



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA**



RAFAELA DO AMARANTE CARNEIRO

**UTILIZAÇÃO DA FRAÇÃO POLIMÉRICA DE RESÍDUOS DE
EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM
COMPÓSITOS DE CIMENTO**

Limeira - SP
2021



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA**



RAFAELA DO AMARANTE CARNEIRO

UTILIZAÇÃO DA FRAÇÃO POLIMÉRICA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS EM COMPÓSITOS DE CIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Soares de Castro

Limeira - SP
2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Tecnologia
Luiz Felipe Galeffi - CRB 8/10385

C215u Carneiro, Rafaela do Amarante, 1993-
Utilização da fração polimérica de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em compósitos de cimento / Rafaela do Amarante Carneiro. – Limeira, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Marco Aurélio Soares de Castro.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia.

1. Lixo eletrônico. 2. Agregados (Materiais de construção). 3. Polímeros. I. Castro, Marco Aurélio Soares de, 1975-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Tecnologia. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Palavras-chave em inglês:

Electronic waste

Aggregates (Building materials)

Polymers

Titulação: Bacharel

Banca examinadora:

Marco Aurélio Soares de Castro [Orientador]

Dagoberto Yukio Okada

Rodrigo Eduardo Córdoba

Data de entrega do trabalho definitivo: 01-12-2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Francisca Lúcia Pinheiro do Amarante e Juvenal Pessoa Carneiro por serem minha inspiração.

Ao professor Marco Aurélio Soares de Castro pela oportunidade de me orientar no desenvolvimento desse trabalho e aos demais professores da Faculdade de Tecnologia que foram base fundamental para o meu aprendizado e crescimento profissional.

Aos meus amigos que me acompanharam ao longo dessa graduação e com quem pude compartilhar dias e noites de estudos.

RESUMO

Os Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico (REE) representa uma variedade de equipamentos que não são mais utilizados, sendo sua geração crescente por razões como o aumento do consumo mundial, avanços tecnológicos e obsolescência. Esses resíduos são constituídos principalmente por polímeros e metais, mas também, podem possuir camadas de proteção química que lhes conferem características perigosas. Como o setor da construção civil utiliza diversos insumos de fontes naturais como agregados para constituição de concretos e argamassas, muitos não renováveis e que por essa e outras razões causam degradações ambientais, a utilização de matérias primas alternativas torna-se estratégia para redução dos impactos ambientais causados pela exploração de materiais. Nessa pesquisa foi realizado o levantamento por meio da revisão bibliográfica e análise crítica sobre a utilização de diferentes tipos de polímeros provenientes de REE na incorporação no concreto como substituição parcial ou incremento do agregado natural. Verifica-se que os tipos de plásticos mais comumente encontrados em diferentes proporções dos REE são: ABS, HIPS e PVC e ao serem utilizados no concreto influenciaram na resistência à compressão conforme foi sendo aumentada as porcentagens de incorporações. Ainda, independentemente do tipo de polímero utilizado, fatores como a adesão do polímero e a mistura não homogênea interferiram negativamente na obtenção de resistência. No entanto, foram observadas obtenções significativas de resistência em incorporações de 5% e 10% de HIPS no concreto, 7,5% e 10% de ABS na argamassa. Conclui-se que apesar de serem porcentagens pequenas, os avanços observados nos estudos demonstram que os REE podem ser utilizados como agregados no concreto, contribuindo com a redução de extração de matéria prima natural, além de possibilitar uma destinação alternativa para esse resíduo.

Palavras-chave: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. Polímeros. Construção civil. Concreto. Resistência à compressão do concreto.

ABSTRACT

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) represents a variety of equipment that are no longer used, and its generation is growing for reasons such as the increase in world consumption, technological advances and obsolescence. These residues are mainly composed of polymers and metals, but they can also have chemical protection that gives them dangerous characteristics. As the civil construction sector uses various inputs from natural sources such as aggregates for the constitution of concrete and mortar, many of which are non-renewable and that for these and other reasons cause environmental degradation, the use of alternative sources becomes a strategy for reducing impacts caused by the exploitation of materials. In this research, a survey was carried out through literature review and critical analysis on the use of different types of polymers from WEEE in concrete incorporation as a partial replacement or increment of the natural aggregate. It is verified that the most common types of plastics found in different proportions of WEEE are: ABS, HIPS and PVC and when used in concrete influence in the compressive strength as it was increased as incorporation percentages. Still, regardless of the type of polymer used, factors such as polymer adhesion and non-homogeneous mixture interfered negatively in obtaining strength. However, strength gains were observed in incorporation of 5% and 10% of HIPS in concrete, 7.5% and 10% of ABS in the mortar. It is concluded that, despite being small percentages, there are advances in studies, showing that WEEE can be used as aggregates in concrete, contributing to the reduction of natural raw material extraction, in addition to enabling an alternative destination for this waste.

Keywords: WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment). Polymers. Building construction. Concrete. Concrete compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidades mundiais de geração de REE em Mt e porcentagem.....	18
Figura 2 - Taxas de reciclagem dos REE em cada continente.	19
Figura 3 - Ciclo do sistema de logística reversa de EEE.	22
Figura 4 - Composição do REE.....	23
Figura 5 – Porcentagens de polímeros encontrados em REE.	26
Figura 6 - Principais etapas da fabricação do cimento.	28
Figura 7 - Representatividade das palavras-chave.....	41
Figura 8 – Ano das publicações dos estudos encontrados.	42
Figura 9 - Tipos de publicações encontradas.	42
Figura 10 - Comparação visual do agregado natural com o agregado de REE (HIPS)...	43
Figura 11 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS ($a/c = 0,53$).....	45
Figura 12 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS ($a/c = 0,49$).....	46
Figura 13 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS ($a/c = 0,45$).....	46
Figura 14 – REE de HIPS moído.....	47
Figura 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS (tempo de cura de 7 dias).	48
Figura 16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS (tempo de cura de 28 dias).	49
Figura 17 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS (tempo de cura de 63 dias).	49
Figura 18 - Amostragem dos resíduos provenientes de telas de LCD.	50
Figura 19 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Argamassa com ABS. .	51
Figura 20 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Argamassa com PVC. .	53
Figura 21 – Obtenção do agregado plástico manufaturado.	54
Figura 22 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Concreto com ABS.....	56
Figura 23 - Agregado miúdo de ABS.....	57
Figura 24 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Concreto com ABS.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Equipamentos eletrônicos e polímero utilizado.....	25
Tabela 2 - Composição média de polímero das categorias de equipamentos REE (% em massa)	27
Tabela 3 - Principais aspectos e impactos da mineração de areia.	31
Tabela 4 - Principais aspectos e impactos da mineração de brita.	33
Tabela 5 – Algumas das principais propriedades de caracterização dos agregados.	34
Tabela 6 – Classes de concreto a partir da resistência à compressão.	35
Tabela 7 – Alguns requisitos da norma NBR 13281:2005.	36
Tabela 8 – Alguns tipos de aplicações de argamassas.	37
Tabela 9 - Critérios para exclusão dos estudos.	40
Tabela 10 - Caracterização dos agregados utilizados e do HIPS.	43
Tabela 11 - Traços com incorporação de HIPS com diferentes relações água/cimento. .	44
Tabela 12 - Traços com incorporação de HIPS.	47
Tabela 13 - Traço utilizado para argamassa com PVC.....	52
Tabela 14 – Caracterização dos agregados utilizados no concreto com ABS.	54
Tabela 15 – Traços do concreto utilizando ABS.....	55
Tabela 16 – Caracterização dos materiais utilizados no concreto com ABS.....	57
Tabela 17 – Traços para concreto com ABS com o plastificante.	58
Tabela 18 – Polímeros utilizados, incorporação e resistências à compressão.....	60
Tabela 18 (cont.)	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de Equipamentos Eletroeletrônicos de acordo com a Diretiva Europeia.....	16
Quadro 2 - Categoria dos Equipamentos Eletroeletrônicos de acordo com ABDI.....	16
Quadro 3 - Polímeros encontrados os REE.....	24
Quadro 4 - Resultado da pesquisa em base de dado internacional.....	39
Quadro 5 - Resultado da pesquisa em base de dado nacional.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRT	Monitores e televisores tubo de raio catódico
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DOI	<i>Digital Object Identifier</i>
EEE	Equipamentos eletroeletrônicos
IEA	Acordo Ambiental Internacional
ISWA	<i>International Solid Waste Association</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
Kt	Quilotonelada
MPa	Megapascal
Mt	Megatoneladas
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PTS	Partículas Totais Suspensas
RAL	Relatório Anual de Lavra
REE	Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos
RoHS	<i>Restrictions of the use of Certain Hazardous Substances</i>
SCYCLE	<i>Sustainable Cycles Programme</i>
SLR	Sistemas de Logística Reversa
UE	União Europeia
UNITAR	Instituto das Nações Unidas para Treinamento e Pesquisa
UNU	Universidade das Nações Unidas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
	2.1 Objetivo Geral	14
	2.2 Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
	3.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE)	15
	3.2 Geração de REE	17
	3.3 Gestão de REE e Logística Reversa	19
	3.4 Composição de REE	22
	3.5 Tipos de plásticos encontrados nos REE	24
	3.6 Composição do concreto e argamassa	27
	3.6.1 Cimento: produção e potenciais impactos associados	28
	3.6.2 Agregados: produção e potenciais impactos associados	30
	3.6.3 Ensaios de avaliação	33
	3.6.4 Classificação dos concretos e argamassas	35
	3.6.5 Estudos Ambientais - Análise de lixiviação	37
4	MATERIAIS E MÉTODOS	39
5	RESULTADOS	41
	5.1 Análise das pesquisas identificadas	41
	5.2 Estudos de incorporação de polímeros provenientes de REE em concreto e argamassa	43
6	CONCLUSÕES	64
7	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

É notório que o avanço tecnológico está provocando mudança nos hábitos de consumo da sociedade pela busca de modernidade e de praticidade, principalmente o aumento do consumo de aparelhos eletrônicos. A consequência do crescimento da modernização é o aumento de resíduos sólidos provenientes dos descartes de equipamentos eletroeletrônicos obsoletos.

No ano de 2019, a geração mundial de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE) foi de 53,6 Megatoneladas (Mt), com projeções de crescimento para 74,7 Mt em 2030, ou seja, um aumento de aproximadamente 39% de REE. Somente no Brasil, a geração no mesmo ano foi de 2.143 quilotoneladas (kt) (FORTI, et al., 2020).

Ainda, os REE são constituídos dentre outros componentes por: partes poliméricas e metais como cádmio, alumínio, arsênio, cobre, bário, mercúrio, cromo, chumbo, entre outros. Além disso, a união dessas partes pode ser feita mediante a utilização de soldas ou cola, que podem receber camadas de proteção química contra os agentes de corrosão, se tornando um resíduo de difícil separação e processamento que incluem substâncias perigosas e potencialmente tóxicas. Desse modo, os REE tornam-se perigosos e oferecem risco à saúde humana e ao meio ambiente, quando descartados incorretamente (ABDI, 2013).

No âmbito da responsabilidade, no Brasil se tem instituído que o recolhimento de resíduos oriundos de equipamentos eletroeletrônicos é obrigatório, sendo necessária a estruturação e implementação da Logística Reversa, daqueles que são responsáveis pela fabricação, importação, distribuição e comercialização desses produtos, para que retornem após o uso do consumidor (BRASIL, 2010).

Ainda, algumas partes dos REE possuem valor comercial como cobre, ouro e platina, que do ponto de vista socioeconômico tem estímulo na movimentação da economia, desde que os resíduos sejam descartados via Logística Reversa (SÃO PAULO, 2014).

A reciclagem de REE está vinculada principalmente à obtenção de elementos de mais alto valor comercial, como o ouro e materiais ferrosos; estes últimos representam a maior parte da composição desses resíduos. Porém a porcentagem de plásticos representa o segundo maior volume.

Com efeito, os plásticos presentes nos REE correspondem a aproximadamente 20% do fluxo global total. E, a título de exemplo, a porcentagem de material plástico recuperada a partir de REE na Suíça em 2020 foi de 17% (ENS; SWICO; SLRS, 2021; SHI et al., 2021). Com isso, é possível identificar que a fração polimérica tem grande representatividade nos resíduos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos.

Junto com a modernização tecnológica, a construção civil é um setor importante para o desenvolvimento social e econômico de um país, porém é um dos que mais consomem recursos naturais, por utilizar diferentes tipos de matérias primas, muitas das quais não renováveis e cuja extração causa diversos impactos ambientais.

Conforme Laruccia (2014), a produção dos materiais que são utilizados na construção civil tem grande potencial de causar impactos que são associados a cada tipo de exploração, destacando principalmente a fabricação e alto consumo mundial do cimento, que está vinculado à sua ampla utilização. Os impactos negativos provenientes do setor, podem estar atrelados ao fato do atraso nos processos e na racionalização, quando comparado com outras atividades industriais (ROTH; GARCIAS, 2009).

Com isso, torna-se relevante investigar possibilidades de substituição e redução da utilização de matérias primas que são utilizadas na construção civil, bem como incorporar a quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos que são gerados mundialmente; e este é contexto em que o trabalho aqui descrito se insere.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento mecânico (resistência à compressão) obtido em estudos que utilizaram resíduos poliméricos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos como substituto do agregado na composição da matriz cimentícia.

2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, buscou-se:

- Identificar os principais tipos de polímeros e de quais REE eles são provenientes;
- Identificar e apresentar a caracterização dos polímeros e traços utilizados;
- Analisar estudos sobre a influência de diferentes frações de substituição do agregado natural sobre a resistência à compressão da matriz cimentícia.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE)

De acordo com a Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, instituído em 4 de julho de 2012, na definição de Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) são incluídos todos os:

[...] equipamentos dependentes de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos para funcionarem corretamente, bem como os equipamentos para geração, transferência e medição dessas correntes e campos, e concebidos para utilização com uma tensão nominal não superior a 1.000 V para corrente alternada e 1.500 V para corrente contínua (UE, 2012).

Desse modo, os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE), são constituídos pelo descarte dos equipamentos que são definidos pela diretiva europeia, abrangendo os seus componentes, subconjuntos e materiais consumíveis (UE, 2012), ou seja, se torna resíduos os equipamentos eletroeletrônicos que não são mais utilizados.

As ações estabelecidas pela Diretiva 2012/19/UE para a redução e prevenção dos impactos que são causados pela geração de REE, visam a proteção do meio ambiente e da saúde humana, uma vez que propõe medidas para o tratamento e reutilização, reciclagem e recuperação desses resíduos.

Devido à grande variedade de equipamentos, a Diretiva traz para aplicação a partir de 15 de agosto de 2018, seis categorias gerais de EEE que são agrupados de acordo com as suas características, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias de Equipamentos Eletroeletrônicos de acordo com a Diretiva Europeia.

Categorias	Exemplos de produtos abrangidos
Equipamentos de ajustes de temperatura	Frigoríficos; equipamentos de ar condicionado. Radiadores a óleo e outros equipamentos que fazem regulação da temperatura e utilizem fluidos que não seja a água
Telas, monitores e equipamentos que possuem tela de superfície superior a 100 cm ²	Telas; televisão; monitores e computadores portáteis
Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes, lâmpadas de sódio sob pressão e lâmpadas de haletos metálicos; lâmpadas de sódio de baixa pressão e LED
Equipamentos de grandes dimensões (com dimensão superior a 50 cm)	Máquinas de lavar roupa; fogões; equipamentos de reprodução de sons e/ou imagens; computadores e impressoras de grandes dimensões; aparelhos de grandes dimensões que fornecem de forma automática produtos e dinheiro
Equipamentos com pequenas dimensões (menores que 50 cm)	Aspiradores; micro-ondas; equipamentos de ventilação; torradeiras; facas elétricas; cafeteiras elétricas; relógios; máquinas elétricas de barbear; balanças; aparelhos de rádio; câmeras de vídeo; brinquedos elétricos; ferramentas elétricas
Equipamentos de informática e telecomunicações de pequenas dimensões (menores que 50 cm)	Telefones celulares, GPS, computadores, impressoras, telefone

Fonte: Adaptado de UE, 2012.

No Brasil, a categorização dos equipamentos eletrônicos é feita em quatro linhas (Quadro 2), conforme apresentado pela Agência Brasileira De Desenvolvimento Industrial (ABDI):

Quadro 2 - Categoria dos Equipamentos Eletroeletrônicos de acordo com ABDI.

Categorias	Exemplos de produtos abrangidos
Linha Branca	Refrigeradores; congeladores; fogões; lavadoras de roupa e louça; secadoras; ar condicionado
Linha Marrom	Televisor tubo/plasma/LCD/LED; aparelhos de DVD; equipamento de áudio/filmadora
Linha Azul	Batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas
Linha Verde	Computadores desktop e laptops, acessórios de informática, <i>tablets</i> e telefones celulares

Fonte: Adaptado de ABDI, 2013.

