalho. Desde a escolha do tema à análise de dados, cuidados devem ser tomados, levando em conta todas as fases de trabalho para cada bibliografia estudada, de forma que a análise de dados seja mais precisa.



Figura 5 - Apresentação da metodologia de trabalho utilizada.

Fonte: Próprio autor

Primeiramente, deve-se definir o tema de forma ampla, que agregue em vários pontos onde possam ser encontrados conhecimentos sobre a área. Para que consiga encontrar de forma rápida e específica aquilo que se procura deve-se definir a estratégia de pesquisa, como a definição de palavras-chave e locais específicos de buscas como artigos e sites com acervo acadêmico. A partir disso, pode-se iniciar a pesquisa (TREINTA et.al, 2014).

Muitas fontes foram encontradas, portanto, coube ao pesquisador selecionar aquilo que realmente atende a pesquisa em questão, formando um banco de dados relacionado ao mesmo tema por diversas fontes. Após selecionar as bibliografias mais relevantes, foram selecionadas partes do material que fossem agregar teoricamente o valor do trabalho, referenciando de forma correta os autores utilizados como base, priorizando aqueles que trarão maior peso ao projeto em desenvolvimento. A partir dessas proposições, é possível realizar de forma dinâmica as pesquisas e formar um banco de dados concreto o suficiente para acompanhá-lo durante a execução de sua fundamentação teórica (TREINTA et.al, 2014).

O primeiro ponto definido é a utilização de palavras-chave, onde se consegue encontrar um grande acervo de obras relacionadas ao tema desejado. De acordo com o direcionamento do estudo, foram selecionadas três palavras-chave, sendo elas resíduos, construção civil e lama vermelha. A partir delas, foram direcionados quatro tipos de pesquisas diferentes, unindo as palavras selecionadas, formando novos tipos de pesquisas mais relevantes à revisão bibliográfica. Os quatro grandes tópicos de pesquisa selecionados foram:

- Resíduos;
- Lama Vermelha;
- Resíduos + Construção Civil;
- Resíduos + Construção Civil + Lama Vermelha.

Para a pesquisa do acervo foram selecionados sites de busca acadêmica mais comuns, como “SciELO”, “Google Acadêmico” e “Periódicos”. Desta forma, pode-se encontrar diversas fontes, sejam elas em português ou inglês, e observar a relevância do assunto nos últimos anos, podendo notar se houve um crescimento do estudo nessa área e possíveis aplicações desses rejeitos.

Quanto a leitura e separação de informações do acervo, foram estudados artigos ou monografias com datas variadas, para entender se houve uma evolução nos métodos de como os resíduos são tratados, desde a sua disposição como possível reciclagem e reutilização. Foram levantados trabalhos dos últimos 30 anos, não focando apenas nos trabalhos mais recentes. O motivo para tal seleção é observar o grande volume de trabalhos encontrados e avaliar o crescimento, desenvolvimento e relevância do tema para a atualidade.

A partir desse pressuposto, é de suma importância anexar informações relevantes sobre cada obra, definindo pontos positivos e negativos, observando se esse segmento teve crescimento no ramo da engenharia civil.

Para se obter uma interpretação mais exata sobre os dados utilizados, a montagem de gráficos, tabelas e fluxogramas são necessárias, obtendo uma visão mais ampla das conclusões obtidas através da análise de diferentes dados, sejam quantitativos ou qualitativos.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Quantificação inicial das bibliografias analisadas

A geração de resíduos tem aumentado com o passar dos anos e o desenvolvimento da humanidade. Atrelado a isso, diversas técnicas de reciclagem e reutilização foram desenvolvidas, para minimizar os impactos por eles causados. Mas ainda assim, nos dias atuais, ocorre a disposição incorreta dos resíduos ou falta de tratamento para os mesmos, atingindo principalmente o meio-ambiente. A construção civil é a maior responsável pela geração de resíduos e sua disposição inadequada.

*“O setor da construção civil é um segmento que se destaca pelo elevado desperdício de material e geração de resíduos. Tais resíduos são descartados em aterros, no entanto, na estrutura das grandes cidades não há mais espaços para essas disposições, em virtude da aglomeração de pessoas e alta valorização do espaço físico. O resíduo da construção e demolição é composto por fragmentos ou restos de tijolos, argamassas, concretos, aço, madeiras, gesso, etc.”*

(MENEZES et al., 2009, p. 1).

Muitas problemáticas são trabalhadas em torno de artigos acadêmicos relacionados a resíduos. Independente do contexto em que ele se aplica, o problema mais evidente é a disposição dos resíduos.

*“A industrialização e o desenvolvimento dos centros urbanos têm provocado um aumento significativo na geração de resíduos, causando graves impactos ambientais devido ao volume acumulado e as deposições inadequadas. Dentre estes, os resíduos da construção civil representam cerca de 60% de todos os resíduos sólidos urbanos. ”*

(PATRICIO et al., 2013, p. 1)

Para que haja um maior desenvolvimento nesse ramo, é necessário que pesquisas e estudos dirigidos sejam realizados, aumentando o nível de conhecimento na área para aplicar melhorias aos problemas encontrados.

O primeiro ponto a ser observado é a relevância do tema lama vermelha e seu descarte. Outro fator importante de se notar é a presença da engenharia civil em suas aplicações. Para obter esse resultado preliminar, foi analisado o número de

publicações em diferentes sites de acervo acadêmico, sendo eles Google Acadêmico, Scielo e Periódicos. As figuras 6 e 7 expressam graficamente a quantidade de publicações encontradas no intervalo entre 1990 a 2019 nas plataformas de pesquisa utilizadas para cada combinação de palavras-chave predefinidas.

As tabelas que deram origem aos gráficos podem ser observadas no Anexo. A partir delas foi possível plotar gráficos que expressam de forma mais visível os dados.

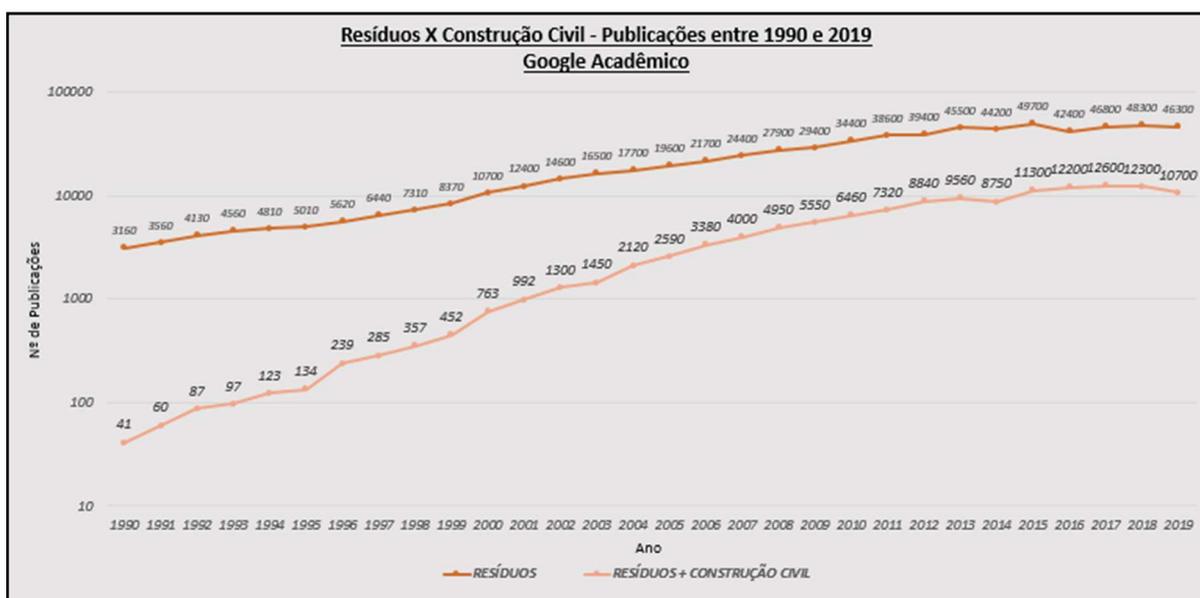


Figura 6 - Crescimento do acervo acadêmico entre Resíduos e Construção Civil entre os anos de 1990 a 2019.