3.2 Geração de REE

A evolução dos processos industriais e a tecnologia seguem juntas tornando-se cada vez mais sofisticadas. Esse progresso está atrelado ao aumento do consumo mundial por equipamentos eletrônicos, e como consequência direta, o aumento da quantidade de REE. Com isso, a destinação correta desses resíduos emergentes representa um grande desafio para os países desenvolvidos e aqueles que estão em desenvolvimento (MIHAI et al., 2019).

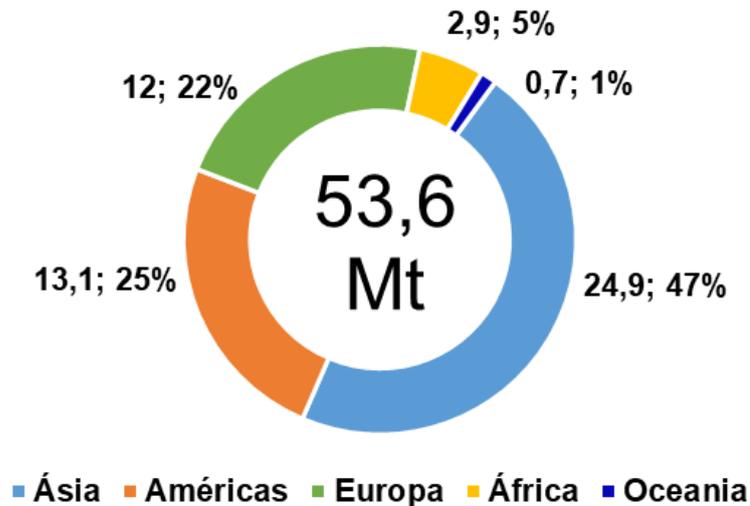
Existem alguns fatores relacionados ao comportamento dos consumidores que contextualizam o aumento da geração desses resíduos, como por exemplo devido as tendências e avanços tecnológicos, a obsolescência planejada e poucas opções de reparo (ISLAM et al., 2021; PARAJULY et al., 2019).

A baixa cobertura e acesso aos serviços de coleta de resíduos é mais significativo em países de média e baixa renda, o alcance em escala global da área rural fica em torno de 68,4% (MIHAI, 2017). Diante disso, as taxas de geração mundial demonstram discrepâncias em relação a geração per capita de REE, sendo agravado junto ao manuseio incorreto, as práticas de queimas a céu aberto realizados pelo setor informal, além de importações ilegais de lixo eletrônico principalmente para países da África e da Ásia (MIHAI et al., 2019; BORTHAKUR, et al., 2019).

Segundo o relatório “*Global E-waste Monitor 2020*”, elaborado pela *International Telecommunication Union (ITU)*, o *Sustainable Cycles Programme (SCYCLE)* atualmente co-organizado pela Universidade das Nações Unidas (UNU) e o Instituto das Nações Unidas para Treinamento e Pesquisa (UNITAR) e a *International Solid Waste Association (ISWA)*, em 2019 mundialmente foram geradas cerca de 53,6 milhões de toneladas métricas (Mt) de REE e com previsão de aumento para 74,7 Mt até o ano de 2030 (FORTI et al., 2020). É possível estimar uma tendência crescente da geração de lixo eletrônico de 3% a 5% ao ano (SHITTU et al., 2021).

A Figura 1 apresenta as quantidades geradas de lixo eletrônico nos continentes, elaborado a partir do Relatório de 2020. É possível visualizar que os continentes que mais produziram resíduos eletrônicos foram a Ásia, as Américas e a Europa, nessa ordem.

Figura 1 - Quantidades mundiais de geração de REE em Mt e porcentagem.



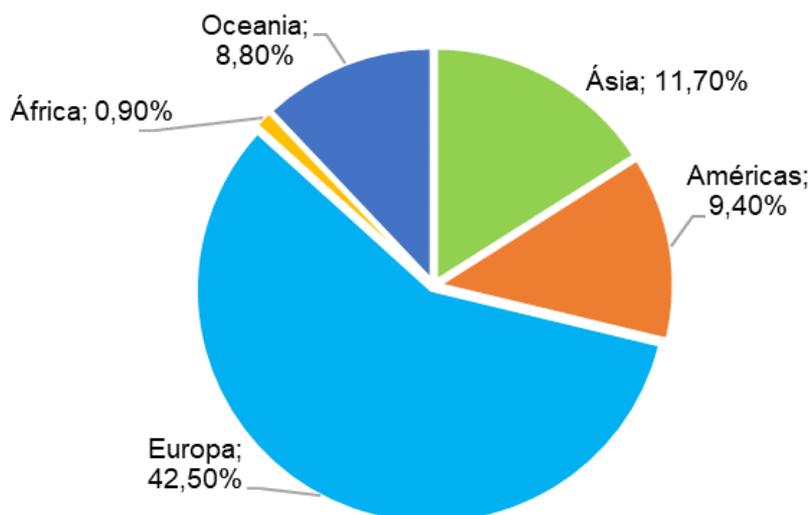
Fonte: Adaptado de Forti et al., 2020.

Ainda, vale ressaltar que é difícil realizar a mensuração dos resíduos em escala global, devido à falta de informações e dados confiáveis, além de possuir particularidades em termos demográficos, sociais, econômicos e em relação às legislações que são aplicadas em cada país. Tomando como base essas informações, a quantidade de REE gerado nas residências e que acaba sendo descartado junto ao lixo comum, ainda é de difícil determinação exata, sendo agravante para a poluição e desperdício de recurso (MIHAL et al., 2019).

Entretanto, mesmo que a taxa de reciclagem tenha aumentado cerca de 17,4% em 2019 correspondendo a um crescimento anual de 0,4 Mt, a geração de REE teve um aumento anual de 2 Mt, ou seja, a reciclagem não está acompanhando no mesmo ritmo o crescimento global de lixo eletrônico (FORTI et al., 2020).

A Figura 2 mostra as taxas de resíduo coletado e reciclado para cada continente. A destinação de cerca de 44,3 Mt de lixo eletrônico gerado é incerto, alguns produtos descartados podem ser reutilizados e reconicionados, porém, muitos ainda são enviados ilegalmente para países que possuem renda baixa ou média mediante o pretexto de reutilização ou sucata, o volume que correspondente a esses movimentos transfronteiriços varia de 7 a 20% do lixo eletrônico gerado (FORTI et al., 2020).

Figura 2 - Taxas de reciclagem dos REE em cada continente.



Fonte: Adaptado de Forti et al., 2020.

O Brasil teve a geração de 2.143 quilotoneladas métricas (Kt) de REE no ano de 2019, que corresponde a aproximadamente 10,2 kg per capita, porém, a quantidade de EEE que foi disponibilizado no mercado foi de cerca de 13,3 kg per capita, sendo a quantidade reciclada de apenas 0,14 Kt de acordo com o Reporte de Sustentabilidade Bienal do ano de 2011 - 2012 (FORTI et al., 2020).

O fluxo de movimentação de REE ainda é complexo, e o resíduo que não é documentado oficialmente representa cerca de 82,6% do lixo eletrônico global, o que torna sua rastreabilidade e os valores coletados imprecisos (FORTI et al., 2020).

3.3 Gestão de REE e Logística Reversa

A gestão dos REE pode ocorrer de diferentes formas em cada país de acordo com as normativas implantadas. Em 2019, cerca de 78 países já possuíam legislações e políticas de regulamentação, o que representa um crescimento de cobertura legislativa de aproximadamente 27%, quando comparado com o ano de 2014 (FORTI et al., 2020).

Na União Europeia a Diretiva 2012/19/UE, é aplicável aos Estados-Membros, e determina as medidas que devem ser tomadas para que se reduza a geração de REE, com base no princípio da responsabilidade estendida do produtor, cabendo a esses financiar a coleta e a gestão dos resíduos oriundos de seus produtos. Vale ressaltar que são estabelecidas metas mínimas para recolhimento dos resíduos com

base na geração de cada Estado-Membro, sendo a partir de 2019 a taxa de coleta dos EEE disponibilizados no mercado dos três últimos anos, de 65% levando em consideração o peso médio dos equipamentos. Ainda, devem considerar em todas as etapas a proteção do meio ambiente e a saúde humana, bem como a preservação da matéria prima (UE, 2012).

A introdução da Diretiva na Europa auxiliou os Estados-Membros na busca pela estruturação e mecanismos para a gestão de REE, avançando com suas medidas regulamentadoras e aumentando as metas de coleta (SHITTU et al., 2021).

A Convenção da Basileia é um Acordo Ambiental Internacional (IEA), sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito com 53 países signatários entrou em vigor em 1992. Vale ressaltar que a Convenção não tem influência direta na gestão de REE, porém devido às substâncias perigosas que esses resíduos podem conter, fica dentro do que visa o acordo que é promover o gerenciamento de resíduos perigosos de forma ambientalmente adequada entre os Países-membros (UNEP, 2019).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), constituída em 2010, pela Lei nº 12.305 foi o marco no gerenciamento de resíduos, que até então possuía como referência a Resolução 257/99 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) como legislação federal, que definia para os resíduos como pilhas e baterias contendo substâncias como chumbo, cádmio e mercúrio, ações de obrigatoriedade para a reutilização, reciclagem e o tratamento (SOUZA; TEIXEIRA, 2015).

De acordo com o artigo 9º da Lei nº 12.305/2010, a solução para a gestão do resíduo segue a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos rejeitos de forma ambientalmente adequada. Vale destacar que o artigo 49 proíbe a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, mesmo que seja para realização de tratamentos, reformas, reuso, reutilização ou recuperação, principalmente devido as características potencialmente poluidoras que possam causar danos ao meio ambiente e a saúde (BRASIL, 2010).

A PNRS também foi associada a evolução quanto à gestão e o gerenciamento de resíduos no Brasil, visto que traz um conjunto de instrumentos, diretrizes, metas e ações a serem adotadas com o objetivo de fazer a gestão e o gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos. Além disso, incluiu os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores no ciclo de vida do

produto, a fim de obter o compromisso compartilhado e instituir práticas satisfatórias de gerenciamento (SANCHES, 2018).

A Logística Reversa é um dos instrumentos instituídos pela PNRS, abrangendo ações e procedimentos para a coleta de resíduos sólidos e o retorno ao setor empresarial, ou seja, realizar o fluxo reverso de produtos que já foram utilizados pelos consumidores, com isso, é possível retornar os produtos eletrônicos e seus componentes ao setor produtivo para que possa ser utilizado como fonte de matéria prima (SANCHES, 2018).

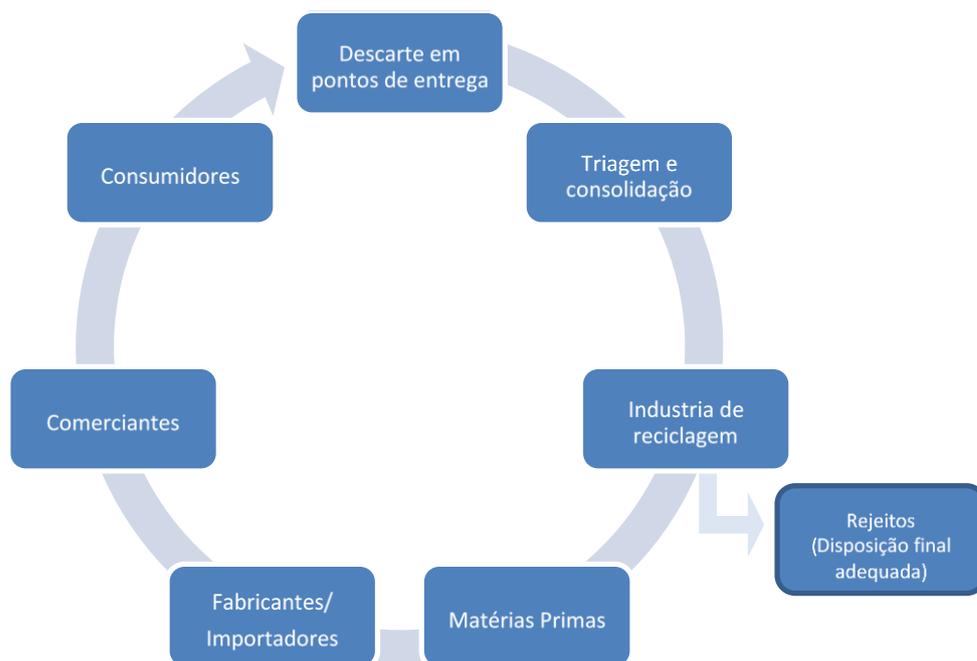
A responsabilidade de implementação dos Sistemas de Logística Reversa (SLR) deve partir dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, sem levar em consideração os serviços públicos de limpeza urbana, visando o recolhimento dos produtos pós uso do consumidor. A legislação obriga a implantação de SLR para os produtos eletroeletrônicos, incluindo seus componentes, mas também para resíduos de: agrotóxicos (incluindo as embalagens), pneus, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, óleos lubrificantes (seus resíduos e embalagens) (BRASIL, 2010).

De acordo com o Decreto nº 7.404/2010, a forma de operacionalização da logística reversa, ocorre por meio de acordos setoriais, regulamentos do Poder Público ou termos de compromisso.

O Brasil possui acordo setorial do Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletrônicos e seus Componentes assinado em 31/10/2019, que prevê ações para que ocorra o retorno dos resíduos pelo consumidor e o atendimento da PNRS, por meio das entidades gestoras de forma coletiva constituídas pelas empresas fabricantes e importadoras, ou associações de fabricantes e importadores, estas ficam responsáveis pelas etapas de estruturação, implementação e operacionalização do sistema de logística reversa a partir do acordo setorial (SINIR, 2019).

A operacionalização do SLR de produtos eletroeletrônicos e seus componentes provenientes da utilização doméstica, conforme Decreto nº 10.240/2020, inicia-se pelo descarte por parte do consumidor em pontos de recebimento, os comerciantes irão receber, acondicionar e armazenar adequadamente e temporariamente o REE e os fabricantes e importadores devem dar a destinação ambientalmente adequada, conforme ilustrado na Figura 3 (BRASIL, 2020).

Figura 3 - Ciclo do sistema de logística reversa de EEE.



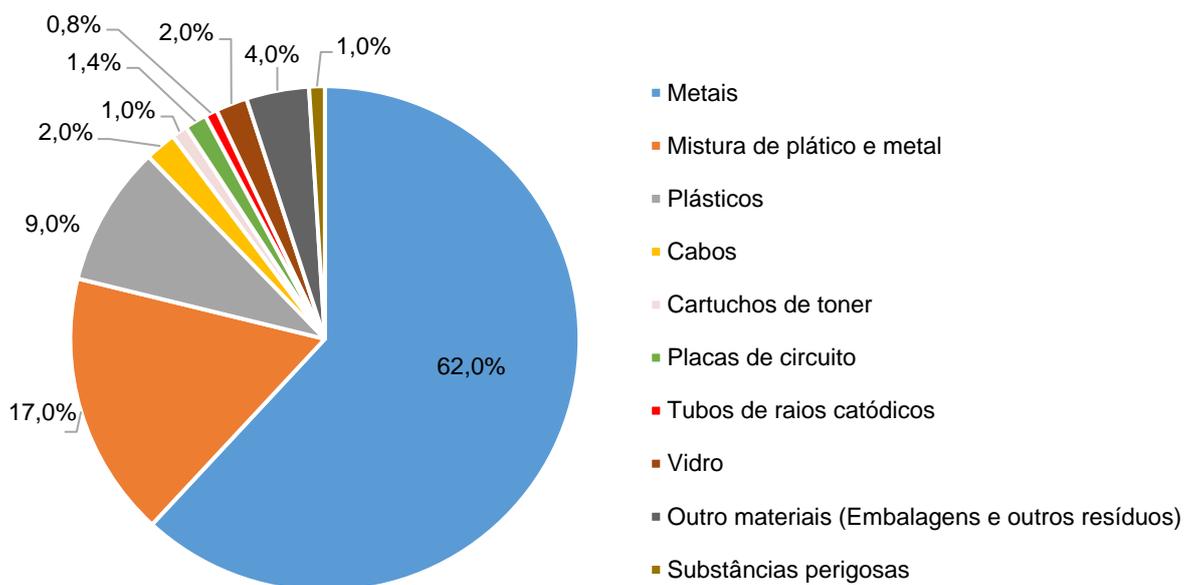
Fonte: Adaptado de SINIR, 2020.

3.4 Composição de REE

Após serem descartados, os Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) compõem um volume de resíduo caracterizado por conter materiais perigosos e valiosos. Entretanto, com a grande diversidade de materiais que são encontrados nos REE, é difícil estimar uma composição geral desses resíduos, sendo os mais comuns materiais ferrosos e o plástico (KAYA, 2016; BUEKENS; YANG, 2014).

A Figura 4, mostra a composição de REE que foram recuperados, no ano de 2020 na Suíça. Os materiais recicláveis representaram cerca de 62% do volume total, seguido da mistura de plástico com metal em 17% e plásticos em 9%, sendo a parcela de substâncias perigosas cerca de 1% (ENS; SWICO; SLRS, 2021).

Figura 4 - Composição do REE.



Fonte: SENS; SWICO; SLRS, 2021.

Os plásticos provenientes dos resíduos eletrônicos representam cerca de 20% de fluxo global total, e que apesar dos esforços realizados em busca da reutilização e reciclagem de metais valiosos, placas de circuitos dos REE, a reciclagem dos plásticos eletrônicos ainda está atrasada (SHI et al., 2021).

De acordo com Buekens e Yang (2014), a reciclagem de plásticos que são provenientes de REE não é comum, estando a atividade relacionada principalmente a recuperação de metais preciosos, ainda, muitos plásticos possuem aditivos tóxicos como retardadores de chama bromados, metais pesados (chumbo, mercúrio, cádmio e cromo hexavalente), pigmentos e plastificantes, com isso, devem ser analisados também os riscos envolvendo essas substâncias.

Além disso, devido às características e complexidades de cada tipo de aparelho eletrônico, a obtenção da fração de plásticos passíveis de serem reciclados são limitados, devido principalmente à mistura de diferentes polímeros (CARDAMONE et al., 2021).

Dessa forma, a diretiva da União Europeia (UE) conhecidas como *Restrictions of the use of Certain Hazardous Substances* (RoHS), instituída em 2003 através da Diretiva 2002/95/EC, restringe a utilização de substâncias tóxicas nos equipamentos eletroeletrônicos, como: chumbo (Pb); mercúrio (Hg); cádmio (Cd); cromo hexavalente (Cr (VI)), bifenilas polibromadas (PBBs) e éteres difenil-polibromados (PBDE). Em

2011, ocorreu atualização para a RoHS 2 por meio da Diretiva 2011/65/EC, sendo o regulamento vigente, destaca-se que no Brasil, ainda não existem regulamentações que limitam o uso de substâncias perigosas na fabricação de EEE (XAVIER; CARVALHO, 2014; MMA, 2020).

3.5 Tipos de plásticos encontrados nos REE

Os polímeros são constituídos pela repetição de unidades químicas conhecidas como monômeros, de origem natural ou sintética. Por possuírem baixo custo de produção e versatilidade, são utilizados em diferentes segmentos industriais, principalmente como substitutos de materiais como metal, madeira e o vidro. Na composição dos EEE, os polímeros são empregados como isolantes térmicos e/ou elétricos e como componentes estruturais (SILVA; RABELO, 2017; BUEKENS; YANG, 2014).

O REE pode conter mais de quinze tipos diferentes de plásticos (Quadro 3), dentre quais citam-se:

Quadro 3 - Polímeros encontrados os REE.

Sigla	Significado	Nome em Português
ABS	<i>Acrylonitrile-Butadiene-Styrene</i>	Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
HIPS	<i>High-Impact Polystyrene</i>	Poliestireno de Alto Impacto
PA	<i>Polyamide</i>	Poliamida
PBT	<i>Polybutylene Terephthalate</i>	Polibutileno Tereftalato
PC	<i>Polycarbonate</i>	Policarbonato
PC/ABS	<i>Polycarbonate /Acrylonitrile-Butadiene-Styrene</i>	(Mistura de) Policarbonato/ Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno
PC/PS	<i>Polycarbonate / Polystyrene</i>	(Mistura de) Policarbonato / Poliestireno
PE	<i>Polyethylene</i>	Polietileno
PE/POM	<i>Polyethylene / Polyoxymethylene</i>	(Mistura de) Polietileno / Poli-Oxi-Metileno
PET	<i>Polyethylene Terephthalate</i>	Polietileno Tereftalato
POM	<i>Polyoxymethylene</i>	Poli-Oxi-Metileno
PP	<i>Polypropylene</i>	Polipropileno
PS	<i>Polystyrene</i>	Poliestireno
PU	<i>Poly-Urethane</i>	Poliuretano
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>	Policloreto de Vinila
SAN	<i>Styrene-Acrylonitrile</i>	Estireno Acrilonitrilo

Fonte: Adaptado de Martinho et al., 2012.

A Tabela 1 apresenta os principais polímeros utilizados e em quais equipamentos eletrônicos são empregados.

Tabela 1 - Equipamentos eletrônicos e polímero utilizado.

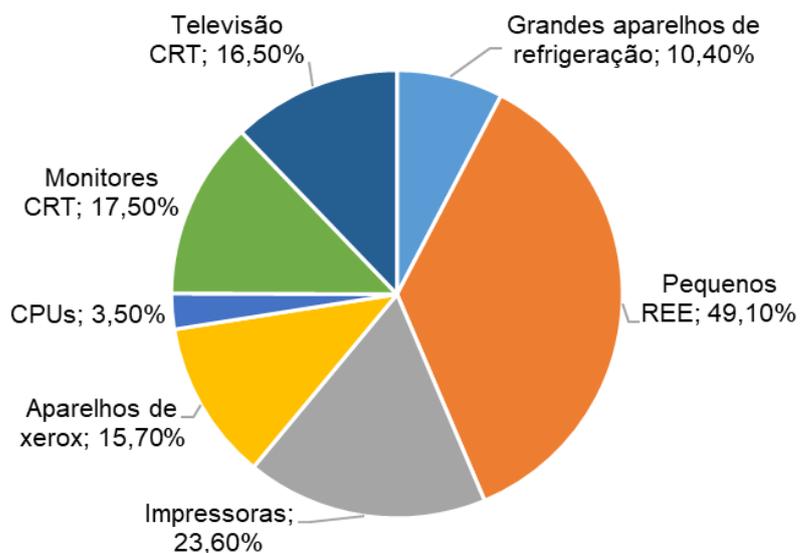
Polímero	Utilização
ABS ¹	Caixas e fundição de telefones, pequenos eletrodomésticos, microondas, telas planas e certos monitores
HIPS ²	Componentes dentro de refrigeradores (forro, prateleiras); caixas de pequenos eletrodomésticos
PC ³	Caixas de equipamentos de comunicação e iluminação
Resinas Epóxi	Placas de circuito impresso (PCB)
PP ⁴	Componentes dentro de máquinas de lavar e lava-louças, peças fundidas de pequenos eletrodomésticos
PPO ⁵ (mistura de HIPS/PPE ⁶)	Alguns pequenos eletrodomésticos como secadores de cabelo, componentes de TV, computador, impressoras e copiadoras
PC/ABS	Pequenos eletrodomésticos (por exemplo, chaleiras, barbeadores)

¹ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*); ²HIPS (*high-impact polystyrene*); ³PC (*polycarbonate*); ⁴PP (*polypropylene*); ⁵PPO (polioxifenileno); ⁶PPE (éter de polifenileno).

Fonte: BUEKENS; YANG, 2014.

No estudo realizado por Martinho et al. (2012), foram avaliados diferentes tipos de REE provenientes de 3.417 equipamentos eletroeletrônicos, que englobam desde pequenos REE (batedores, balanças, rádios, relógios, torradeiras), aparelhos de fax, impressoras, CPUs, aparelhos de xerox, grandes aparelhos de refrigeração (geladeiras e freezers), monitores e televisores de tubo de raio catódico (CRT), totalizando aproximadamente 6.000 kg de plástico. A Figura 5 demonstra as porcentagens dos plásticos encontrados na caracterização dos aparelhos.

Figura 5 – Porcentagens de polímeros encontrados em REE.



Fonte: Adaptado de Martinho et al., 2012.

Com relação a variedade de polímeros, os monitores e os televisores CRT apresentaram cerca de 10 tipos diferentes, para os pequenos REE houve uma variação de 21 tipos, os demais equipamentos estudados ultrapassaram 13 polímeros diferentes (MARTINHO et al., 2012).

A partir do subproduto de plásticos que são obtidos de uma instalação de reciclagem de metal, Maris et al. (2015) classificou os polímeros encontrados de um lote de 10 toneladas, nas seguintes categorias de equipamentos eletroeletrônicos: T.I (Tecnologia da Informação) que abrange computadores, telefones, impressoras, entre outros; equipamentos culinários; áudio e vídeo; aspiradores de pó; ferramentas elétricas manuais; equipamentos de cuidado pessoal e brinquedos. A Tabela 2 contém a relação das porcentagens em massa dos polímeros, dentre eles os principais foram: ABS; HIPS; PP; PMMA (*poly (methyl methacrylate)*); PC; PA, além de misturas de polímeros.

Tabela 2 - Composição média de polímero das categorias de equipamentos REE (% em massa)

Polímeros	T.I (%)	Equipamentos culinários (%)	Áudio e vídeo (%)	Aspiradores de pó (%)	Ferramentas elétricas manuais (%)	Cuidado pessoal (%)	Brinquedo (%)
ABS	21,6	18,9	40,7	49,4	7,0	62	60,3
HIPS	49,8	0,2	36,9	-	-	-	33,8
PP	-	67	1,2	30,8	70,5	5,2	-
PC/ABS	11,6	0,2	0,2	6,2	-	6	-
PMMA	5,9	2,1	1,7	-	-	0,6	-
PC	4,4	3,7	0,6	1,7	5,4	0,8	-
PA	0,1	2,7	1,5	2,9	-	5,0	1,0
Outros	6,6	5,1	17,2	9	17,1	20,3	4,8

Fonte: Maris et al., 2015.

3.6 Composição do concreto e argamassa

A utilização do concreto ocorre principalmente no setor da construção civil, sendo composto pela mistura de maneira adequada de pedras britadas (agregados graúdos), areia natural ou artificial (agregados miúdos), cimento (aglomerante), água e aditivos, estes melhoram a consistência e características do concreto (FERNANDES; PORTO, 2015).

As argamassas são produzidas a partir da mistura homogênea de cimento, agregado miúdo (areia) e água (ABCP, 2002).

As características após o endurecimento da mistura que compõe o concreto dependem do planejamento e proporção entre os materiais utilizados, ou seja, é importante estabelecer previamente o traço para aquisição das características mecânicas desejadas. Vale destacar que a resistência do concreto pode ser influenciada pela quantidade de cimento, agregados, água e o tempo de cura, conhecido como a idade do concreto (CARVALHO; FILHO, 2014).

Antigamente utilização de agregados no concreto levava em consideração as questões econômicas, porém, não é o único fator que influencia a utilização desses materiais na pasta de cimento, eles podem conferir diferentes características a mistura de acordo com as suas propriedades (NEVILLE, 2016).

A seguir são apresentadas as características de dois componentes do concreto de especial interesse nesta pesquisa e os principais impactos ambientais de extração e/ou obtenção associados a cada um deles.

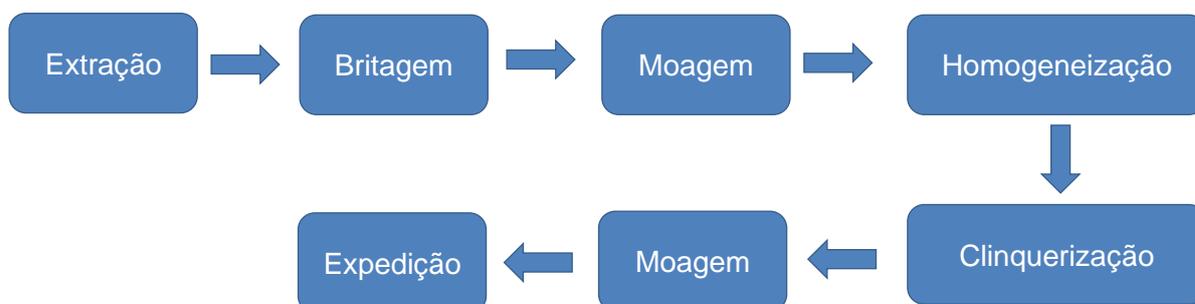
3.6.1 Cimento: produção e potenciais impactos associados

O cimento também conhecido como cimento Portland, devido ao local de origem da sua criação possui propriedades ligantes com enrijecimento após a adição e reação com a água. Existe uma variação ampla de tipos diferentes de cimento levando em consideração por exemplo, o tempo de pega e as resistências mecânicas (BATTAGIN, 2011).

A indústria cimentícia é umas das mais crescentes mundialmente, no ano de 2018, a produção estimada global atingiu cerca de 3,99 bilhões de toneladas, sendo cerca de 53,5 milhões de toneladas representadas pela fabricação brasileira, e mais da metade da produção mundial, cerca de 54,5% é representada pela produção chinesa (CEMBUREAU, 2019).

A composição do cimento conta com matérias primas como o calcário, argila, minério de ferro e gesso e as principais etapas de fabricação são apresentadas na Figura 6. Os potenciais impactos relacionados a sua produção podem estar presentes em todas as fases, inferindo-se, portanto, que é uma indústria que apresenta um potencial de poluição elevado (CARVALHO, 2008).

Figura 6 - Principais etapas da fabricação do cimento.



Fonte: Adaptado de Lima, 2018.

É importante destacar que as jazidas de extração dos minerais que compõem o cimento em geral são próximas as fabricas, sendo uma das principais etapas de degradação ambiental. Os potenciais impactos ambientais que estão associados a fase de exploração da matéria prima, quando ocorrer em pedreiras podem causar desmoronamentos e erosões, decorrente das vibrações do terreno e das cavas de extração, bem como poluição do ar devido a emissões gasosas, lançamento de fragmentos e liberação de poeiras, ou quando ocorrer a exploração por dragagem de

rios, podem acarretar em redução da qualidade da água e perturbação de habitats (CARVALHO, 2008).

No processo de clínquerização são utilizados combustíveis fósseis para que os fornos giratórios atinjam uma temperatura de 1450°C e ocorra a calcinação, que transforma a mistura majoritária dos minérios de calcário e argila em proporções de 75 a 80% e 20 a 25% respectivamente no clínquer, vale destacar que, podem ser utilizados aditivos corretivos como os minérios de ferro, areia e bauxita. Em seguida, a mistura é resfriada e moída com gesso para finalmente obter o produto final, o cimento. Para contribuir com as suas propriedades físicas, são acrescentadas como matérias primas na etapa da moagem, a escória siderúrgica, cinzas volantes e pozolanas (CNI, 2012).

O alto consumo energético requerido no processo de calcinação e as emissões de gás carbônico (CO₂) que contribui para o efeito estufa, caracterizam algumas das preocupações que envolvem a produção do cimento. Os fornos de alta temperatura que queimam os combustíveis fósseis para a produção do clínquer correspondem de 30% a 40% das emissões diretas de gás carbônico (CO₂) e o processo de calcinação representa de 60% a 70% das emissões (SNIC, 2019a).

Em escala global, cerca de 7% das emissões totais de CO₂ são provenientes da indústria cimenteira. No Brasil, as emissões da fabricação de cimento representam 2,6% das emissões nacionais, destaca-se que entre os anos de 1990 e 2018 ocorreu uma redução de 16%, principalmente devido às ações de adição ou substituição do clínquer por matérias primas alternativas e uso de combustíveis alternativos com menores fatores de emissão de CO₂ (SNIC, 2019b).

Ainda, os impactos do processo produtivo do cimento também ocorrem diretamente sobre a saúde humana, principalmente pela exposição ao material particulado. No estudo realizado por Maury e Blumenschein (2012) mostrou que, os moradores que residem próximo as fábricas de cimento apresentaram alta incidência de doenças pulmonares, asma e bronquite, o que pode estar relacionado as Partículas Totais Suspensas (PTS), que são partículas que ficam suspensas no ar com tamanho menor que 100 micra e são emitidas pelas instalações.

3.6.2 Agregados: produção e potenciais impactos associados

Os agregados são materiais que ficam distribuídos no concreto e integram a maior parte do seu volume, em decorrência de serem mais baratos que o cimento e por manter maior estabilidade e durabilidade à mistura. Ainda, para obter um concreto com melhores propriedades, os agregados utilizados podem ser divididos em dois grupos diferentes considerando suas dimensões de acordo com a sua distribuição granulométrica, como os agregados miúdos (areia) e agregados graúdos (brita) (NEVILLE, 2016).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 7.211 (ANBT, 2009), o agregado miúdo é caracterizado por passar pela peneira que possui abertura de 4,75 mm e o agregado graúdo são os grãos que passam pela peneira de 75 mm e que ficam retidos na peneira de 4,75 mm. Ainda, não podem conter substâncias que afetem o concreto, ou seja, devem ser duros, compactos, estáveis e limpos.