Fonte: Próprio autor

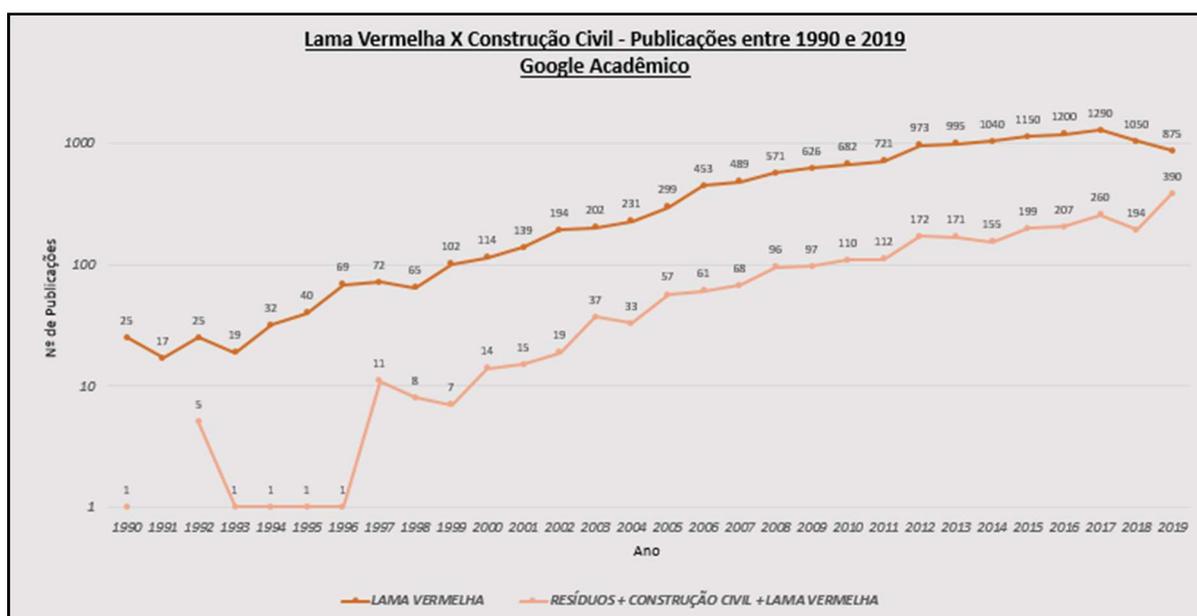


Figura 7 - Crescimento do acervo acadêmico entre Resíduos, Construção Civil e Lama Vermelha entre os anos de 1990 a 2019.

Fonte: Próprio autor

Observando os dados obtidos, é perceptível que com o passar do tempo, o assunto se tornou mais relevante, sendo uma vertente abordada por muitos pesquisadores.

Partindo desse pressuposto, foram separados 50 trabalhos, dentre eles artigos científicos, monografias, dissertações e teses nacionais com maior relevância entre os sites de pesquisas utilizados. Os trabalhos são datados entre 1990 e 2019.

As bibliografias analisadas receberam de diferentes empresas e diversas localidades a lama vermelha para realizar suas análises. Este é o primeiro fator que pode ser levado em conta para a observação e quantificação de dados. A tabela 1 e a figura 8 exprimem a quantidade de trabalhos que receberam materiais referentes a cada empresa.

*Tabela 1 - Empresas que cederam a lama vermelha para pesquisa nas bibliografias analisadas.*

<b>Empresas</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
<b>HYDRO - (Barcarena/ Trombetas - Pará)</b>	19	38
<b>ALCOA - (Poços de Caldas - Minas Gerais)</b>	11	22
<b>CBA - (Alumínio - São Paulo)</b>	6	12
Sem Identificação	6	12
<b>ABAL - (Votorantim - São Paulo)</b>	5	10
<b>ALCOA - (São Luis - Maranhão)</b>	3	6
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

*Fonte: Próprio autor*

Dentre elas, a empresa que mais se destacou foi a HYDRO dos municípios de Barcarena e Trombetas no estado do Pará, tendo participação em 38% dos trabalhos analisados.

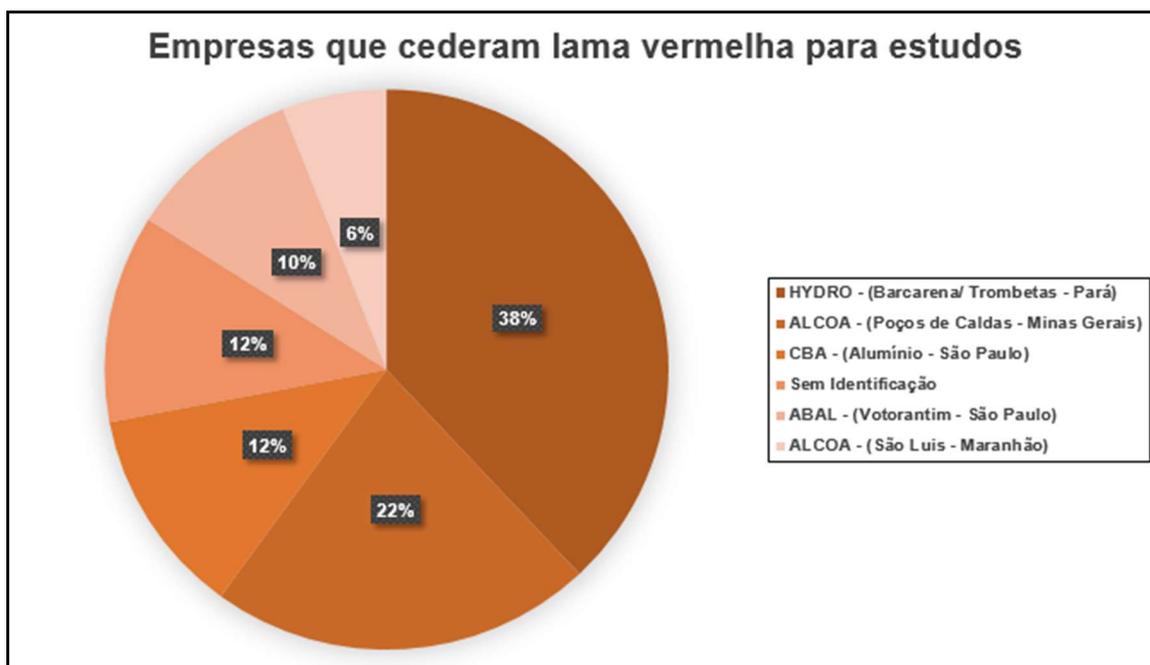


Figura 8 - Percentual das empresas que cederam a lama vermelha para estudos.

Fonte: Próprio autor

Em cada bibliografia foram analisados três fatores específicos:

- Caracterização – Métodos ou técnicas utilizadas para se obter características físicas ou químicas da matéria-prima utilizada, a lama vermelha;
- Tratamento – Métodos ou técnicas utilizadas para tornar a matéria-prima aplicável, modificando suas características, de modo que suas condições iniciais não alterem os resultados esperados;
- Aplicação – Vertentes de aplicação da lama vermelha.

## 6.2 Impactos ambientais

O principal ponto que faz com que a lama vermelha seja um resíduo perigoso é a forma de como é descartado. Mesmo não sendo classificado como um resíduo perigoso, pode gerar impactos diretos ao meio ambiente.

O resíduo é na maioria dos casos armazenado, a céu aberto, em grandes lagos ou barragens. O solo recebe tratamentos de impermeabilização para impedir que parte do resíduo faça percolação. Evitar que o resíduo chegue a águas subterrâneas é essencial (SOTTOVIA, L. et. al., 2016).



*Figura 9 - Contaminação de Lama Vermelha no Rio Murucupi em Barcarena/PA*

*Fonte: Revista Ambiente Já*

Mesmo tomando medidas para que a disposição seja feita de forma correta, os impactos não são totalmente negados. Em Barcarena, município do estado do Pará, registrou o vazamento de lama vermelha no rio Murucupi.

Ao redor das reservas de lama vermelha não há presença de vegetação, devido à alta alcalinidade do resíduo, impedindo a proliferação da flora.

Mesmo não recebendo classificação de resíduo perigoso, quando em contato com o meio ambiente, pode gerar impactos irreversíveis. Se atentar em reutilizar o resíduo pode trazer além do retorno econômico, a diminuição dos impactos causados ou que poderiam causar em larga escala ao meio ambiente (MACÊDO et. al., 2011).

### **6.3 Caracterização da lama vermelha**

A tabela 2 demonstra a quantidade e o percentual das técnicas de caracterização que foram utilizadas nas bibliografias analisados.

Tabela 2 – Métodos de caracterização utilizadas nas bibliografias analisadas.

Caracterização	Quantidade	Porcentagem (%)
DRX	33	66
MEV	17	34
FRX	17	34
Granulometria	14	28
TGA	11	22
pH	11	22
Área BET	7	14
PF	6	12
ATD	5	10
MEA	5	10
EDS	4	8
Reometria	4	8
MET	2	4
EEP	2	4
Picnometria He	2	4
Condutividade	2	4
FTIR	2	4
EDX	2	4
CG	1	2
EM	1	2
RMN	1	2
DSC	1	2
SE	1	2
LP	1	2
LL	1	2
IP	1	2
Espectro UVVIS	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fonte: Próprio autor

Cada bibliografia, caracterizou sua matéria-prima de várias formas utilizando diversas técnicas. Dentre os cinquenta trabalhos analisados, aproximadamente seis técnicas de caracterização diferentes foram utilizadas para cada um, de modo a diversificar os métodos de análise do material, explorando as diversas características que o resíduo pode apresentar em sua composição.