No Brasil a mineração de areia e/ou brita é uma das atividades mais importantes, devido ao aumento de exploração das reservas minerais e produção, estimulando o crescimento econômico (VIEIRA; REZENDE, 2015).

Vale destacar que as produções ocorrem próximas aos locais de consumo, geralmente perto das malhas urbanas, devido ao baixo valor unitário dos agregados. É estimado um raio de 100 km entre o local de consumo e a jazida que para que a produção seja viável economicamente, entretanto, existem também restrições de ordem social, ambiental e legislativa (LA SERNA; REZENDE, 2009).

A obtenção da areia depende do local de depósito, mas pode ser realizada basicamente por três métodos: pela dragagem (em leitos de rios ou cavas inundadas), desmonte hidráulico (em cavas secas ou mantos de rochas) e lavra por tiras (em depósitos de grandes extensões horizontais) (CHAVES; WHITAKES, 2012).

Destaca-se que a areia obtida da lavra em rio seja utilizada principalmente na construção civil, pois pode ser empregada sem a necessidade de tratamento prévio, como exemplo, sem a inclusão ou eliminação de agentes químicos (VIEIRA; REZENDE, 2015). No Brasil, cerca de 90% da fabricação de areia é proveniente de lavras extraídas em leitos de rios (FERREIRA; JUNIOR, 2012).

De acordo com a Associação Nacional das Entidades Produtoras de Agregados para Construção Civil (ANEPAC) em 2014 a produção de areia foi de cerca 439 milhões de toneladas.

A exploração de areia por meio de cavas inundadas ocasiona um passivo ambiental, que na maioria dos casos não é recuperado, ainda, ocorre a destruição da cobertura vegetal e severas alterações na paisagem, devido as valas de grandes dimensões que podem chegar até 300 metros de comprimento (LUZ; ALMEIDA, 2012).

Silva (2012), cita que para a mineração de areia e brita, é necessária a obtenção da Licença Social, para aceitação da comunidade, visto também, que geram empregos. Os principais aspectos e impactos identificados na mineração de areia, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Principais aspectos e impactos da mineração de areia.

Etapa	Principais aspectos	Principais impactos
Abertura do acesso ao local (decapeamento e abertura da cava)	Emissão de partículas e ruídos; Alteração do habitat da fauna Alteração da paisagem; Vazamento de óleo e combustível do maquinário.	Incômodo à população; Perda de biodiversidade; Alteração da qualidade do ar; Impacto visual; Poluição do solo e água.
Construção da infraestrutura e instalação de equipamentos	Geração de ruídos; Geração de resíduos; Geração de efluentes; Derramamento de combustível.	Poluição e contaminação da água e solo; Poluição visual; Proliferação de doenças; Afastamento da fauna.
Instalação e operação da draga e tubulações	Geração de ruídos; Vazamento/derramamento de óleo.	Incomodo a população; Poluição e contaminação da água e solo;
Separação e estocagem	Risco à saúde/acidentes; Derramamento de areia.	Poluição do ar; Incômodo à população; Acidentes de trabalho.
Carregamento e transporte	Vazamento de óleo; Risco de acidente; Geração de particulados e gases; Emissão de ruídos.	Poluição e contaminação da água, ar e solo; Incômodo à população; Acidentes e doenças do trabalho.
Construção dos taludes e desmonte das instalações	Acidentes com veículos; Geração de resíduos; Aumento da turbidez da água.	Poluição e contaminação da água, ar e solo.
Reflorestamento	Plantio de árvores não adequada; Uso de defensivo agrícola e adubo.	Perda da biodiversidade; Contaminação do solo e água; Eutrofização da água.

Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

No estudo realizado por Filho et al. (2011), foram mapeados 45 impactos decorrentes da extração de areia do Rio Canindé no estado do Ceará, sendo que cerca de 64% são de caráter adverso que em sua maioria (86%) são de baixa magnitude e de média duração, sendo os de longa duração cerca de 10% dos impactos negativos, além disso, foram identificados impactos benéficos que representam cerca de 36% dos impactos totais, como o crescimento do comércio e geração de empregos e renda.

Para a produção de pedras britadas, podem ser utilizadas quase todas as rochas maciças que apresentem característica de alto grau de coesão, ou seja, rochas que possuem altas resistências, principalmente ao intemperismo mecânico (DNPM, 2018).

De acordo com a consolidação das informações obtidas do Relatório Anual de Lavra (RAL) disponibilizadas pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em 2015 a representação da produção nacional de brita foi composta por rochas plutônicas como: granitos, gnaisse e diorito em cerca de 64%, rochas vulcânicas como basalto, riolito e diabásio, em cerca de 30%, e as demais frações foram compostas por rochas calcáreas e outras rochas como arenito, quartzito, cascalho, xisto e micaxisto. Ainda, no mesmo ano, a produção nacional foi de cerca de 212 milhões de toneladas (DNPM, 2018).

As operações de produção de brita ocorrem de forma abrangente seguindo as etapas de: abertura do acesso ao local, obtenção de acesso a rocha com a retirada do solo, comumente conhecido como decapeamento, perfuração de furos na rocha para inserção de materiais explosivos, desmonte da rocha, transporte interno, britagem, estocagem e transporte externo até os pontos de consumo (SILVA, 2012).

Os potenciais impactos decorrentes das etapas de obtenção da brita estão resumidas na Tabela 4.

Tabela 4 - Principais aspectos e impactos da mineração de brita.

Etapa	Principais aspectos	Principais impactos
Abertura do acesso ao local (decapeamento)	Emissão de partículas e ruídos; Alteração do habitat da fauna Alteração da paisagem; Vazamento de óleo e combustível do maquinário.	Perda de biodiversidade; Alteração da qualidade do ar; Impacto visual; Poluição do solo e água.
Perfuração e detonação da rocha com explosivos	Geração de ruídos; Lançamento de fragmentos e materiais particulados; Geração de resíduos; Risco de acidentes.	Incomodo a população; Danos as pessoas e propriedades ao entorno.
Transporte para beneficiamento (britagem/separação)	Emissão de partículas; Geração de ruídos; Risco de acidentes; Geração de efluentes.	Incomodo a população; Poluição da água e solo; Acidentes de trabalho.
Estocagem e transporte	Emissão de partículas; Geração de efluentes; Geração de ruídos.	Incomodo a população; Poluição da água e solo.

Fonte: Adaptado de Silva, 2012.

Os principais impactos identificados a partir da extração de brita a céu aberto, no estudo de Fortes e Mungambe (2020) realizado na pedreira denominada João Baptista Eusébio, em Moçambique, foram: emissão de gases e poeira, ruídos, vibrações, erosão, alteração da paisagem e influência sobre a fauna local, mas também, desenvolvimento socioeconômico regional.

3.6.3 Ensaio de avaliação

Os agregados exercem grande influência na mistura de concreto ou argamassa, com isso, devem ser realizados ensaios de caracterização desses materiais, avaliando suas propriedades físicas, mecânicas, mineralógicas e químicas para que atendam aos requisitos aplicáveis à indústria da construção civil. Vale ressaltar que, muitas características dos agregados são provenientes da formação natural da rocha matriz originária (LUZ; ALMEIDA, 2012; NEVILLE, 2016).

Algumas das principais propriedades dos agregados a serem avaliadas e que influenciam a mistura no estado fresco ou endurecido de concreto e argamassas são apresentadas na Tabela 5. Destaca-se que, ao serem feitas variações nas matrizes cimentícias, realizando a utilização de agregados reciclados os ensaios de caracterização também devem ser aplicados aos novos agregados empregados,

sendo que esses também irão ter influência direta nas propriedades da mistura (GONÇALVES, 2011).

Tabela 5 – Algumas das principais propriedades de caracterização dos agregados.

Propriedade	Descrição
Forma do grão	De difícil determinação, porém, pode ser baseada na medida das dimensões e algumas das características geométricas. De forma geral: as areias – apresentam geralmente forma arredondadas; e as rochas britadas – apresentam vértices e arestas, com formas irregulares, alongadas e lamelares.
Textura	A textura é determinada pela superfície do agregado, sendo lisa ou áspera, a análise é realizada de forma visual.
Distribuição Granulométrica	Como o agregado possui diferentes dimensões, é realizada a avaliação de cada diâmetro em consideração a sua massa total, por meio do peneiramento em faixas de diferentes aberturas de peneiras. O ensaio é orientado pela NORMA ABNT NBR NM 248:2003, em seguida é feita a classificação dos agregados.
Módulo de finura	É obtido a partir do ensaio de granulometria, com a somatória das porcentagens retidas em todas as peneiras dividindo o resultado por 100, com o valor obtido, é determinado o quanto o agregado é fino de acordo com o decrescimento do módulo de finura.
Porosidade / Absorção de água	A determinação da porosidade é importante, pois influencia na dinâmica da água do interior do agregado. Já a absorção de água está relacionada ao volume de poros presentes na partícula e que estão acessíveis a entrada de água.
Massa específica¹ real	É a relação da massa do agregado seco com o seu volume, não sendo considerado os poros permeáveis. De acordo com Neville (2016), a massa específica média dos agregados naturais pode variar de 2,6 a 2,7 g/cm ³ .
Massa unitária² (<i>bulk density</i>)	Propriedade utilizada para conversões de massa e volume, leva em consideração suas dimensões e forma. É possível também, obter faixas de variações para os agregados em agregados leves ou pesados.

¹De acordo com a norma ABNT NBR 9.935:2011, para a massa específica também pode ser considerado os termos: densidade ou densidade de massa.

²De acordo com a norma ABNT NBR 9.935:2011, para a massa unitária também pode ser considerada os termos: densidade aparente ou densidade de massa aparente.

Fonte: Neville, 2016; Luz; Almeida, 2012; Bauer, 2008.

Ainda, a determinação da dosagem dos materiais é um processo que leva em consideração parâmetros objetivos e subjetivos de acordo com finalidade de uso da mistura que está sendo preparada (RECENA, 2011). Contudo, quando são utilizados agregados reciclados é importante analisar algumas características do concreto como por exemplo, a trabalhabilidade no estado fresco e a resistência à compressão, no estado endurecido (TABILLE, 2017).

A trabalhabilidade está relacionada com a mistura formada pela pasta de cimento, com água, ar e a incorporação de agregado miúdo e graúdo, seguindo a finalidade do uso do concreto e fatores como o lançamento, a cura e o adensamento, sendo um parâmetro de interpretação subjetiva, porém, vale destacar que a maior

fluidez terá maior trabalhabilidade, mas, sem que ocorra a segregação dos seus constituintes da mistura (RECENA, 2011).

De acordo com Recena (2011), apesar da dosagem do concreto considerar diferentes fatores, a resistência a compressão é a que melhor caracteriza seu desempenho, devendo sempre ser realizada. Ainda, existem fatores que influenciam na resistência, alguns são: quantidade de água, relação água/cimento (a/c), idade, grau de adensamento, temperatura, qualidade do agregado e sua dimensão máxima (RECENA, 2011; NEVILLE, 2016).

3.6.4 Classificação dos concretos e argamassas

A classificação do concreto a partir da resistência a compressão realizada principalmente na Europa, pode ser feita em três categorias abrangentes, conforme apresentado por Mehta e Monteiro (2014) em: concreto de baixa resistência (menor que 20 MPa), concreto de resistência moderada (entre 20 a 40 MPa) e concreto de alta resistência (maior que 40 MPa).

Com relação a massa específica seca do concreto para fins estruturais, podem ser realizadas classificações de acordo com a norma NBR 8953, que classifica em concreto normal a partir da massa específica seca entre 2.000 kg/m³ e 2.800 kg/m³, concreto leve com massa específica inferior a 2.000 kg/m³ e concreto pesado com massa específica superior a 2.800 kg/m³ (ABNT, 2015).

Ainda para fins estruturais levando em consideração a resistência à compressão a norma ABNT NBR 8953 apresenta classes para o concreto, conforme a Tabela 6, sendo que, para resistências inferiores a 20 MPa os concretos não são considerados estruturais (ABNT, 2015).

Tabela 6 – Classes de concreto a partir da resistência à compressão.

Classe de resistência Grupo I	Resistência à compressão (MPa)	Classe de resistência Grupo II	Resistência à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953, 2015.

Ressalta-se que não existem normas estabelecidas para concretos que utilizam agregados reciclados para usos estruturais. Dentre as normas de agregados reciclados da ABNT, cita-se a NBR 15.116 (ABNT, 2004), que estabelece requisitos para agregados provenientes de resíduos sólidos da construção civil, para uso em pavimentação e preparo de concreto, porém, sem função estrutural.

Para as argamassas a NBR 13281 (ABNT, 2005) apresenta sete requisitos que são divididos em seis classes, para argamassas que serão utilizadas em paredes e tetos, com características e propriedades que apoiam a sua classificação, porém, a título de comparação, serão adotadas as classificações levando em consideração a resistência à compressão e a densidade de massa aparente da argamassa endurecida (Tabela 7).

Tabela 7 – Alguns Requisitos da norma NBR 13281:2005.

Classe	P (Resistência à compressão - MPa)	M (Densidade de massa aparente no estado endurecido - kg/m³)
1	≤2,0	≤ 1.200
2	1,5 a 3,0	1.000 a 1.400
3	2,5 a 4,5	1.200 a 1.600
4	4,0 a 6,5	1.400 a 1.800
5	5,5 a 9,0	1.600 a 2.000
6	> 8,0	> 1.800

Fonte: ABNT NBR 13281, 2005.

Em consulta as fichas técnicas de alguns fabricantes de argamassas, foram identificadas as aplicações e resistências oferecidas (Tabela 8), vale ressaltar que, a norma NBR 13281:2005, possui seção para argamassas industrializadas, do qual descreve as informações que devem ser impressas nas embalagens, incluindo as classes de enquadramento.

Tabela 8 – Alguns tipos de aplicações de argamassas.

Tipo de Argamassa	Fabricante	Aplicação	Resistência à compressão
Argamassa para assentamento de alvenaria estrutural	PRECON	Assentamentos de alvenaria estrutural.	10,0 MPa
Argamassa polimérica para reparos superficiais	WEBER - SAINT GOBAIN	Reparo superficial ou reconstituição de estruturas de concreto.	20 a 30 MPa
Argamassa Graute Matrix	VOTORANTIM	Preenchimento de alvenaria estrutural.	15 a 40 MPa
Argamassa Múltiplo Uso	VALEMASSA	Revestimento de paredes e tetos (internos e externos); Assentamento de blocos.	> 6,1 MPa

3.6.5 Estudos Ambientais - Análise de lixiviação

A utilização de resíduos sólidos como matéria prima aumentou principalmente na construção civil, com a incorporação de materiais alternativos incentivando a indústria da reciclagem, e que possibilita a redução da busca por materiais naturais, consequentemente, reduzindo os impactos do extrativismo e até contribuindo para estabilização por solidificação de diferentes resíduos. Porém, é importante avaliar antecipadamente os resíduos que serão utilizados na produção dos componentes construtivos, visto que, existe a interação desses com o meio ambiente, podendo ocorrer a lixiviação de substâncias (KULAKOWSKI et al., 2016).

No âmbito ambiental, como forma de previsão dos impactos da disposição do resíduo ou da sua utilização na matriz de cimento, os ensaios de lixiviação e solubilização podem ser empregados na análise (KULAKOWSKI et al., 2016).

O ensaio de lixiviação acordo com a ABNT NBR 10.005 (ABNT, 2004b) é definido como sendo o:

“Processo para determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator” (ABNT, 2004b).

E o ensaio de solubilização, que é normatizado pela NBR 10.006 (ABNT, 2004c) traz os requisitos para obtenção do extrato solubilizado por meio da lavagem em meio aquoso dos resíduos sólidos.

De acordo com Kulakowski et al. (2016) no Brasil, não são utilizados protocolos de avaliação ambiental para produtos com a incorporação de resíduos, sendo aplicadas as normas para os ensaios de lixiviação e solubilização.

Os resíduos plásticos provenientes de EE possui metais e retardadores de chama bromados, sendo importante realizar ensaios ambientais que levem em consideração as concentrações das substâncias perigosas em sua composição.

Peisino et al. (2019), analisaram a lixiviação de metal de diferentes polímeros provenientes de REE que em sua maioria foram ABS e HIPS, nos resultados, o único metal perigoso lixiviado do REE foi o antimônio (Sb) em 23,6 mg/kg, porém, quando envolto em uma casca de argamassa (cimento e água), a lixiviação foi reduzida para 6,0 mg/kg, evidenciando a estabilização desse metal na matriz cimentícia.