As diferentes técnicas de caracterização podem ser divididas em dois grandes tópicos:

- Quanto as propriedades físicas;
- Quanto as propriedades químicas.

A figura 10 demonstra cada técnica dentro de cada vertente de análise, seja ela física ou química.

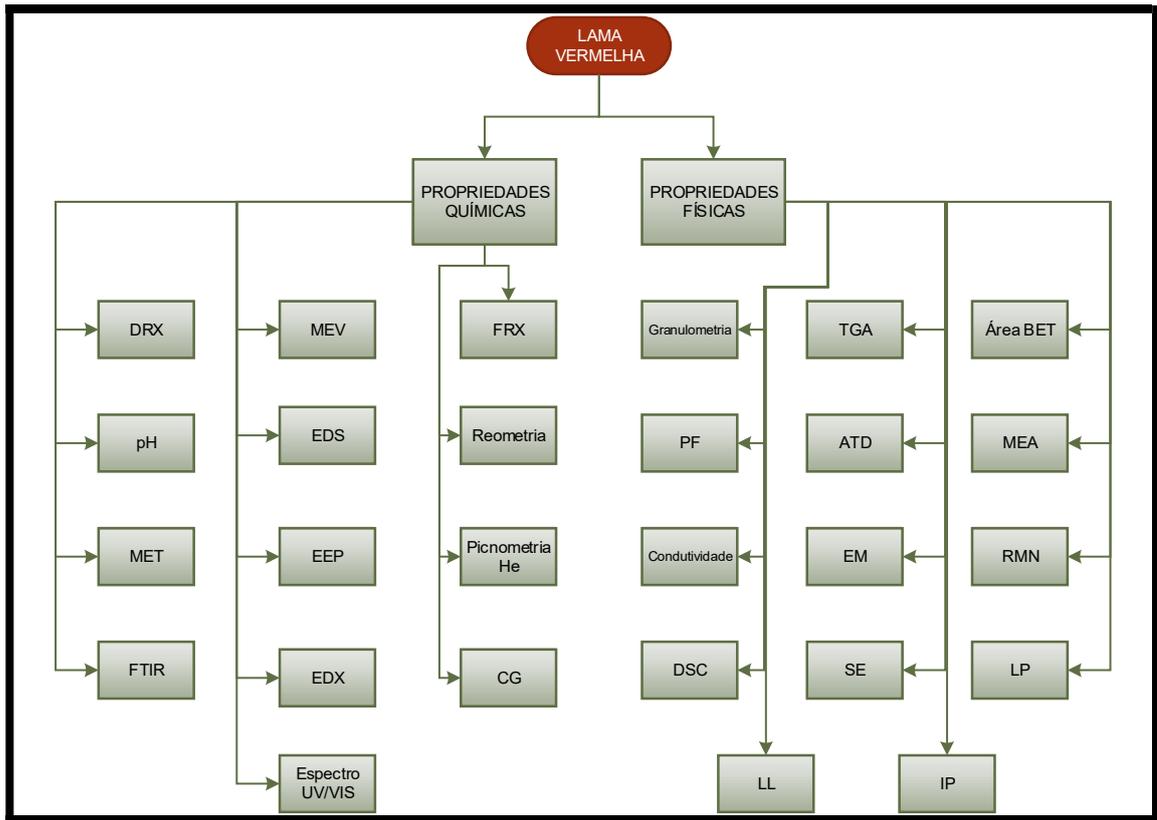


Figura 10 – Caracterizações divididas de acordo com propriedades químicas e físicas.

Fonte: Próprio autor

A figura 11 demonstra de forma dinâmica a taxa de utilização de cada técnica de caracterização dentro das cinquenta bibliografias analisadas.

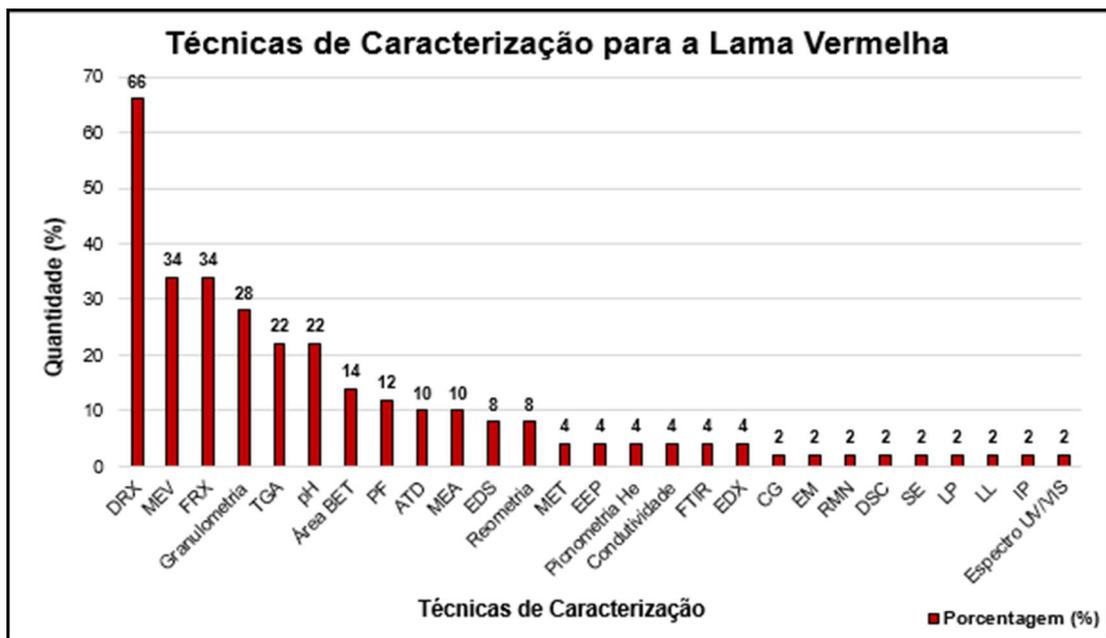


Figura 11 - Percentual das técnicas de caracterização.

Fonte: Próprio autor

A Difractometria de Raios-X (DRX) se destacou dentre as técnicas de caracterização, sendo utilizada em 66% das cinquenta bibliografias analisadas. Esta técnica faz com que possa se identificar a estrutura atômica e molecular de componentes através da incidência de raios X.

Esta técnica é muito útil para a análise da lama vermelha. Devido ao fato dela se tratar de um resíduo industrial e sofrer diversos tratamentos e modificações, muitos materiais podem ser encontrados em sua composição.

A tabela 3 demonstra dentre as bibliografias analisadas quais materiais foram encontrados utilizando a DRX.

Tabela 3 - Materiais identificados utilizando a DRX.

Autores	Elementos - Difração de Raios-X (DRX)															
	Quartzo	Ilita	Caulinita	Rutilo/ Anatásio	Gipsita	Hematita	Sodalita	Cancrinita	Goethita	Bauxita	Magnetita	Calcita	Perovskita	Muscovita	Siderita	Boehmita
(1999) HILDEBRANDO, E. A																
(2006) PRADO, U. S.																
(2007) SILVA, F. E. B.																
(2009) MANFROI, E. P.																
(2010) MERCURY, J. M. R.																
(2010) SOUZA, J. A. S.																
(2011) MACÉDO, A. N.																
(2011) RIBEIRO, D. V.																
(2011) GARCIA, M. S. C.																
(2011) ANTUNES, M. L. P.																
(2011) SOUZA, J. A. S.																
(2012) RIBEIRO, D. V.																
(2013) DÍAZ, C. C. H.																
(2013) ROSÁRIO, K. A.																
(2013) SOUZA, K. C.																
(2014) SANTOS, D. H.																
(2014) LAUREANO, J. L.																
(2015) AGUIRRE, M.																
(2015) LIMA, M. S. S.																
(2016) GUIDOLIN, M. A.																
(2016) MIRANDA, R. M.																
(2017) SOUSA, L. S.																
(2017) LOPES, M. S.																
(2017) BRAGA, P. F. A.																
(2018) ALARCON, R. H. G.																
(2019) CHAGAS, G. M.																
<b>Porcentagem (%)</b>	76,92	3,85	34,62	34,62	80,77	92,31	46,15	26,92	76,92	3,85	19,23	46,15	3,85	3,85	3,85	19,23

Fonte: Próprio autor

A figura 12 expressa os materiais analisados em percentual, levando em consideração a quantidade de bibliografias que utilizaram a DRX como método de caracterização.