A título de comparação considerando a classificação dos resíduos conforme a norma brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004a), o antimônio confere característica de toxicidade ao polímero de REE identificado no estudo de Peisino et al (2019), podendo ser caracterizado como resíduo classe 1.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido por meio de levantamento bibliográfico sobre a incorporação de polímeros provenientes de resíduos eletroeletrônicos em concretos e argamassas. O conjunto de palavras-chave empregadas nas bases de dados foram compostas de tal forma com objetivo de abrangência do tema pesquisado.

O Quadro 4 apresenta a base de dado internacional aplicada na pesquisa, bem como as palavras-chave da forma como foram utilizadas nas buscas e os resultados encontrados com a aplicação de um filtro temporal de onze anos (2010 a 2021), devido aos estabelecimentos de legislações voltadas a gestão e gerenciamento de resíduos, com destaque para a PNRS instituída em 2010 e a Diretiva 2012/19/UE instituída em 2012.

Quadro 4 - Resultado da pesquisa em base de dado internacional.

Base de dados	Palavras- chave ¹	Quantidade de estudos encontrados
Web of Science	¹ <i>polymer electronic waste in concrete</i>	16
	² <i>e-plastic waste concrete</i>	19
	³ <i>e-waste aggregate mortar concrete</i>	10
	⁴ <i>concrete mortar plastic weee</i>	6
	⁵ <i>concrete electronic waste plastic aggregate</i>	34

Fonte: Autora, 2021.

Na Web os Science foram encontrados 85 estudos, deste, foram identificadas 21 duplicidades que foram desconsideradas, restando ao total 64 estudos. Ainda, foram considerados artigos e dissertações de mestrado.

Do total restante, foi realizada análise por meio da leitura dos resumos e em seguida feito o refinamento das informações, com isso, foram estabelecidos critérios para seleção do conjunto final, conforme apresentado na Tabela 9, e excluídos os estudos que: não apresentaram o tipo de polímero utilizado, não apresentaram o REE de origem, não abordaram diretamente o tema pesquisado, artigos pagos e artigos com *Digital Object Identifier* (DOI) não identificados, obtendo ao final cinco estudos aplicáveis que representam um aproveitamento de cerca de 8% do total pesquisado.

¹Traduções aproximadas: ¹ Polímeros de resíduos eletroeletrônicos em concreto; ² Concreto com plástico de resíduo eletrônico; ³ Concreto e argamassa com agregado de resíduo eletroeletrônico; ⁴ Concreto e argamassa com plástico de resíduo eletroeletrônico; ⁵ Concreto com agregado de resíduo eletroeletrônico plástico.

Tabela 9 - Critérios para exclusão dos estudos.

Critérios de exclusão	Quantidade de estudos	Representatividade
Não apresenta o tipo de polímero utilizado	14	22%
Não apresentaram o REE de origem	5	8%
Não aborda diretamente o tema pesquisado	34	53%
Artigos sem acesso (pagos)	5	8%
Artigos com DOI não identificado	1	2%

Fonte: Autora, 2021.

Já a base de dados nacional consultada foi a Base Digital de Teses e Dissertações (bdtd.ibict.br), com a mesma restrição temporal (2010 a 2021) e replicada as mesmas palavras-chave, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Resultado da pesquisa em base de dado nacional.

Base de dados	Palavras- chave	Quantidade de estudos encontrados
Base Digital de Teses e Dissertações (bdtd.ibict.br)	polímero de REE no concreto	2
	polímero de REE na argamassa	1
	substituição do agregado por REE	2

Fonte: Autora, 2021.

Na Base Digital de Teses e Dissertações, foram encontrados cinco estudos, porém duas duplicidades. Por meio da leitura dos resumos e utilizando os mesmos critérios de exclusão da base internacional, foram excluídos dois estudos, restando apenas um que aborda os termos pesquisados.

Na análise dos artigos aplicáveis ao presente trabalho, foi considerado o tipo de REE, o polímero obtido da sua segregação, o componente do concreto que foi substituído, bem como as proporções adotadas e o ensaio de resistência à compressão do concreto ou argamassa produzidos, considerando o maior tempo de cura. Os dados também foram sintetizados em gráficos e tabelas a partir das interpretações obtidas e apresentados ao final da seção de resultados.

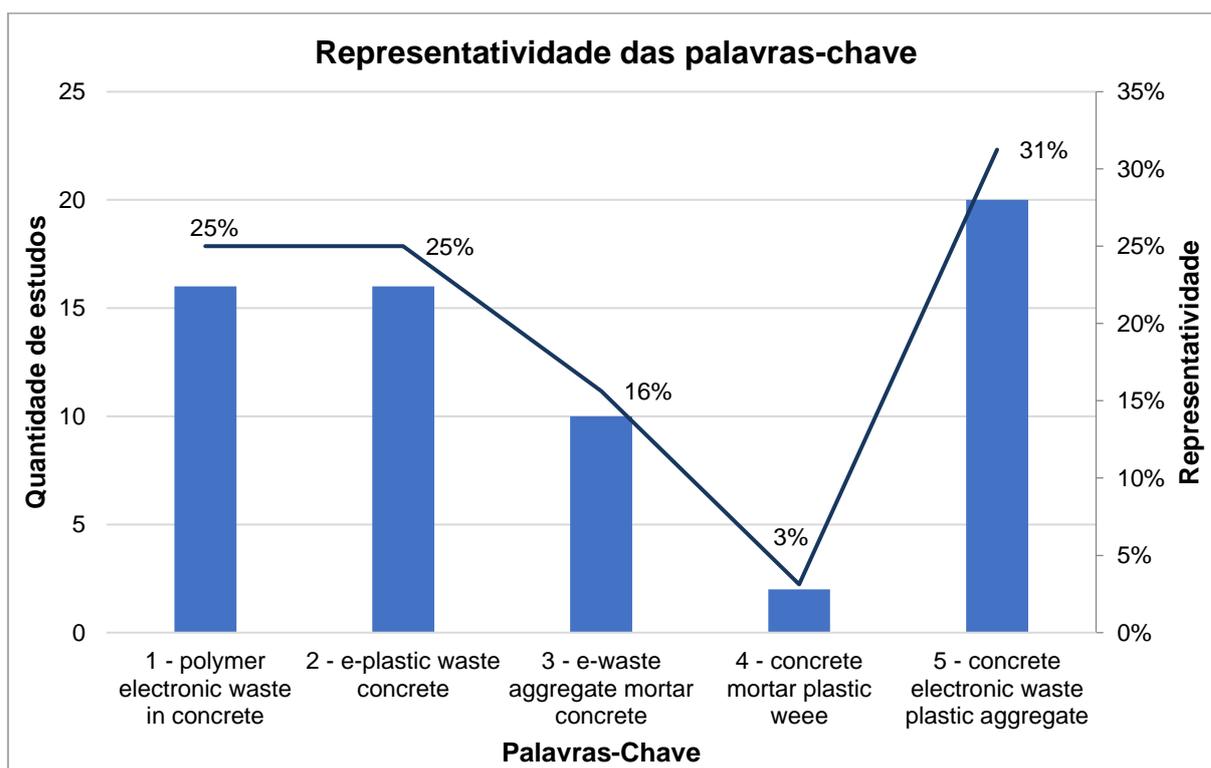
5 RESULTADOS

5.1 Análise das pesquisas identificadas

Logo de início, destaca-se que a busca na base nacional identificou apenas um trabalho relevante, com todas as outras pesquisas tendo sido recuperadas da base internacional, o que representa indício de baixa produção científica na área.

Com a utilização das diferentes palavras-chave, foram encontrados na base internacional um montante de 64 estudos com o filtro temporal previamente definido, a Figura 7 mostra a representatividade das palavras-chave utilizadas na base de dado com relação a quantidade total de estudos encontrados.

Figura 7 - Representatividade das palavras-chave.

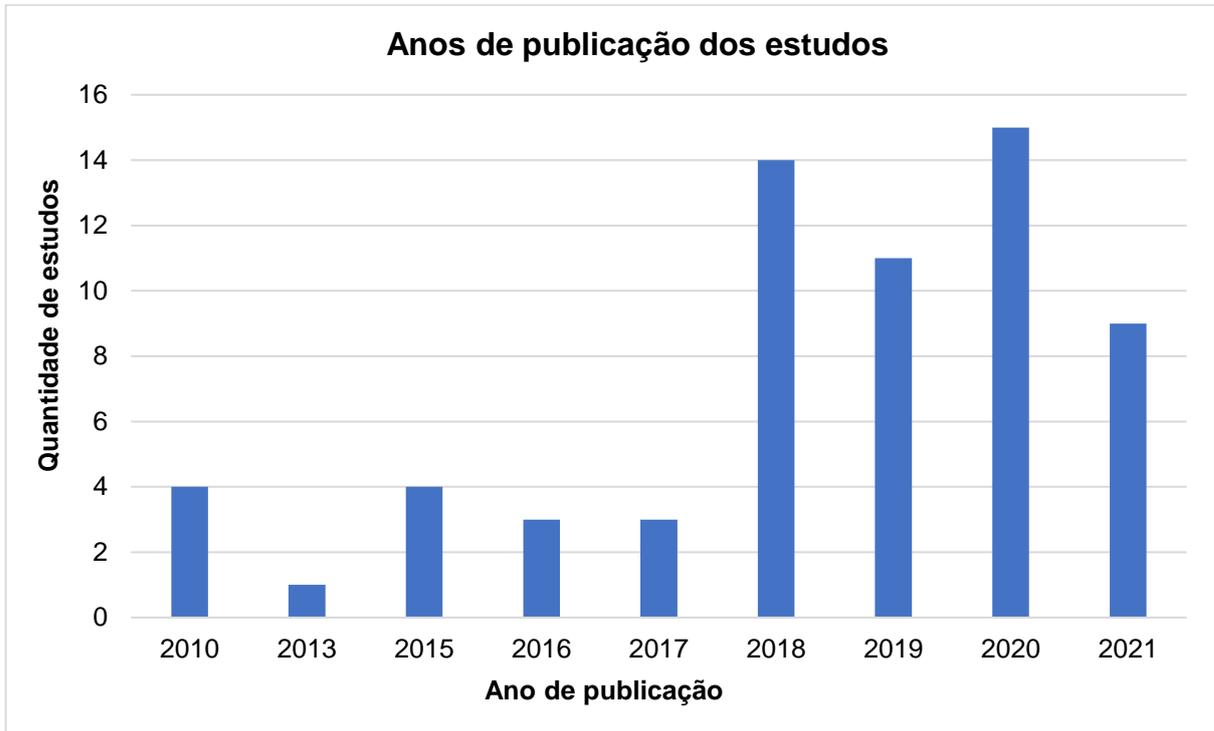


Fonte: Autora, 2021.

Conforme apresentado na Figura 7, a utilização das palavras-chave: *polymer electronic waste in concrete*, *e-plastic waste concrete* e *concrete electronic waste plastic aggregate*, representam cerca de 81% do total dos estudos identificados.

Já a Figura 8 apresenta os anos de publicação dos estudos encontrados por meio das palavras-chave aplicadas.

Figura 8 – Ano das publicações dos estudos encontrados.

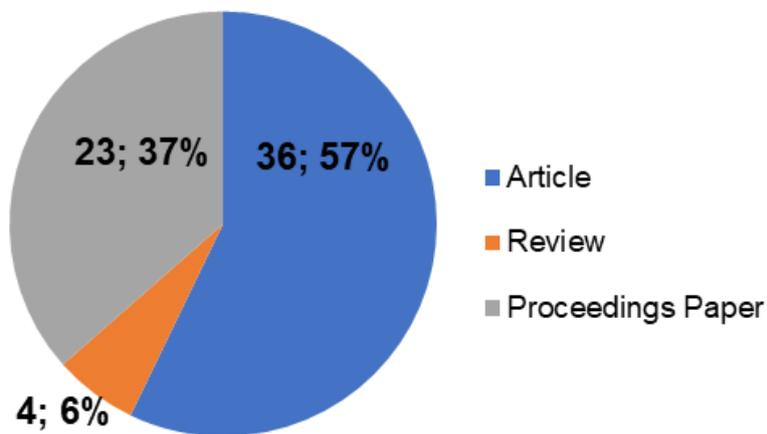


Fonte: Autora, 2021.

Nota-se que entre os anos de 2018 a 2021 houve um crescimento do número de publicações relacionadas a REE, com isso, pode-se aferir que ocorreu uma evolução significativa com relação a quantidade de pesquisas e um aumento de 23% dos estudos e trabalhos com interesse pelo tema.

Ainda, a maior parcela de publicações está relacionada a artigos (*article*) conforme apresentado na Figura 9, seguida “anais de eventos” (*proceedings paper*).

Figura 9 - Tipos de publicações encontradas.



Fonte: Autora, 2021.

5.2 Estudos de incorporação de polímeros provenientes de REE em concreto e argamassa

Kumar e Baskar (2015) caracterizaram a fração polimérica de computadores obsoletos que apresentaram predominantemente o polímero HIPS. Após triturados e peneirados, foram separados para serem utilizados como substituinte do agregado graúdo. O concreto foi preparado com cimento Portland, granito (agregado graúdo) e areia (agregado miúdo). Vale destacar que as características físicas dos agregados graúdos apresentam diferenças, enquanto o natural que apresenta superfície áspera, o agregado de HIPS apresentou forma e textura escamosa com superfície lisa (Figura 10).

Figura 10 - Comparação visual do agregado natural com o agregado de REE (HIPS).



Fonte: Adaptado de Kumar e Baskar, 2015.

A Tabela 10 apresenta a caracterização dos agregados utilizados, bem como do agregado de HIPS. Nota-se principalmente que o agregado de HIPS não possui nenhuma porcentagem de absorção de água, ainda, pelo módulo de finura observa-se que o agregado de HIPS é mais graúdo que o granito. Realizando uma comparação pela densidade aparente, o agregado de HIPS é 63% mais leve que o granito utilizado como agregado natural.

Tabela 10 - Caracterização dos agregados utilizados e do HIPS.

Propriedade avaliada do agregado	Tipo agregado		
	Agregado grosso (granito)	Agregado fino (areia de rio)	Agregado de HIPS
Densidade aparente (kg/m ³)	1.624	1.656	595
Módulo de finura	6,86	2,53	7,69
Gravidade específica (adimensional)	2,79	2,65	1,29
Absorção de água (%)	0,64	1	0

Fonte: Adaptado de Kumar e Baskar, 2015.

As misturas foram preparadas com diferentes relações água/cimento (a/c) e substituições parciais de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do agregado natural por HIPS. As quantidades de cimento e agregado fino foram fixadas, aumentando-se o traço de HIPS e diminuindo o traço de agregado grosso. A Tabela 11, apresenta os traços calculados.

Tabela 11 - Traços com incorporação de HIPS com diferentes relações água/cimento.

Traço	Relação água/cimento	Cimento Portland Comum (Kg/m ³)	Agregado miúdo (Kg/m ³)	Agregado graúdo (Kg/m ³)	Agregado polimérico HIPS (Kg/m ³)
0%	0,53	340	799,23	1.147,81	0
10%	0,53	340	799,23	1.033,02	53,07
20%	0,53	340	799,23	919,04	106,14
30%	0,53	340	799,23	803,66	159,12
40%	0,53	340	799,23	688,28	212,46
50%	0,53	340	799,23	572,91	264,89
0%	0,49	367,34	789,14	1.133,22	0
10%	0,49	367,34	789,14	1.019,98	52,40
20%	0,49	367,34	789,14	907,44	104,80
30%	0,49	367,34	789,14	793,52	157,11
40%	0,49	367,34	789,14	679,59	209,78
50%	0,49	367,34	789,14	565,67	261,55
0%	0,45	400	777,93	1.117,22	0
10%	0,45	400	777,93	1.005,49	51,65
20%	0,45	400	777,93	894,55	103,31
30%	0,45	400	777,93	782,24	154,87
40%	0,45	400	777,93	669,94	206,80
50%	0,45	400	777,93	557,64	257,83

Fonte: Adaptado de Kumar e Baskar, 2015.

O efeito da forma escamosa do agregado de HIPS, influenciou na perda de fluidez da mistura, a medida em que foi sendo substituído o agregado natural para todas as relações a/c (KUMAR e BASKAR, 2015).

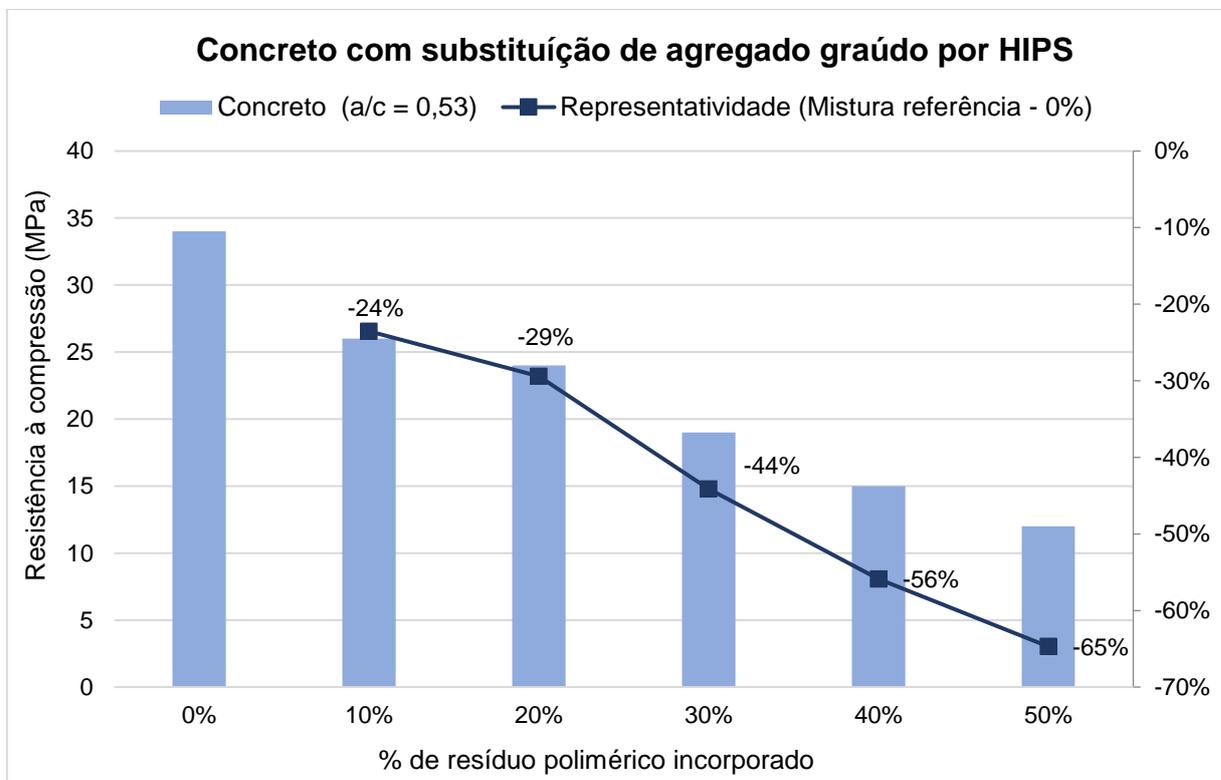
Os resultados estimados a partir da interpretação do ensaio de resistência à compressão do estudo, mostraram que para 28 dias de cura, os valores de resistência foram reduzidos conforme aumentou a incorporação de HIPS (Figuras 11, 12 e 13), quando comparados com os valores obtidos pela mistura referência (0%). Nota-se que para a relação a/c menor de 0,45, as reduções das resistências foram menores.

Mesmo assim, as resistências para as porcentagens de 10%, 20% e 30% ficaram acima de 30 MPa para a relação a/c igual a 0,45, próximo a resistência obtida

pelos concreto referência, já as amostras com incorporação de 40% e 50%, obtiveram valores de resistência abaixo de 30 MPa.

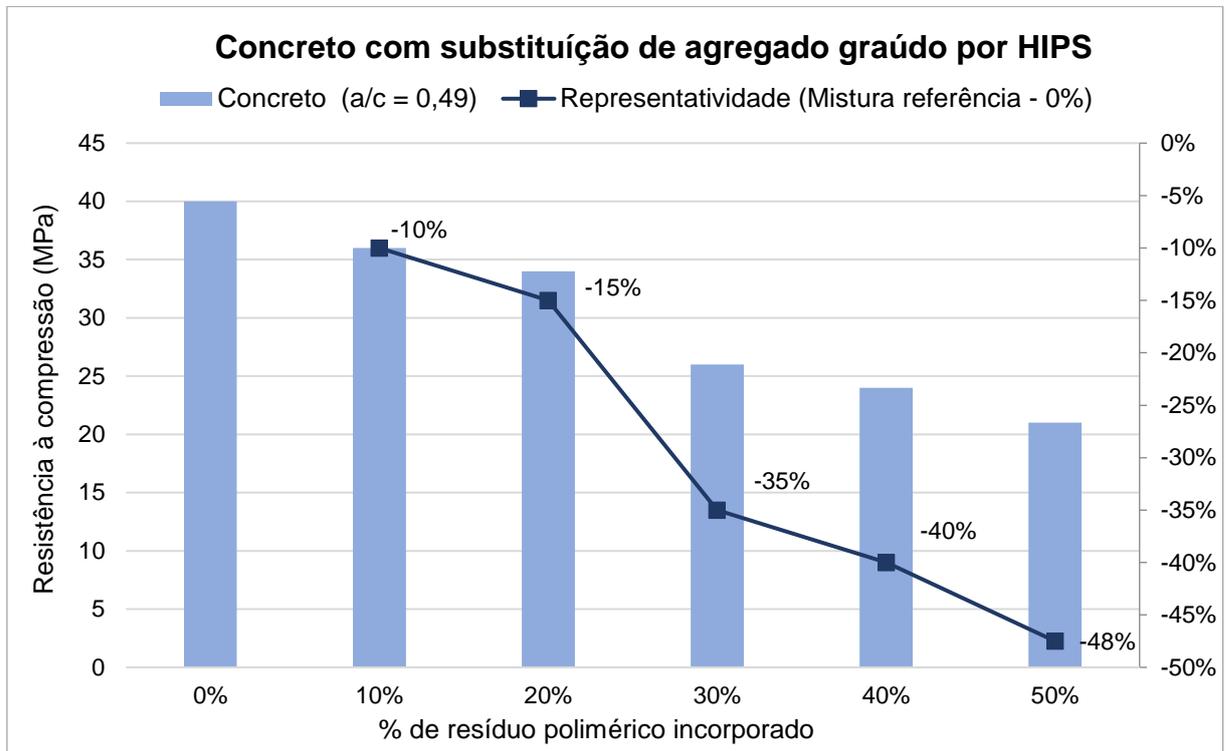
Kumar e Baskar (2015) indicam que existem fatores que influem na redução da resistência do concreto com a incorporação de HIPS, como: redução do volume do agregado grosso, forma e textura do HIPS que prejudica a adesão entre o agregado e a pasta de cimento, menor gravidade específica do HIPS que fez com que ocorresse acumulação do polímero na superfície do concreto e consequentemente a obtenção de mistura não homogênea (KUMAR e BASKAR, 2015).

Figura 11 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS ($a/c = 0,53$).



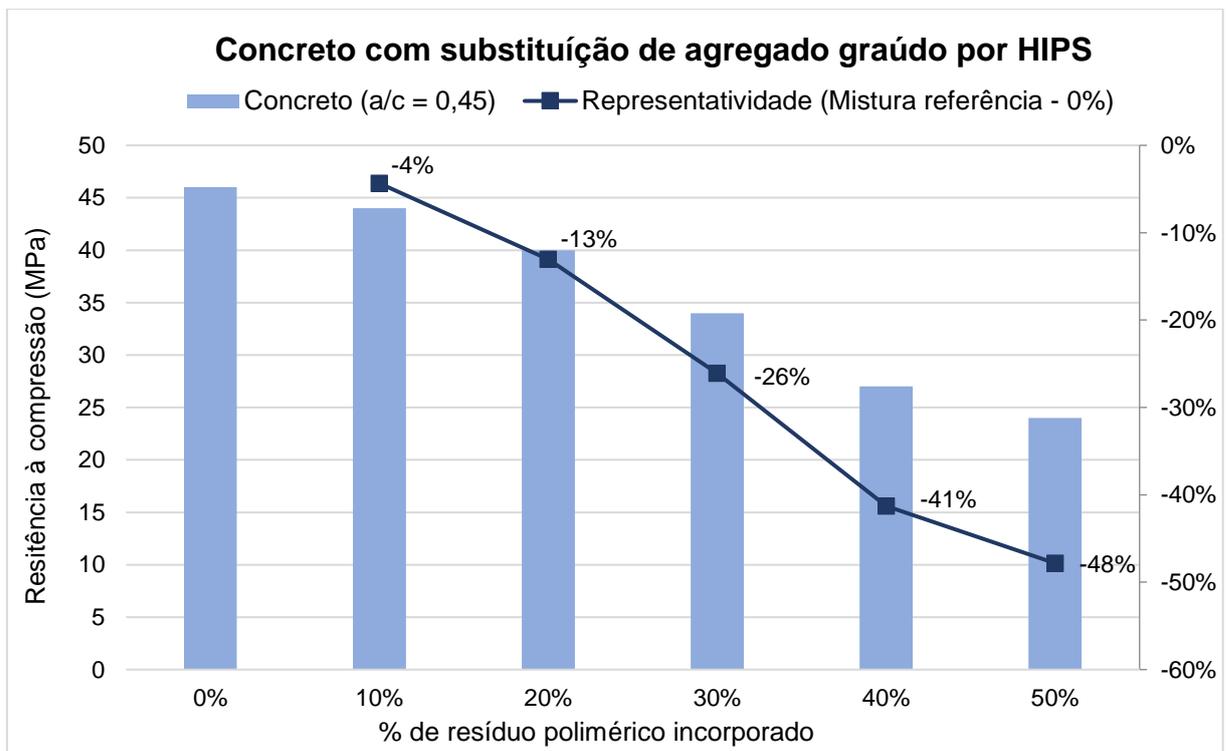
Fonte: Adaptado de Kumar e Baskar, 2015.

Figura 12 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS ($a/c = 0,49$).



Fonte: Adaptado de Kumar e Baskar, 2015.

Figura 13 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS ($a/c = 0,45$).



Fonte: Adaptado de Kumar e Baskar, 2015.

Almeida (2017) investigou o uso de carcaças poliméricas de monitores, gabinetes de computadores, teclados, TVs, impressoras e brinquedos, que foram fragmentados obtendo um agregado graúdo uniforme, devido ao controle empregado no processo de moagem e separação (Figura 14). Ainda, de acordo com as análises realizadas, o polímero predominante no REE foi o HIPS.

Figura 14 – REE de HIPS moído.



Fonte: Almeida, 2017.

Para a composição do concreto, foram utilizados cimento Portland CPV-ARI, areia como agregado miúdo e brita como agregado graúdo. Ainda, foi feita mistura sem incorporação de REE (0%) e os traços com substituição da brita (agregado graúdo) foram feitos por meio de 5%, 8%, 10%, 15% e 20% de incorporação de HIPS do REE (Tabela 12), e os corpos de prova curados em câmara úmida por 7, 28 e 63 dias (ALMEIDA, 2017). Vale destacar que após a moldagem, a cura é uma etapa importante pois evita que ocorra a perda de água necessária para a hidratação do cimento, influenciando no processo de endurecimento e obtenção da resistência desejada (HELENE; LEVY, 2013).

Tabela 12 - Traços com incorporação de HIPS.

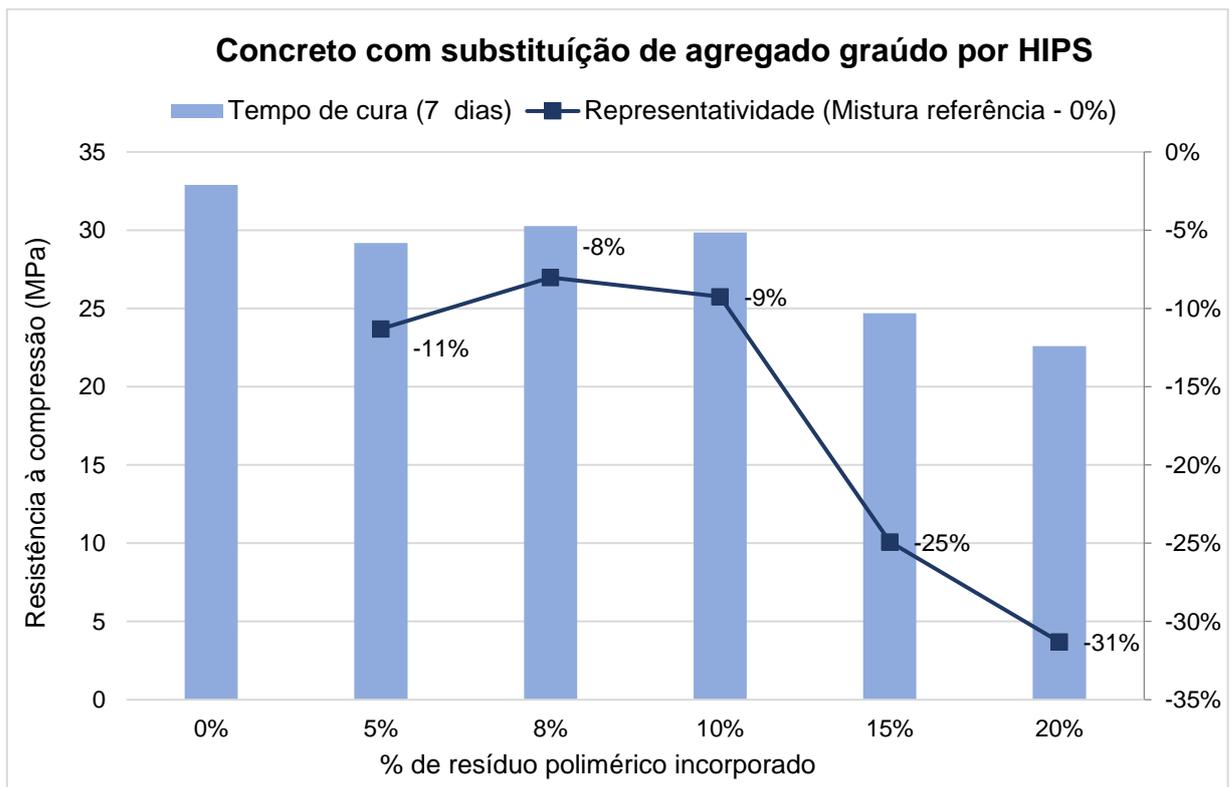
Traço	Massa de água (L)	Massa Cimento Portland - Tipo CPV - ARI (Kg)	Agregado graúdo (Kg)	Agregado miúdo (Kg)	Agregado polimérico HIPS (Kg)
0%	8	15	30	30	0
5%	8	15	28,5	30	1,5
8%	7,8	15	27,6	30	2,4
10%	7,5	15	27	30	3
15%	8,5	15	25,5	30	4,5
20%	8,5	15	24	30	6

Fonte: Almeida, 2017.

Nota-se que as massas de cimento e agregado miúdo foram fixadas, variando-se as massas de agregado graúdo, HIPS e água, com isso, à medida que é realizada a substituição do polímero, é reduzido o volume em massa do agregado graúdo. De acordo com a autora, a variação da quantidade de água incorporada ocorreu com objetivo de obtenção de trabalhabilidade similares entre as misturas. A água, além de influenciar na hidratação do cimento, auxilia na união de cada elemento, sendo sua dosagem influenciada pelas quantidades e tipos de agregados (OLIVEIRA, 2020).

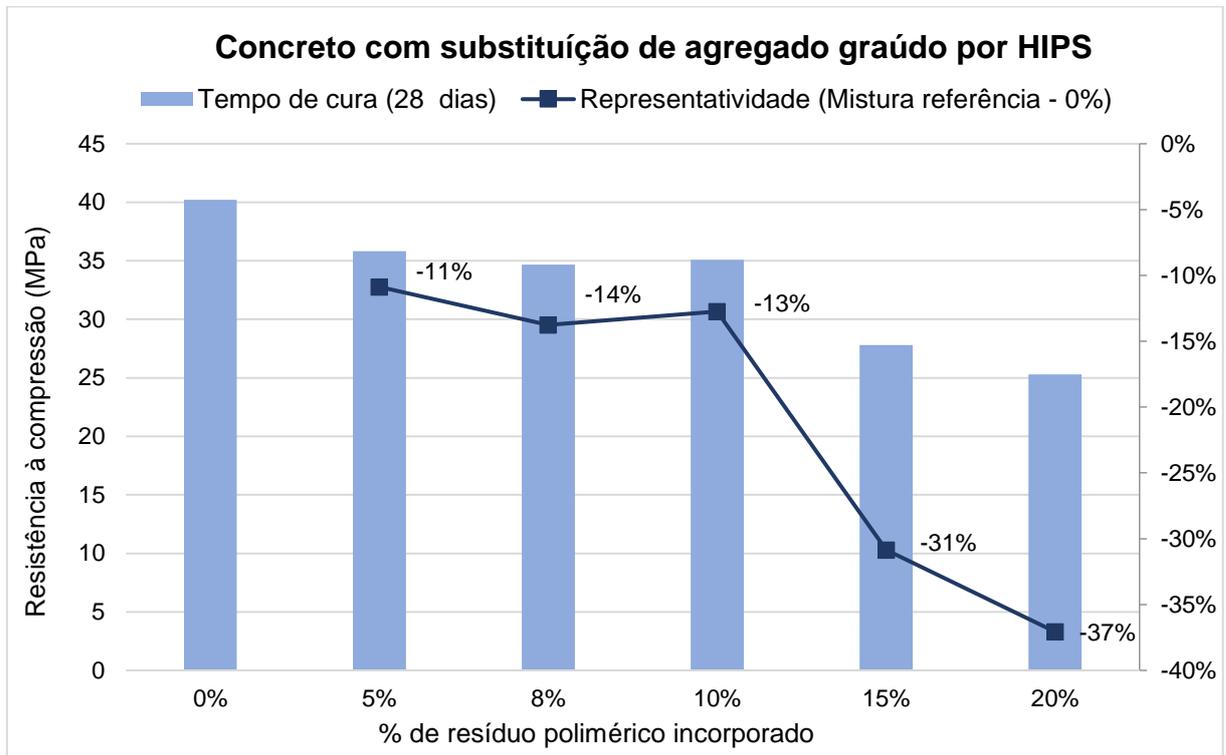
Os resultados que foram obtidos nos ensaios de resistência à compressão do estudo, estão apresentados nas Figuras 15, 16 e 17 em MPa (megapascal), bem como a representatividade da redução em comparação ao concreto referência (0% de HIPS).