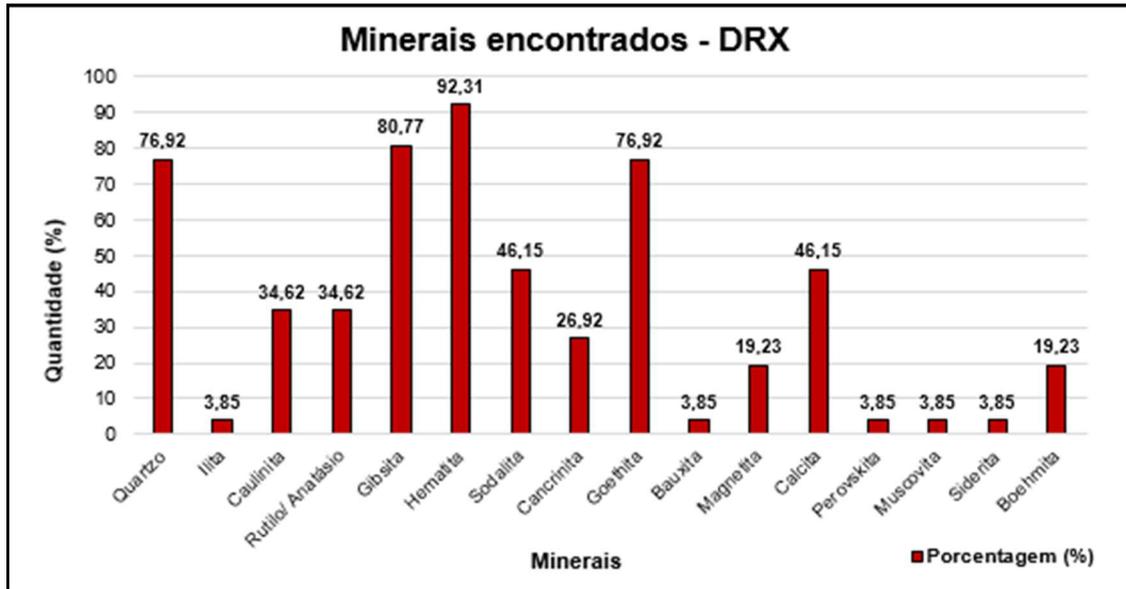


Figura 12 - Percentual dos materiais encontrados através da DRX.

Fonte: Próprio autor

Dentre os minerais encontrados na lama vermelha, Souza et al (2011, v. 1, p. 4) dizem que “esse rejeito é constituído essencialmente de caulinita, configurando-se em um material com grande potencial para ser usado em áreas, como construção civil e cerâmica”.

## 6.4 Tratamentos da lama vermelha

Semelhante a análise feita para as técnicas de caracterização, foram feitas as análises sobre os tratamentos para a lama vermelha referente as bibliografias analisadas.

A tabela 4 lista as técnicas de tratamento em quantidade e percentual de utilização.

Tabela 4 - Tipos de tratamento utilizados nas bibliografias analisadas.

Tratamento	Quantidade	Porcentagem (%)
Térmico	37	74
Moagem	19	38
Calcinação	10	20
pH	10	20
Homogeneização	10	20
Peneiramento	6	12
Sem tratamento	6	12
Lixiviação	2	4
Fusão	1	2
Geopolimerização	1	2
Ozônio	1	2
Queima	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

Fonte: Próprio autor

As técnicas de tratamento, assim como as de caracterização, podem ser divididas em dois grandes tópicos:

- Quanto as propriedades físicas;
- Quanto as propriedades químicas.

A figura 13 demonstra cada técnica dentro de cada vertente de análise, seja ela física ou química.

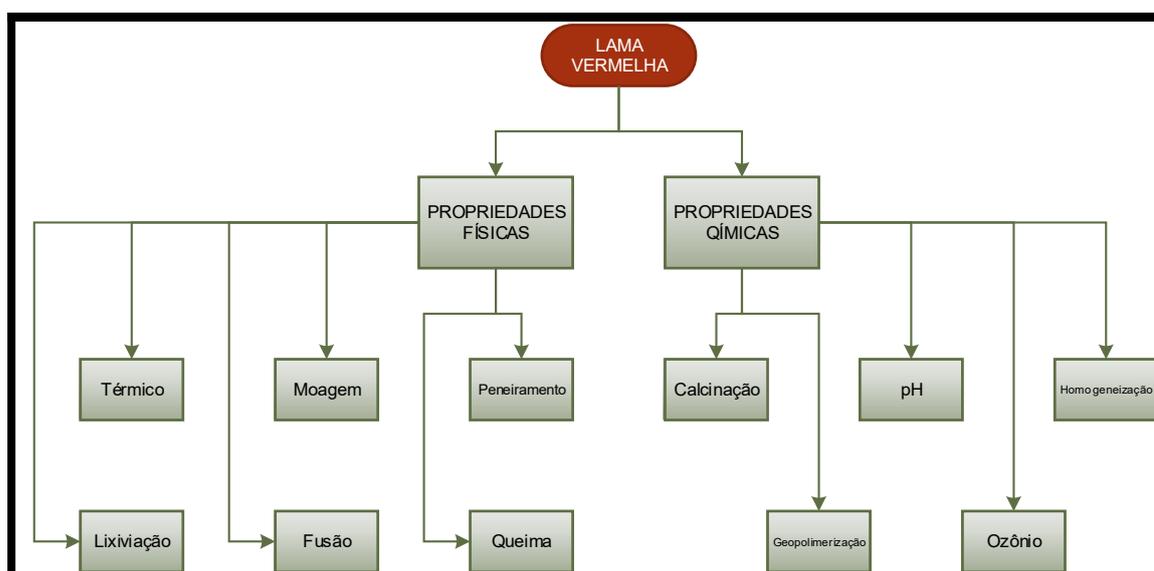


Figura 13 - Técnicas de tratamento separadas de acordo com as propriedades físicas e químicas.

Fonte: Próprio autor

“A composição química da lama varia bastante dependendo da natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada indústria. É

composta principalmente de óxido de ferro, quartzo, aluminossilicatos de sódio, carbonato de cálcio/aluminato, dióxido de titânio e hidróxido de sódio, sendo considerada como um resíduo de Classe II, não inerte. Estudos sobre lixiviação e solubilização da mistura de lama vermelha e argila, mostram não haver residual cáustico para o material queimado a partir de 750 °C. Assim essa mistura poderia ser classificada como resíduo de classe II, inerte”.

(DÍAZ, 2013, p. 22).

A figura 14 demonstra dentre as técnicas de tratamento utilizadas quais apresentaram maior percentual de utilização dentre as bibliografias analisadas.

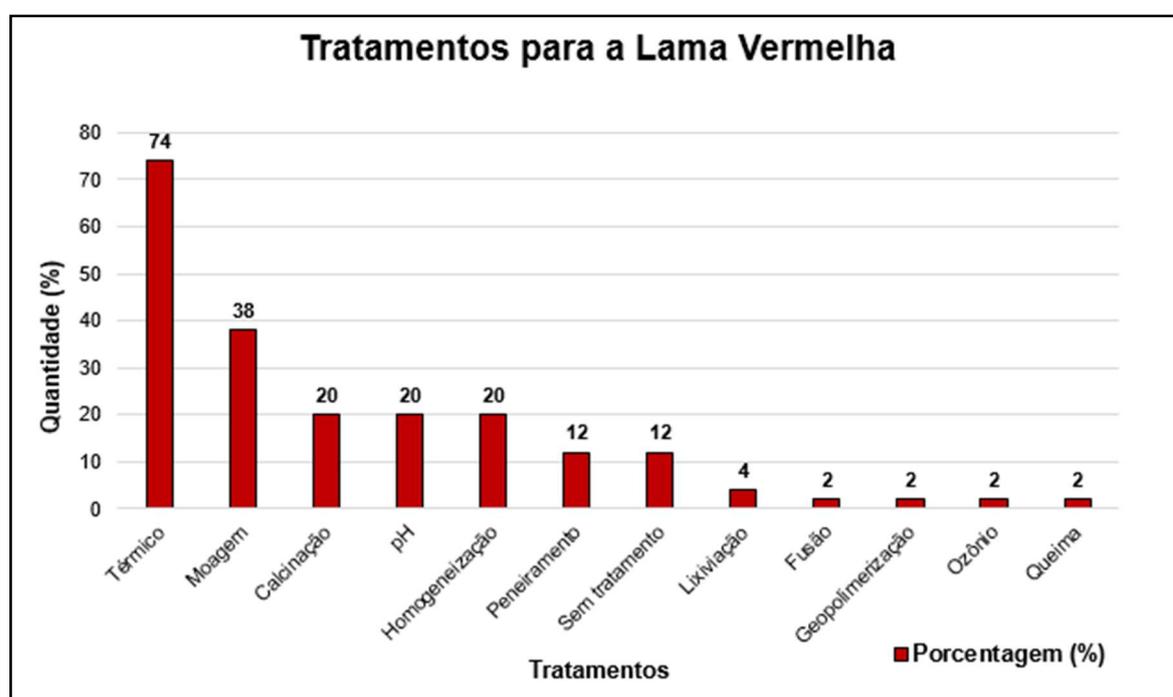


Figura 14 - Percentual das técnicas de tratamento utilizadas.

Fonte: Próprio autor

Segundo Garcia et al (2011, v. 1, p. 10) “[...] o uso de tratamento térmico reduz discretamente o pH e atribui ao resíduo uma estrutura menos vulnerável a lixiviações de forma a promover a redução do potencial poluidor da lama vermelha”.

Em contrapartida, para tratamento químico, a calcinação é destacada.

“Uma das alternativas estudadas para uma possível modificação das propriedades do RB e para torná-lo mais apropriado à incorporação ao cimento sem uso demasiado de água foi o processo de calcinação. Além de permitir a redução da área de superfície específica e de reduzir a solubilidade de substâncias químicas indesejáveis, como sódio e flúor, possibilita alterar

*o tempo de pega, a expansibilidade e a reação álcali-agregado, devido a alterações na reatividade do rejeito”.*

(LIBERATO et al, 2012, p. 2).

## 6.5 Aplicações para a lama vermelha

O último tópico analisado foi o de aplicações da lama vermelha. Cada bibliografia utilizava técnicas de caracterização e de tratamentos visando qual aplicação iriam utilizar, para assim, moldar a matéria-prima de acordo com o desejado, de forma que não agredisse o meio de aplicação e tornasse viável a mesma.

A tabela 5 lista as aplicações de acordo com a quantidade e seu percentual de utilização nas bibliografias analisadas, sendo elas visadas em diferentes segmentos da engenharia civil.

*Tabela 5 - Aplicações utilizadas nas bibliografias analisadas.*

<b>Aplicação</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Artefatos Cerâmicos	19	38
Argamassas Cimentícia	14	28
Meio Adsorvedor	13	26
Agregados Sintéticos	5	10
Asfalto	4	8
Recuperação de Metais	1	2
Elementos de Fechamento	1	2
Filmes Finos de Proteção	1	2
Revestimentos em Ligas de Alumínio	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>50</b>	<b>100</b>

*Fonte: Próprio autor*

A figura 15 demonstra o percentual das diferentes aplicações ligadas a reutilização da lama vermelha na engenharia civil.

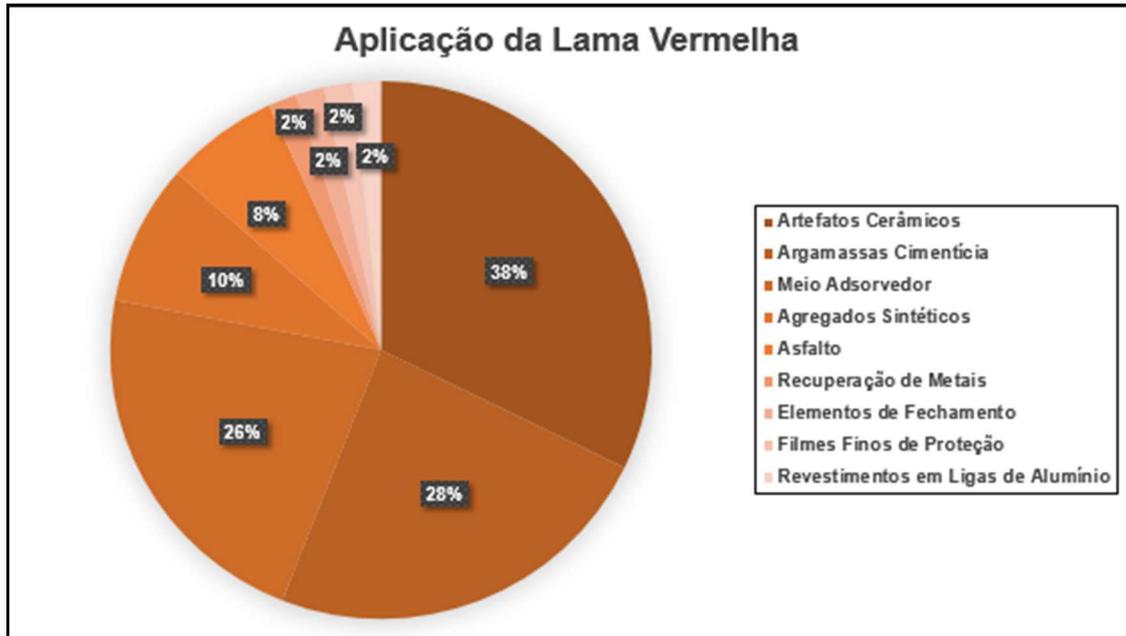


Figura 15 - Percentual das aplicações utilizadas.

Fonte: Próprio autor

*“Nos últimos anos, existem diversos estudos utilizando a lama vermelha: na construção civil, como insumo de cimento, na produção de material cerâmico, como catalisador, como reagente foto-fenton, na captura de CO<sub>2</sub>, bem como adsorvedor de metais, de compostos orgânicos e de corantes entre outros. Foi possível perceber que o tratamento térmico causa um aumento da área específica da lama, o que favorece sua propriedade de adsorção. Além disso, com a elevação da temperatura, são produzidas maiores quantidades de óxidos de ferro, o que pode facilitar sua aplicação como coagulante, catalisador ou como reagente Fenton, ampliando ainda mais as possibilidades de utilização desse resíduo.”*

(ANTUNES; CONCEIÇÃO; NAVARRO, 2011, p. 1).

As vertentes de aplicações para a lama vermelha abrangem diversos ramos da engenharia civil. Dentre as aplicações mais utilizadas, algumas delas se destacaram: utilização em artefatos cerâmicos, argamassas cimentícias, meio adsorvedor, agregados sintéticos e asfalto. É perceptível que o ramo da construção é o mais beneficiado quanto a aplicação do resíduo, e em menor quantidade a de tratamento de efluentes.

### 6.5.1 Artefatos Cerâmicos

Dentre todas as aplicações possíveis para a lama vermelha, a que mais se destaca é direcionada a artefatos cerâmicos, em maior escala para blocos e telhas cerâmicas com adição de argila em sua composição. Hildebrando et. al. (1999) dizem que sua aplicação na indústria cerâmica é viável, pois o material é uma boa matéria-prima de baixo custo gerada em grandes quantidades, mas não deve ser considerado utilizá-la individualmente.

A heterogeneidade da argila tradicional faz com que a incorporação de vários resíduos seja possível. Altoé (2013) diz que a incorporação da argila na lama vermelha pode trazer melhorias as propriedades finais do material.

Para que haja um bom resultado final, Macêdo et.al. (2011) conclui que a melhor dosagem é de 60% lama vermelha e 40% argila. Ao ultrapassar essa margem de resíduo utilizado, o fator de retração durante a secagem aumenta significativamente, resultado na conformidade dimensional dos blocos e conseqüentemente sua resistência mecânica. Hildebrando et. al. (1999) em sua pesquisa dizem que valores aceitáveis para a quantidade de lama vermelha está entre 50% até 70%.

Costa (2014) comprova em seus testes práticos que blocos com adição de lama vermelha podem trazer resultados além do esperado. Quando voltados à resistência, apresentam valores até duas vezes maior quando comparados diretamente a blocos confeccionados apenas com argila. Blocos produzidos com 100% de argila em sua composição apresentaram resistência a ruptura de 3,2 Mpa, já os compostos por lama vermelha apresentaram resistência a ruptura de 7,15 Mpa. Os blocos foram produzidos com argila e lama vermelha na proporção 2/3. Secagem e moagem foram os tratamentos térmicos que a mala vermelha recebeu.

Nos resultados de Hildebrando (1999), até mesmo a lixiviação não aponta um problema. Um dos fatores que poderiam impactar é o valor de sódio lixiviado a partir de blocos confeccionados com lama vermelha. Em seu estudo ele comprova que a quantidade lixiviada é mínima, não afetando o meio ambiente, podendo classificar a lama vermelha como um Resíduo de Classe II (inerte). Formas de minimizar o conteúdo lixiviado é aumentar a temperatura de sinterização.

Mercury et.al. (2001) dizem que os valores obtidos nos ensaios, como o de tensão de ruptura à flexão e de absorção de água, apresentaram resultados positivos.

As propriedades mecânicas apresentaram-se acima do exigido pela ABNT. Macêdo et.al. (2011) explicam que isso se dá pela eficiência das reações de estado sólido, formando mais fase amorfa, que resulta da redução da porosidade e consequentemente aumentando a resistência a compressão para blocos cerâmicos.