Figura 15 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS (tempo de cura de 7 dias).



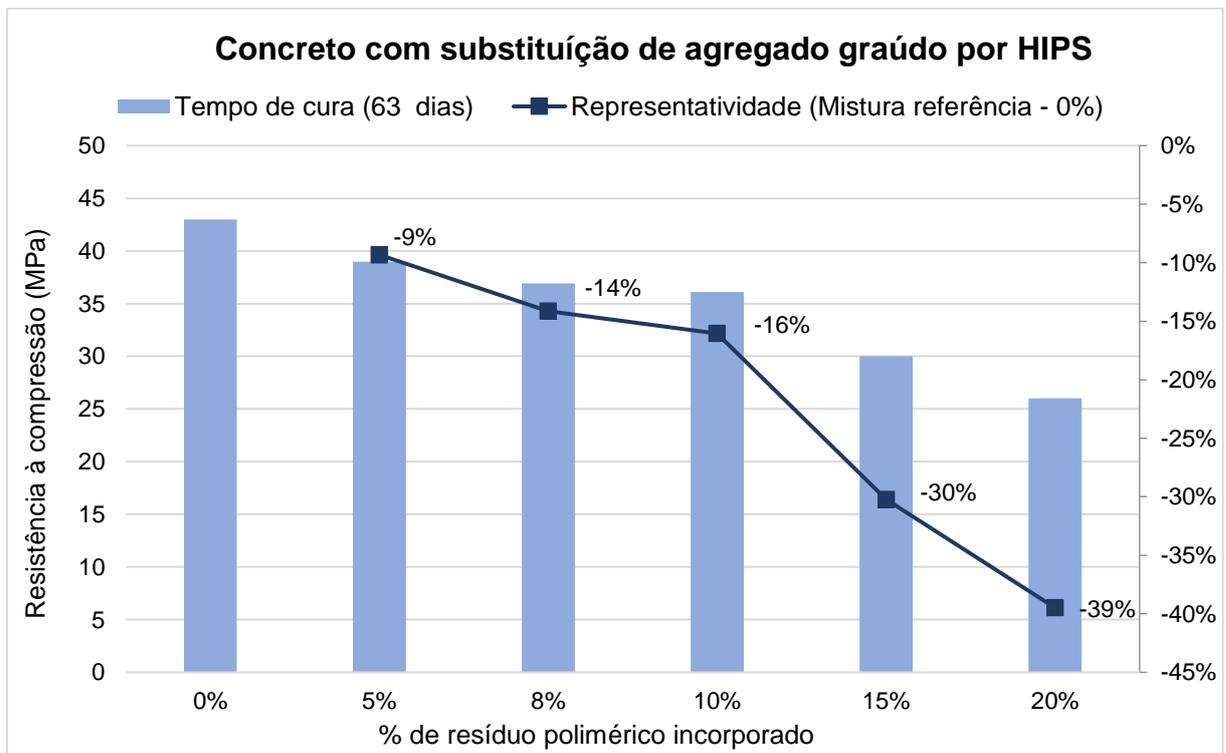
Fonte: Adaptado de Almeida, 2017.

Figura 16 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS (tempo de cura de 28 dias).



Fonte: Adaptado de Almeida, 2017.

Figura 17 - Resultados do ensaio de resistência à compressão em MPa – Concreto com HIPS (tempo de cura de 63 dias).



Fonte: Adaptado de Almeida, 2017.

É possível observar que, para todas as porcentagens de substituição, o tempo de cura de 63 dias foi o que apresentou melhores resistências a compressão, o fator listado pela autora está relacionado com a hidratação contínua da mistura e devido ao processo de cura por tempo indeterminado do concreto. Já as misturas com 15% e 20% de substituição foram as que tiveram menores resistências, considerando o mesmo tempo de cura.

Ainda, nota-se que para a substituição de 5% de HIPS, com maior tempo de cura a queda da resistência foi menor (9%). Sendo possível aferir que o tempo beneficiou a resistência nessa fração de utilização do polímero.

Todavia, todas as substituições apresentaram resistência acima de 20 MPa, o que representa metade da resistência adquirida pela resistência do concreto referência, com destaque para as incorporações de 5%, 8% e 10%. Ainda, ressalta-se que acordo com a autora, após o rompimento dos corpos de prova foi possível observar a ligação do polímero e da mistura.

Makri et al. (2019), caracterizaram os polímeros presentes nas tampas frontais e traseiras de 14 amostras de telas LCD (Figura 18), encontrando e classificando em quatro categorias amplas de acordo com o tipo de polímero contido nas amostras em: ABS, ABS/PC, ABS/HIPS e ABS/PC/HIPS.

Figura 18 - Amostragem dos resíduos provenientes de telas de LCD.



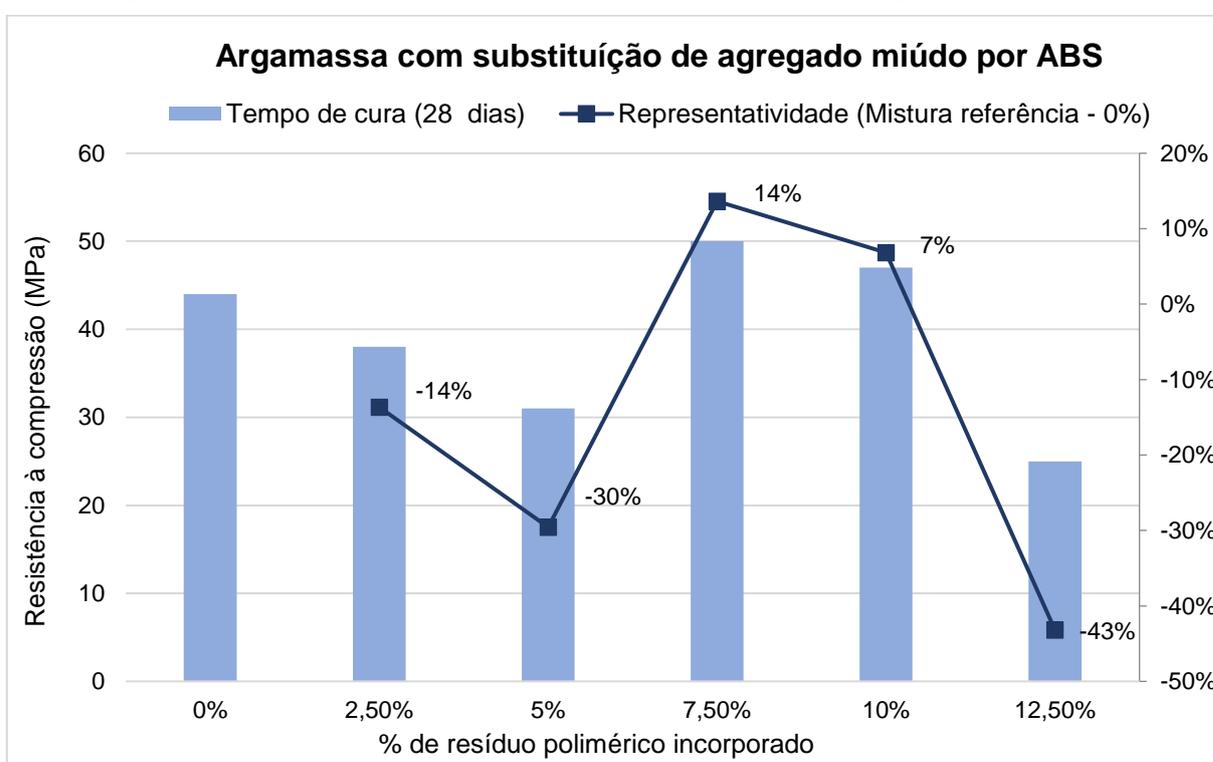
Fonte: Makri et al., 2019.

Nesse estudo, foram preparadas argamassas utilizando cimento (tipo CEM II/A-m - 42,5N), areia e água, para o traço referência com 0% de substituição e substituições parciais da areia pelo polímero ABS, previamente triturado, com tamanho menor que 4 mm nas porcentagens de 2,5%, 5%, 7,5%, 10% e 12,5%, a

relação água/cimento (a/c) foi fixada em 0,5 e considerado a título de comparação, somente o ensaio de resistência à compressão que foi realizado pelos autores com 28 dias de cura. Ainda, o ABS adicionado na argamassa possui uma densidade entre 1,0 a 1,4 g/cm³, caracterizado no estudo como sendo um material leve.

A Figura 19 mostra a interpretação estimada dos resultados para o ensaio de resistência à compressão apresentado no estudo após 28 dias de cura, ressalta-se que esse período é onde se obtém a maior resistência, e as representatividades com relação a resistência obtida pela argamassa referência (0% de ABS) (MAKRI et al., 2019).

Figura 19 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Argamassa com ABS.



Fonte: Adaptado de Makri et al., 2019.

Percebe-se que o aumento da substituição de areia por polímero de REE, influenciou na queda da resistência à compressão nas porcentagens de 2,5%, 5% e 12,5%, todavia as substituições de 7,5% e 10% apresentaram aumento na resistência chegando próximo de 50 Mpa, de acordo com os autores, esse fenômeno ocorreu devido a fatores, como: a variação da distribuição granulométrica do resíduo ao longo da mistura na preparação da argamassa e a relação a/c. Ressalta-se que esse foi um comportamento atípico observado no estudo.

Porém, como os parâmetros da mistura foram mantidos constantes, de acordo com os autores, o fator mais influenciável na variação da resistência, ocorreu por conta da variação da granulometria, pois não foi estimado o tamanho exato da partícula da areia substituída, pode-se dizer que para as maiores resistências obtidas com o ABS, obteve-se o melhor resultado possível.

Além disso, algumas propriedades do agregado plástico podem influenciar na resistência à compressão como a baixa aderência entre a superfície do plástico e a pasta de cimento e a natureza hidrofóbica desses resíduos, que dificulta a hidratação do cimento (SAIKIA; BRITO, 2012). Conforme corroborado pelo estudo de Makri et al. (2019), a características hidrofóbicas do polímero contribuiu para a redução da resistência.

Com a utilização de policloreto de vinila (PVC) recuperado de cabos e fios elétricos que envolvem o cobre, Merlo et al. (2020) realizaram substituições crescentes da areia natural em porcentagens de 0%, 5%, 10%, 15% e 20% na composição de argamassas (Tabela 13), com relação a/c de 0,5.

Ainda, vale destacar que no estudo, foi utilizado o cimento Classe G que é uma variação do cimento Portland comumente utilizado em poços de petróleo, não sendo comum o uso na construção civil. A utilização desse cimento, ocorreu devido à obtenção de dados preliminares em menor tempo, por possuir um tempo de cura diferente ao do cimento Portland comum.

Tabela 13 - Traço utilizado para argamassa com PVC.

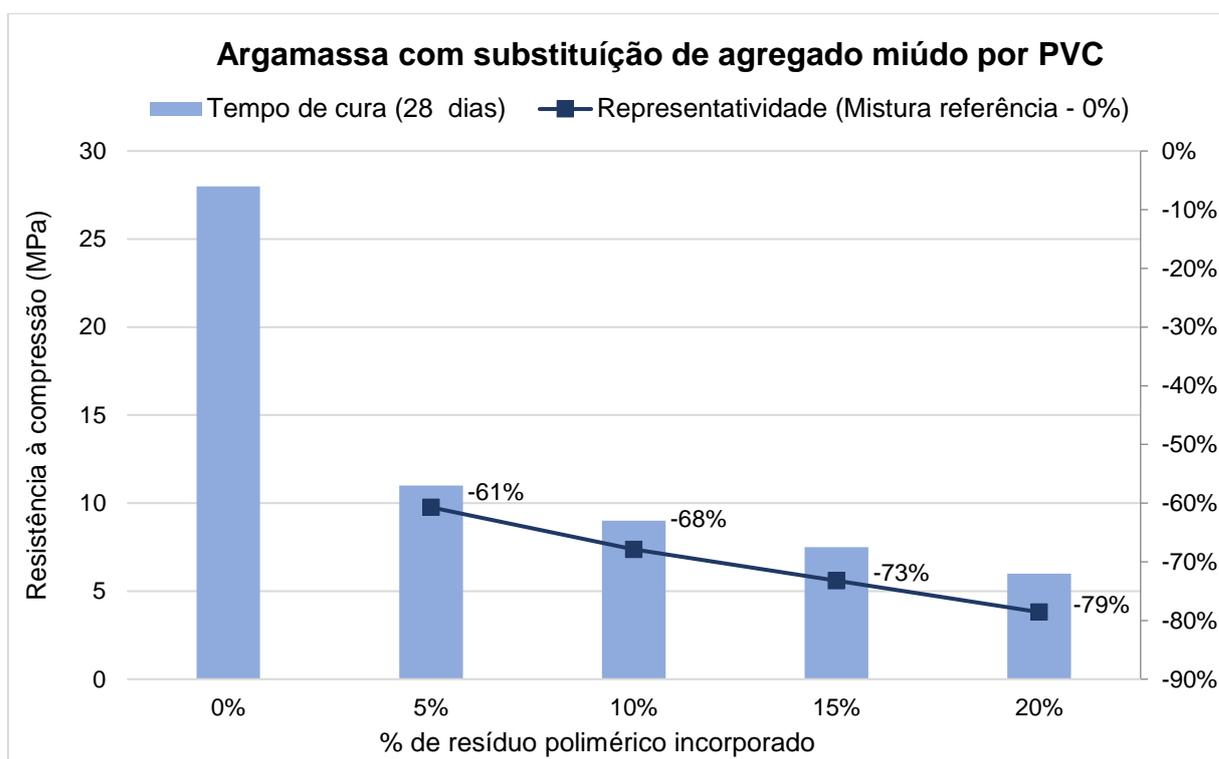
Traço	Cimento – Tipo Classe G (g)	Água (g)	Areia (g)	Agregado polimérico PVC (g)
0%	71,2	35,6	213,7	0
5%	71,2	35,6	203,0	5,8
10%	71,2	35,6	192,3	11,5
15%	71,2	35,6	181,7	17,3
20%	71,2	35,6	171,0	23,1

Fonte: Adaptado de Merlo et al., 2020.

Ressalta-se que por meio da caracterização realizada pelos autores, o resíduo de PVC apresentou características superficiais suja e irregulares por conta do processo de recuperação do cobre dos cabos elétricos, apresentando módulo de finura de 3,4 e densidade média da partícula de PVC de 1,4 g/cm³.

O ensaio de resistência à compressão, foi realizado com tempo de cura de 28 dias e apresentou maiores reduções nas porcentagens de 10%, 15% e 20%, ficando abaixo de 10 MPa, quando comparado com a resistência da mistura referência, que obteve uma resistência próxima de 30 Mpa. Ainda, as quedas de resistências são maiores e mais acentuadas. Ressalta-se que os resultados apresentados foram estimados a partir da interpretação das informações do estudo (Figura 20).

Figura 20 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Argamassa com PVC.



Fonte: Adaptado de Merlo et al., 2020.

De acordo com os autores, a piora nas propriedades mecânicas ocorreu devido às próprias características do agregado de PVC, principalmente pela falta de aderência da mistura do cimento com o agregado, por ser um polímero com características polares menores que o agregado natural e pelo aumento da porosidade da mistura com o uso do PVC. Vale, também ressaltar que a resistência do PVC comparada ao agregado natural é menor, ou seja, pode considerar que provavelmente, o resíduo não está participando da resistência a compressão da argamassa.