### **6.5.2 Argamassas Cimentícias**

A produção de argamassas cimentícias com adição de lama vermelha é outra aplicação que vem sendo bastante estudada. Ribeiro et.al. (2012) afirmam em seus estudos que a adição da lama vermelha em argamassas cimentícias provoca aumento da viscosidade plástica e diminuição da tensão de escoamento das argamassas. Isso se dá pela hidratação do cimento, levando a menos presença de água na mistura.

Ribeiro et.al. (2011) dizem que ao utilizar a lama vermelha adicionada a argamassas cimentícias pode-se obter maior resistência aos vinte e oito dias iniciais. Porém, como ponto negativo, pode ser observado o efeito da carbonatação. Para misturas acima de 10% de lama vermelha, a argamassa cimentícia apresenta poros oriundos do processo de carbonatação, atingindo negativamente as estruturas e tendo como consequência menores valores de resistência a flexão.

Quando utilizada em quantidade controlada, a lama vermelha traz fatores positivos como aumento da resistência mecânica e menor absorção de água, reduzindo o consumo de cimento no concreto (MAXWELL, et.al, 2019).

No concreto armado, a armadura no interior do concreto possui uma camada passivadora, que a envolve. Ela tem por função proteger o aço da corrosão. Isso se dá devido ao meio básico que está inserida, ou seja, o concreto. Com a adição da lama vermelha, Ribeiro et.al. (2012) dizem que o processo de despassivação das barras é retardado, devido a sua composição básica.

A presença da sílica e alumina na composição da lama vermelha traz pontos positivos para sua implantação na composição do cimento. Segundo Laureano (2014), a implantação da lama vermelha na composição do cimento como material pozolânico pode consequentemente reduzir a produção do cimento, que tem como benefício a diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> na fabricação do clínquer.

### 6.5.3 Meio Adsorvedor

Além da construção civil, a utilização da lama vermelha aparece em grande parte das bibliografias em estudos voltados a tratamento de efluentes.

A lama vermelha pode ser utilizada como adsorvente quando passa pelo processo de calcinação. Nesse processo, sua área superficial aumenta até quatro vezes. Nos estudos de Silva Filho et.al. (2004), a lama vermelha foi utilizada para o tratamento de águas contaminadas com gasolina.

No estudo de Costa (2010), a lama vermelha se torna mais efetiva na adsorção de íons de cádmio e níquel. A reação atinge seu equilíbrio em 15 minutos, independente da concentração dos íons presentes em solução aquosa. A remoção chega a ser superior a 97% para ambos os íons em soluções aquosas que apresentam pH em torno de 10.

Sousa (2017) utiliza a lama vermelha para a remoção de contaminantes orgânicos, sendo eles azul de metileno e o paracetamol. Ele afirma que sua utilização é uma alternativa promissora do ponto de vista ambiental, uma vez que utiliza resíduo sólido para tratamento de efluentes.

Para a remoção de corantes a lama vermelha também tem se mostrado promissora. Segundo Lopes (2017), o potencial de adsorção da lama vermelha pode ser aumentado através de tratamentos térmicos e químicos. Outros tratamentos adicionais com ácido clorídrico, ácido nítrico, águas marinhas e até mesmo o ozônio já foram desenvolvidos, e apresentaram resultados satisfatórios.

### 6.5.4 Agregados Sintéticos

A aplicação da lama vermelha voltada para os agregados sintéticos ocorre com certa frequência dentre os estudos analisados. O resíduo se torna aplicável, mas não isoladamente. Na maior parte das bibliografias, a aplicação da lama aparece em conjunto com a argila e a sílica.

Segundo Souza (2010) a lama vermelha não tem possibilidade de ser utilizada de forma isolada para essa vertente de aplicação. Por não possuir a plasticidade necessária, o material apresenta pontos negativos como a formação da geometria desejada para o agregado. Uma possível solução é a mistura com sílica e argila, materiais de baixo custo, não elevando o valor de sua produção.

Os estudos de Rosário (2013) apontam que os agregados sintéticos não apresentaram segregação ou exsudação em contato com o concreto fresco. Porém, resultados finais como de massa específica, resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão e resistência à tração na flexão do concreto apresentam valores satisfatórios, mas inferior aos concretos referência que utilizam seixo rolado como agregado. Quanto à resistência apresentado por idade, tanto entre sete dias como em 28 dias, os valores de resistência foram praticamente os mesmos.

A utilização de agregados sintéticos produzidos a partir da lama vermelha em concretos, mesmo apresentando resultados inferiores, Viegas et.al. (2019) afirmam que com o controle certo da temperatura e do teor de sílica para a sinterização, é possível produzir diferentes tipos de agregados, com resultados diversos de massa específica, alterando assim as medições de resistência.

Outro fator positivo está ligado a resistência à compressão dos corpos de prova de concreto. Os valores obtidos estão diretamente ligados ao agregado sintético, pois quanto mais denso o agregado maior é a resistência à compressão do concreto. Santos et.al. (2014) afirmam que isso se dá devido a relação entre porosidade e resistência do próprio agregado quando aplicado ao concreto, diretamente ligado aos valores de massa específica.

Os materiais agregados utilizados na produção de concreto são extraídos em grandes quantidades. Com a possível aplicação na produção de agregados sintéticos, Souza (2010) afirma que os estoques de lama vermelha em lagoas e sistemas de contenção podem ser reduzidos, tornando assim uma alternativa viável para a redução de impactos ambientais ligados ao despejo de resíduos no meio ambiente além de beneficiar a indústria da construção civil. Rosário (2013) afirma que a utilização da lama vermelha para uso em agregados sintéticos pode reduzir diretamente a exploração do volume matérias primas de fontes naturais, como o seixo.

Santos et.al. (2014) dizem que o direcionamento do resíduo para produção de agregados é uma forma direta de reduzir a quantidade que é despejada e estocada em lagoas e sistemas de contenção, podendo assim, reciclar grande parte do material.

## 7 CONCLUSÃO

A lama vermelha é o resíduo obtido através do processo industrial da bauxita para a obtenção da alumina. O que o torna um resíduo relevante é o seu descarte, por ser feito diretamente ao meio ambiente, sem receber um tratamento prévio, agredindo o local de despejo. Por ser um líquido extremamente básico, tende a escoar para águas subterrâneas e poluí-las, além de desmatar a área ao redor do local de descarte.

Para encontrar melhores formas de trabalhar com a lama vermelha, pesquisadores vem estudando o resíduo nos últimos anos. No início do século XXI, estudos focados para sua utilização no âmbito da engenharia civil teve uma crescente e permanece aumentando até os dias atuais. Ela apresenta um grande potencial de aplicação na área da engenharia civil, mais especificamente na área da construção civil, como em artefatos cerâmicos, argamassas cimentícias e agregados sintéticos. O setor de tratamento de efluentes aparece com bastante relevância entre os temas mais citados.

Para selecionar as áreas de utilização do resíduo em questão, técnicas de caracterização do material são realizadas. As que mais se destacaram nas bibliografias analisadas foram: Difratometria de Raios-X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Fluorescência de Raios-X (FRX), Granulometria, Termogravimetria (TGA) e teste de pH.

Para tornar possível a aplicação, o resíduo deve receber tratamentos prévios. Dentre os tratamentos utilizados, os que mais se destacam são os tratamentos térmico, moagem, calcinação e controle de pH, tornando assim viável sua incorporação e homogeneização a outras misturas.

A revisão bibliográfica torna mais fácil a visualização de diversos assuntos tratados de uma forma ampla, podendo assim observar quais implantações são mais relevantes, mais utilizadas e que possuem maior chance de sucesso. Como o tema em questão vem em uma crescente nos últimos tempos, a revisão bibliográfica analisa os parâmetros mais relevantes de forma geral e expressa o que é mais comum de forma completa.

## 8 PERSPECTIVAS FUTURAS

Com a realização desta revisão bibliográfica foi possível entender a relação entre resíduos e seu descarte ao meio ambiente. A lama vermelha é um resíduo muito agressivo ao meio, principalmente devido as suas formas de descarte. Porém, é observado grande potencial na utilização deste resíduo, principalmente na área da construção civil. Para tornar viável sua aplicação no ramo ela deve passar por tratamentos básicos, o que não torna caro investir em seu emprego.

Conseqüentemente, é possível visualizar possibilidades de pesquisas futuras, como sua aplicação em cerâmicas, argamassas cimentícias e agregados sintéticos e tratamentos de efluentes, podendo assim estudar sua qualidade, desempenho e durabilidade comparado com os materiais convencionais, observando a longo prazo seu custo benefício.

Uma forma de continuar a proposta sugerida é atualizar o banco de dados para pesquisas mais recentes. O trabalho atual traz referências até o ano de 2019. Pelo desenvolvimento tecnológico ser exponencial, novas técnicas podem ser desenvolvidas podendo reduzir custos e diminuindo os impactos ambientais.

Para ampliar os dados de aproveitamento da lama vermelha, desde seu tratamento às aplicações, podem ser analisadas bibliografias internacionais, que podem sugerir soluções que não são feitas no Brasil. Com isso, pode-se desenvolver técnicas ou aprimorar as já existentes, trazendo formas de utilizar a lama vermelha com maior produtividade ou baixo custo. Os artefatos cerâmicos, por se sobressaírem nas aplicações mais utilizadas, poderiam receber maior foco de pesquisa.

Realizar testes laboratoriais para as aplicações mais utilizadas podem trazer resultados concretos de efetividade da reutilização da lama vermelha, podendo analisar dados de custo para utilização como material de reuso.

O mesmo pode ser estudado para demais resíduos, sejam de mineração ou de processos industriais, diminuindo assim seu descarte ao meio ambiente e aumentando sua aplicabilidade nos diversos ramos que abrangem a engenharia civil.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL (São Paulo). Associação Brasileira do Alumínio. **Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio para Bebidas – 2003 a 2017**. 2018. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/latas-de-aluminio-2003-2017/>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

ABAL (São Paulo). Associação Brasileira do Alumínio. **Perfil da Indústria Brasileira do Alumínio**. 2014. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/perfil-da-industria/>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

ALARCON, R. H. G. **PROPRIEDADES E APLICABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL DA CERÂMICA COMPOSTA POR CATALISADOR DE SÍNTESE DE METANOL, LAMA VERMELHA E ESCÓRIA SIDERÚRGICA**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

ALTOÉ, T. P.; BABISK, M. P. **Desenvolvimento de cerâmica utilizando lama vermelha gerada na indústria de beneficiamento de alumina**. Cariacica: CETEM/MCTIC, 2013. 4p.

ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini da; NAVARRO, Guillermo Rafael Beltran. Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de suas Propriedades para Futuras Aplicações. **Cleaner Production Initiatives And Challenges For A Sustainable World**, São Paulo, v. 20, n. 18, p.1-10, maio 2011.

BITENCOURT, C. S. et al. A geopolimerização como técnica para a aplicação do resíduo de bauxita. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n. 345, p. 20-28, Mar. 2012.

CONAMA, Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA; “**Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**”, publicada no Diário Oficial da União em 22/11/2002; Brasília, DF.

CONSTANTINO, V. R. L. et al. **Preparação de compostos de alumínio a partir da Bauxita: Considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático**. Química Nova, São Paulo, v. 25, n. 3, p.490-498, ago. 2002.

COSTA, D. H. P. **DESEMPENHO ESTRUTURAL DE BLOCOS, PRIMAS, MINI-PAREDES E PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL CONFECCIONADAS COM BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS A PARTIR DA MISTURA DE LAMA VERMELHA COM ARGILA**. 2014. 162 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

COSTA, M. G. **AVALIAÇÃO DA LAMA VERMELHA COMO ADSORVENTE DE NÍQUEL E CÁDMIO EM SOLUÇÕES AQUOSAS**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

DEGEN, M. K. et al. ESTUDO DA LAMA VERMELHA COMO FÍLER EM MATRIZES CIMENTÍCIAS. **6º Encontro Nacional Sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil**, Belém, v. 1, n. 6, p. 1-18, out. 2019.

DÍAZ, C. C. H. **ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE USO DE LODO DE ESGOTO E LAMA VERMELHA COMO MATÉRIAS-PRIMAS CERÂMICAS**. 2013. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GARCIA, M. S. C. et al. MODIFICAÇÃO DO RESÍDUO DE BAUXITA GERADO NO PROCESSO BAYER POR TRATAMENTO TÉRMICO. **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Porto de Galinhas, v. 2011, n. 55, p.1-10, jun. 2011.

GUIDOLIN, M. A. **CERÂMICA COM LODO DE INDÚSTRIA DE PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO, LAMA VERMELHA DE TRATAMENTO DE BAUXITA E ESCÓRIA SIDERÚRGICA**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

GUINZELLI, F.; NOWACK, O. **Análise do crescimento populacional versus aumento da geração de resíduos sólidos no município de Faxinal dos Guedes – SC no período de 2006 a 2009**. 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambient, Rio Grande do Sul, 2010.

HILDEBRANDO, E. A. et. al. APLICAÇÃO DO REJEITO DO PROCESSO BAYER (LAMA VERMELHA) COMO MATÉRIA-PRIMA NA INDÚSTRIA DE CERÂMICA ESTRUTURAL. **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Florianópolis, v. 43, n. 1, jun. 1999.;

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados** 2011; v.25, n. 71, p.135-158, São Paulo, 2001.

LAUREANO, J. L. **REDUÇÃO DA ALCALINIDADE DISPONÍVEL DA LAMA VERMELHA MEDIANTE COMPOSIÇÃO COM ARGILAS PARA USO COMO ADITIVO SUPLEMENTAR AO CIMENTO PORTLAND**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

LIBERATO, C. C. et al. Efeito da calcinação do resíduo de bauxita nas características reológicas e no estado endurecido de suspensões com cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 53-61, dez. 2012.

LIMA, M. S. S. **AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE LAMA VERMELHA NO DESEMPENHO À DEFORMAÇÃO PERMANENTE DE MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE**. 2015. 158 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Katálysis**, Florianópolis, v. 10, p.37-45, abr. 2007.

LIRA, M. N. et al. **ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS COM LODO DE ESGOTO CALCINADO**. Congresso Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, Campina Grande, v. 3, n. 1, p.1-3, jun. 2018.

LOPES, M. S. **REMOÇÃO DO CORANTE AZUL REATIVO 19 POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO E EM LAMA VERMELHA NAS FORMAS NATURAIS E TRATADAS POR OZÔNIO**. 2017. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil Ambiental, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2017.

MACÊDO, A. N. et al. Comportamento de blocos cerâmicos estruturais produzidos a partir da mistura de lama vermelha e argila. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 25-36, out. 2011.

MANFROI, E. P. **AVALIAÇÃO DA LAMA VERMELHA COMO MATERIAL POZOLÂNICO EM SUBSTITUIÇÃO AO CIMENTO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MASSAO, L. **Reciclagem da Suécia é tão eficiente que acabou com todo o lixo do país**. 2018. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/blog/contando-ninguem-acredita/reciclagem-da-suecia-e-tao-eficiente-que-acabou-com-todo-o-lixo-do-pais/>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

MENEZES, R. R. et al. **Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas**. Cerâmica, São Paulo, v. 55, n. 335, p. 263-270, set. 2009.

MERCURY, J. M. R.; MORAES, E.; MONTEIRO, C. M. O. CARACTERIZAÇÃO DE CORPOS CERÂMICOS DE UMA MISTURA DE ARGILA, TIJOLOS REFRAATÓRIOS E LAMA VERMELHA PARTE I: UM ESTUDO PRELIMINAR. **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Florianópolis, v. 45, n. 1, p.0202101-0202107, jun. 2001.

PATRICIO, S. M. R. et al. **Blocos solo-cal utilizando resíduo da construção civil**. Cerâmica, São Paulo, v. 59, n. 349, p. 27-33, mar. 2013.

RIBEIRO, D. V. et al. ESTUDO DAS REAÇÕES ALCALIS-SÍLICA ASSOCIADAS AO USO DA LAMA VERMELHA EM ARGAMASSAS COLANTES E DE REVESTIMENTO. **Cerâmica**, São Paulo, v. 58, n. 345, p.90-98, mar. 2012.

RIBEIRO, D. V.; LABRINCHA, J. A.; MORELLI, M. R. EFEITO DA ADIÇÃO DA LAMA VERMELHA NA CORROSIBILIDADE DO CONCRETO ARMADO AVALIADO POR MEIO DE TÉCNICAS ELETROQUÍMICAS. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 5, n. 4, p. 451-467, ago. 2012.

RIBEIRO, D. V. et al. Estudo de Eventuais Patologias Associadas ao Uso da Lama Vermelha em Argamassas Colantes e de Revestimento. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 31-42, jan. 2011.

ROSÁRIO, K. A. **CONCRETO COM UTILIZAÇÃO DE AGREGADO GRAÚDO SINTÉTICO PRODUZIDO A PARTIR DA LAMA VERMELHA: ESTUDOS DE DOSAGEM, PROPRIEDADES E MICROESTRUTURA**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

RUSSO, M. A. T. Tratamento de Resíduos Sólidos. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2003.

SANTOS, D. H. et al. UTILIZAÇÃO DO REJEITO DO PROCESSO BAYER COMO MATÉRIA PRIMA NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS LEVES. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, v. 20, n. 1, p.1-7, out. 2014.

SANTOS, D. H. et al. UTILIZAÇÃO DO REJEITO DO PROCESSO BAYER COMO MATÉRIA PRIMA NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS LEVES. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, v. 20, n. 1, p.1-7, out. 2014.

SILVA FILHO, E. B. et al. LAMA VERMELHA DA INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE ALUMINA: PRODUÇÃO, CARACTERÍSTICAS, DISPOSIÇÃO E APLICAÇÕES ALTERNATIVAS. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p.322-338, fev. 2007.

SILVA FILHO, E. B. et al. TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM GASOLINA UTILIZANDO LAMA VERMELHA COMO ADSORVENTE. **Rio Oil & Gas Expo And Conference**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2004, p.1-6, out. 2004.

SOTTOVIA, L. et. al. Efeito da espessura no desgaste mecânico de revestimentos cerâmicos de lama vermelha. 60º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Águas de Lindóia, p. 1974-1983, mai. 2016.

SOUSA, L. S. **MATERIAIS BASEADOS EM CARVÃO DE PET E LAMA VERMELHA ATIVADOS COM CO<sub>2</sub> PARA REMOÇÃO DE PARACETAMOL EM ÁGUA**. 2017. 69 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2017.

SOUZA, J. A. S. **ESTUDO E AVALIAÇÃO DO USO DE RESÍDUOS DO PROCESSO BAYER COMO MATÉRIA-PRIMA NA PRODUÇÃO DE AGREGADOS SINTÉTICOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2010. 166 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Recursos Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SOUZA, J. A. S. R. et al. REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE BENEFICIAMENTO DA MINERAÇÃO E METALURGIA COMO FONTE DE ZEOLITAS. **Congresso Brasileiro de Cerâmica**, Porto de Galinhas, v. 2011, n. 55, p.1-10, jun. 2011.

TEIXEIRA, A. C. Educação ambiental: caminho para a sustentabilidade. *Revista brasileira de educação ambiental*, v.2, p. 23-31, fev. 2007.

TREINTA, F. T. et al. Metodologi de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. **Production**, [s.l.], v. 24, n. 3, p.508-520, 1 out. 2013. FapUNIFESP (SciELO).

VELLOSO, M. P. Os restos na história: percepções sobre resíduos. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 13, n. 6, p. 1953-1964. Rio de Janeiro, 2007.

VIEGAS, B. et al. PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM. *Ciência e Engenharia de Materiais e O Desenvolvimento Socioambiental*, Belém, v. 1, n. 1, p. 31-38, nov. 2019.

## 10 APÊNDICE

Tabela AP1 - Quantidade de publicações acadêmicas com a palavra-chave "RESÍDUOS" entre os anos de 1990 a 2019.

<b>RESÍDUOS</b>					
<b>Google Acadêmico</b>		<b>Scielo</b>		<b>Periódicos</b>	
<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>
1990	3160	1990	5	1990	234
1991	3560	1991	3	1991	273
1992	4130	1992	1	1992	316
1993	4560	1993	5	1993	287
1994	4810	1994	6	1994	290
1995	5010	1995	11	1995	412
1996	5620	1996	5	1996	385
1997	6440	1997	24	1997	404
1998	7310	1998	41	1998	381
1999	8370	1999	52	1999	297
2000	10700	2000	73	2000	274
2001	12400	2001	69	2001	295
2002	14600	2002	96	2002	356
2003	16500	2003	129	2003	451
2004	17700	2004	132	2004	435
2005	19600	2005	169	2005	546
2006	21700	2006	205	2006	669
2007	24400	2007	238	2007	813
2008	27900	2008	285	2008	1216
2009	29400	2009	342	2009	1507
2010	34400	2010	326	2010	1563
2011	38600	2011	389	2011	1640
2012	39400	2012	401	2012	1730
2013	45500	2013	414	2013	1818
2014	44200	2014	432	2014	1781
2015	49700	2015	443	2015	2045
2016	42400	2016	391	2016	1805
2017	46800	2017	426	2017	1726
2018	48300	2018	402	2018	1490
2019	46300	2019	358	2019	908
<b>TOTAL</b>	<b>683470</b>	<b>TOTAL</b>	<b>5873</b>	<b>TOTAL</b>	<b>26347</b>

Tabela AP2 - Quantidade de publicações acadêmicas com a palavra-chave "LAMA VERMELHA" entre os anos de 1990 a 2019.

<b>LAMA VERMELHA</b>					
<b>Google Acadêmico</b>		<b>SciELO</b>		<b>Periódicos</b>	
<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>
1990	25	1990	0	1990	0
1991	17	1991	0	1991	0
1992	25	1992	0	1992	0
1993	19	1993	0	1993	0
1994	32	1994	0	1994	0
1995	40	1995	0	1995	1
1996	69	1996	0	1996	1
1997	72	1997	0	1997	4
1998	65	1998	0	1998	0
1999	102	1999	0	1999	1
2000	114	2000	0	2000	1
2001	139	2001	0	2001	1
2002	194	2002	0	2002	1
2003	202	2003	0	2003	0
2004	231	2004	0	2004	1
2005	299	2005	1	2005	7
2006	453	2006	0	2006	7
2007	489	2007	3	2007	12
2008	571	2008	2	2008	9
2009	626	2009	0	2009	9
2010	682	2010	2	2010	16
2011	721	2011	2	2011	8
2012	973	2012	5	2012	14
2013	995	2013	1	2013	6
2014	1040	2014	2	2014	10
2015	1150	2015	0	2015	4
2016	1200	2016	0	2016	3
2017	1290	2017	1	2017	7
2018	1050	2018	0	2018	3
2019	875	2019	1	2019	1
<b>TOTAL</b>	<b>13760</b>	<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>TOTAL</b>	<b>127</b>

Tabela AP3 - Quantidade de publicações acadêmicas com a palavra-chave "RESÍDUOS + CONSTRUÇÃO CIVIL" entre os anos de 1990 a 2019.

<b>RESÍDUOS + CONSTRUÇÃO CIVIL</b>					
<b>Google Acadêmico</b>		<b>Scielo</b>		<b>Periódicos</b>	
<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>
1990	41	1990	0	1990	0
1991	60	1991	0	1991	0
1992	87	1992	0	1992	1
1993	97	1993	0	1993	0
1994	123	1994	0	1994	2
1995	134	1995	0	1995	2
1996	239	1996	0	1996	1
1997	285	1997	0	1997	1
1998	357	1998	0	1998	1
1999	452	1999	1	1999	3
2000	763	2000	0	2000	3
2001	992	2001	0	2001	4
2002	1300	2002	1	2002	4
2003	1450	2003	1	2003	8
2004	2120	2004	0	2004	7
2005	2590	2005	0	2005	8
2006	3380	2006	4	2006	10
2007	4000	2007	5	2007	17
2008	4950	2008	2	2008	38
2009	5550	2009	5	2009	44
2010	6460	2010	2	2010	45
2011	7320	2011	3	2011	57
2012	8840	2012	6	2012	86
2013	9560	2013	9	2013	99
2014	8750	2014	9	2014	113
2015	11300	2015	7	2015	120
2016	12200	2016	8	2016	122
2017	12600	2017	11	2017	145
2018	12300	2018	15	2018	136
2019	10700	2019	22	2019	52
<b>TOTAL</b>	<b>129000</b>	<b>TOTAL</b>	<b>111</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1129</b>

Tabela AP4 - Quantidade de publicações acadêmicas com a palavra-chave "RESÍDUOS + CONSTRUÇÃO CIVIL + LAMA VERMELHA" entre os anos de 1990 a 2019.

<b>RESÍDUOS + CONSTRUÇÃO CIVIL + LAMA VERMELHA</b>					
<b>Google Acadêmico</b>		<b>Scielo</b>		<b>Periódicos</b>	
<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>	<b>Ano</b>	<b>Nº Publicações</b>
1990	1	1990	0	1990	0
1991	0	1991	0	1991	0
1992	5	1992	0	1992	0
1993	1	1993	0	1993	0
1994	1	1994	0	1994	0
1995	1	1995	0	1995	0
1996	1	1996	0	1996	0
1997	11	1997	0	1997	0
1998	8	1998	0	1998	0
1999	7	1999	0	1999	0
2000	14	2000	0	2000	0
2001	15	2001	0	2001	0
2002	19	2002	0	2002	0
2003	37	2003	0	2003	0
2004	33	2004	0	2004	0
2005	57	2005	0	2005	0
2006	61	2006	0	2006	0
2007	68	2007	0	2007	0
2008	96	2008	0	2008	0
2009	97	2009	0	2009	0
2010	110	2010	0	2010	1
2011	112	2011	1	2011	1
2012	172	2012	1	2012	2
2013	171	2013	0	2013	0
2014	155	2014	0	2014	0
2015	199	2015	0	2015	1
2016	207	2016	0	2016	1
2017	260	2017	0	2017	0
2018	194	2018	0	2018	0
2019	390	2019	0	2019	5
<b>TOTAL</b>	<b>2503</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>TOTAL</b>	<b>11</b>