Ullah et al. (2021) substituíram o agregado graúdo por ABS obtido de sucata de computadores, mouse, teclado, impressoras, etc, porém, antes de ser incorporado

ao concreto, o polímero foi convertido em agregado plástico manufacturado, que para ser obtido são seguidas algumas etapas, iniciando-se pela limpeza dos materiais, peneiramento, trituração e derretimento a uma temperatura de 200°C seguido de resfriamento, por fim, o material obtido é triturado e segregado no tamanho desejado (Figura 21).

Figura 21 – Obtenção do agregado plástico manufacturado.



Fonte: Adaptado de Ullah et al., 2021.

As substituições estudadas pelos autores foram de 0%, 10%, 15% e 20%, Tabela 14 apresenta algumas propriedades da caracterização dos agregados.

Tabela 14 – Caracterização dos agregados utilizados no concreto com ABS.

Propriedade	Agregado fino	Agregado grosso	Agregado polimérico ABS
Absorção de água (%)	0,49	1,08	0
Gravidade específica (adimensional)	2,61	2,71	1,21
Forma	-	angular	angular

Fonte: Adaptado de Ullah et al., 2021.

As proporções das misturas são apresentadas na Tabela 15, ainda, a relação água/cimento (a/c), foi fixada em 0,5. Conforme apresentado por outros autores, as massas variáveis são obtidas para o agregado de substituição, com relação as porcentagens que foram previamente determinadas, mantendo-se constante as demais massas do concreto.

Tabela 15 – Traços do concreto utilizando ABS.

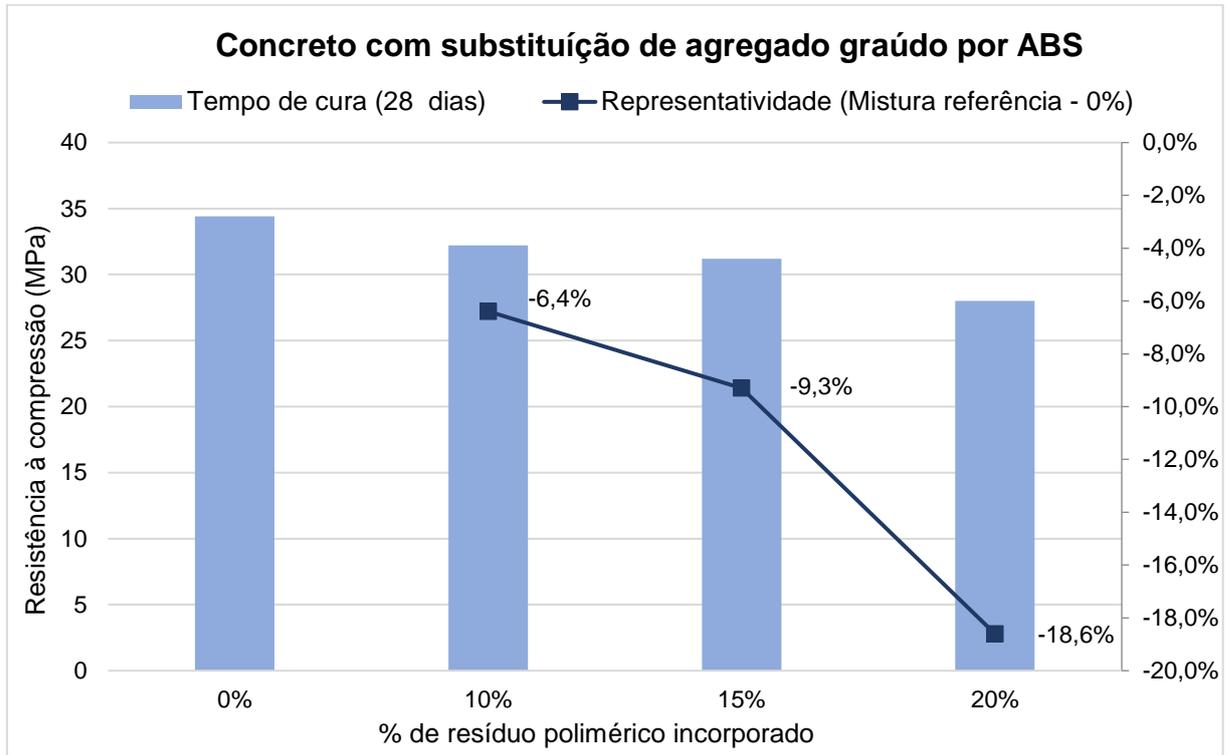
Traço	Cimento Portland – Tipo I (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Agregado fino (kg/m ³)	Agregado grosso (kg/m ³)	Agregado polimérico ABS (kg/m ³)
0%	360	180	696	1164	-
10%	360	180	696	1010	42
15%	360	180	696	934	66
20%	360	180	696	863	89

Fonte: Adaptado de Ullah et al., 2021.

Observou-se uma queda na resistência à compressão após 28 dias de cura (Figura 22). Conforme os autores, a textura lisa acarreta em uma falta de aderência entre o resíduo e a pasta de cimento, bem como a hidrofobia do agregado ABS, que acaba interferindo na hidratação durante o processo de cura, devido à dificuldade de entrada de água na mistura.

Apesar da diminuição, nota-se que as resistências ficaram próximas ao concreto referência (0% de ABS), com reduções relativamente baixas em torno de 6,4% para a substituição em 10%, 9,3% para 15% e 18,6% para 20%. A utilização do agregado de ABS também aumentou a trabalhabilidade do concreto, devido, segundo os autores, à baixa absorção de água do ABS (0%); a pasta apresentou um excesso de água, que apesar de também influenciar na resistência, possibilita ampliar a abrangência das aplicações de uso desse concreto.

Figura 22 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Concreto com ABS.



Fonte: Adaptado de Ullah et al., 2021.

No estudo de Ali et al. (2021), foi utilizada sucata de laptops, LCD, monitores e impressoras, sendo recuperado o polímero ABS, que foram transformados em areia plástica seguindo o mesmo processamento do REE apresentado no estudo de Ullah et al. (2021), o resultado obtido é mostrado na Figura 23. Nota-se que visualmente o material obtido se assemelha ao agregado fino.

Vale ressaltar que nesse estudo, foram feitos dois ensaios distintos, um utilizando somente o agregado ABS em substituição ao agregado natural miúdo nas porcentagens de 0%, 10%, 15% e 20% no concreto, e outro utilizando as mesmas porcentagens de substituição do agregado natural mais a substituição do cimento por sílica, porém, para a análise comparativa, o ensaio com substituição utilizando sílica não foi considerado.

Figura 23 - Agregado miúdo de ABS.



Fonte: Ali et al., 2021.

As propriedades de caracterização obtidas pelos autores dos agregados utilizados no concreto são apresentadas na Tabela 16. Assim como observado no estudo de Kumar e Baskar (2015), a densidade aparente do agregado de ABS é menor que a do agregado natural; para esse polímero se tem uma redução de densidade de 61%.

Tabela 16 – Caracterização dos materiais utilizados no concreto com ABS.

Propriedade	Cimento	Agregado fino (areia)	Agregado grosso	Agregado polimérico ABS
Absorção de água (%)	-	4	1,4	0
Gravidade específica (adimensional)	3,15	2,67	-	0,97
Densidade aparente (kg/m³)	1.440	1.600	1.518	620

Fonte: Adaptado de Ali et al., 2021.

Os traços utilizados são apresentados na Tabela 17, a relação água/cimento foi fixada em 0,45, porém, nesse estudo foi acrescentado um aditivo plastificante para auxiliar na trabalhabilidade do concreto. De acordo com Lucena Júnior (2018), o uso de aditivo plastificante reduz a quantidade de água necessária na mistura do concreto, com isso, se tem uma melhora das propriedades mecânicas como resistência à compressão.

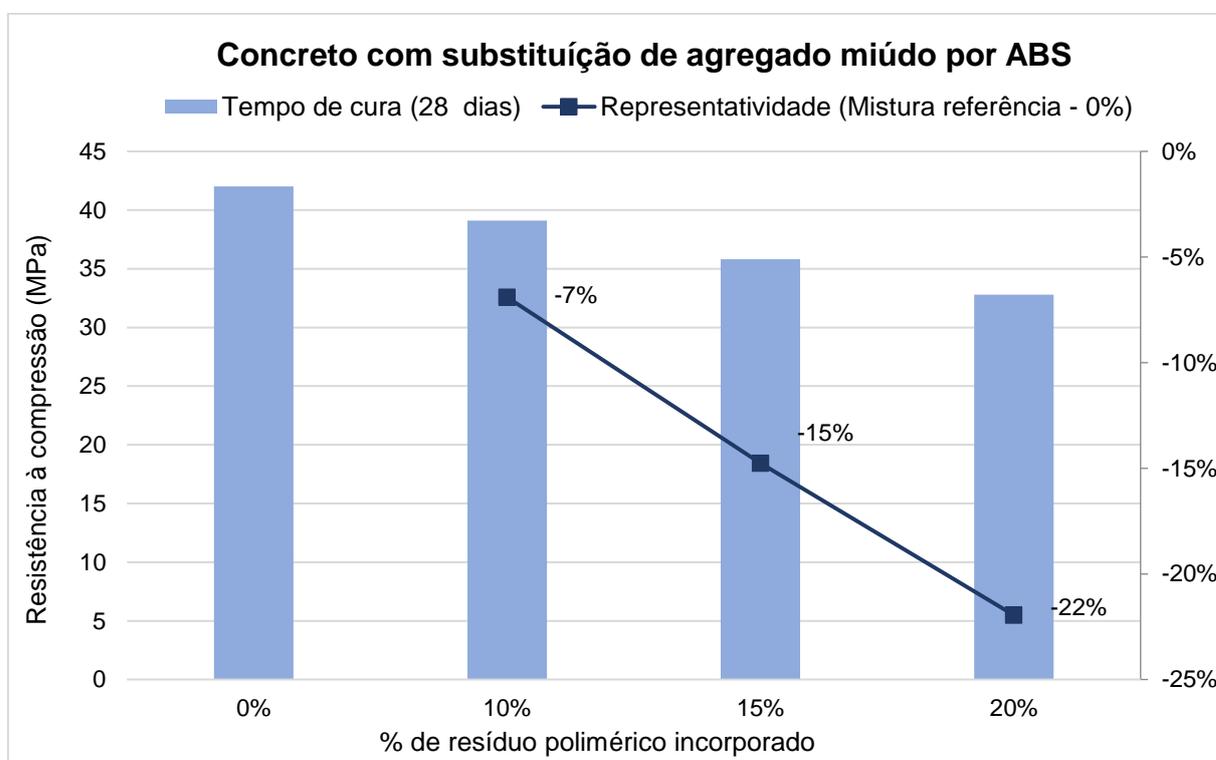
Tabela 17 – Traços para concreto com ABS com o plastificante.

Traço	Cimento Portland Comum (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Areia Natural (kg/m ³)	Agregado graúdo (kg/m ³)	Agregado polimérico ABS (kg/m ³)	Plastificante (kg/m ³)
0%	392	176	661	1256	0	4,9
10%	392	176	595	1256	22,09	4,9
15%	392	176	562	1256	33,14	4,9
20%	392	176	529	1256	44,18	4,9

Fonte: Adaptado de Ali et al., 2021.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão obtidos pelos autores são apresentados na Figura 24.

Figura 24 - Resultado do ensaio de resistência à compressão – Concreto com ABS.



Fonte: Adaptado de Ali et al., 2021.

Nota-se que, a substituição do agregado miúdo por polímero ABS no concreto, também teve influência na resistência a compressão, sendo que as reduções quando comparadas ao concreto referencia (0% de ABS), foram de 7%, 15% e 22% para as substituições de 10%, 15% e 20% respectivamente, podendo ser consideradas baixas. De acordo com os autores, menor redução está diretamente relacionada a forma e tamanho do agregado fino plástico manufaturado, comparável a areia natural.

Assim como visto em outros estudos, as razões para a redução da resistência, de acordo com Ali et al. (2021), estão atribuídas a hidrofobia do ABS e a fraca ligação da areia com a matriz de cimento causada pelo excesso de água ao redor dos agregados. Ainda, observaram que os agregados de ABS podem ser retirados de maneira manual da mistura, evidenciando a baixa aderência desse agregado.

Vale destacar que, os autores também constataram aumento da trabalhabilidade do concreto, em decorrência do agregado fino de ABS possuir baixa absorção de água e superfície lisa, assim como observado por Ullah et al., 2021.

Os principais resultados dos estudos de incorporação de polímeros de REE foram sintetizados na Tabela 18.

Tabela 18 – Polímeros utilizados, incorporação e resistências à compressão.

Polímero	Origem (componente)	Forma e textura do agregado	Absorção de água (%)	Densidade aparente (kg/m ³)	Matéria-prima substituída	Tempo de cura	Tipo de mistura	% de incorporação do polímero	Densidade da mistura seca ¹ (kg/m ³)	Resistência (MPa)	Autores
HIPS	Computadores obsoletos	Superfície lisa e escamosa	0%	595	Agregado graúdo (granito)	28 dias	Concreto (a/c = 0,53)	0%	2.480	34	Kumar e Baskar (2015)
								10%	2.455	26	
								20%	2.350	24	
								30%	2.200	19	
								40%	2.145	15	
50%	2.008	12									
HIPS	Computadores obsoletos	Superfície lisa e escamosa	0%	595	Agregado graúdo (granito)	28 dias	Concreto (a/c = 0,49)	0%	2.490	40	Kumar e Baskar (2015)
								10%	2.460	36	
								20%	2.380	34	
								30%	2.235	26	
								40%	2.220	24	
50%	2.105	21									
HIPS	Computadores obsoletos	Superfície lisa e escamosa	0%	595	Agregado graúdo (granito)	28 dias	Concreto (a/c = 0,45)	0%	2.530	46	Kumar e Baskar (2015)
								10%	2.490	44	
								20%	2.410	40	
								30%	2.270	34	
								40%	2.250	27	
50%	2.155	24									
HIPS	Monitores, gabinetes de computadores, teclados, TVs, impressoras e brinquedos	Forma Lamelar	-	-	Agregado graúdo (brita 1)	28 dias	Concreto	0%	2.100	40,2	Almeida (2017)
								5%	2.000	35,83	
								8%	2.000	34,67	
								10%	2.000	35,08	
								15%	2.000	27,8	
20%	1.900	25,3									
ABS	Telas LCD	-	-	-	Agregado fino (areia)	28 dias	Argamassa (a/c = 0,50)	0%	2.100	44	Makri et al., (2019)
								2,50%	2.000	38	
								5%	1.700	31	
								7,50%	2.250	50	
								10%	2.200	47	
12,50%	1.800	25									

Tabela 18 (cont.)

PVC	Cabos e fios elétricos de cobre	Superfície irregular	-	-	Agregado fino (areia)	28 dias	Argamassa (a/c = 0,50)	0%	2.100	28	Merlo et al. (2020)
								5%	1.600	11	
								10%	1.550	9	
								15%	1.525	7,5	
								20%	1.510	6	
ABS	Computador, mouse, teclado, impressora	Angular, textura lisa	0%	-	Agregado graúdo	28 dias	Concreto (a/c = 0,50)	0%	-	34,4	Ullah et al. (2021)
								10%	-	32,2	
								15%	-	31,2	
								20%	-	28	
ABS	Computador, mouse, teclado, impressora	Textura superficial lisa	0%	620	Agregado fino (areia)	28 dias	Concreto (a/c = 0,45)	0%	2.435	42	Ali et al. (2021)
								10%	2.370	39,1	
								15%	2.355	35,8	
								20%	2.345	32,78	

¹ Densidade da mistura seca (kg/m³) – interpretações estimadas a partir das informações dos estudos.

Tomando como base a classificação apresentada por Mehta e Monteiro (2014), os concretos produzidos com polímero de HIPS em substituição ao agregado graúdo com uma relação a/c de 0,45 apresentaram melhores resultados para as substituições de 10% e 20%, com valores de resistência a compressão de 44 e 40 MPa respectivamente, podendo ser classificados como concreto de alta resistência e de resistência moderada.

Já as substituições de 40% e 50% foram as maiores para o HIPS no concreto, e com a relação a/c de 0,53, apresentaram menores resistências ficando inferiores a 20 Mpa, podendo assim ser classificadas como concretos de baixa resistência.

Os concretos produzidos com polímero ABS, em substituição tanto do agregado graúdo quanto do agregado fino, podem ser classificados como concretos de resistências moderadas. Ainda, é possível observar que a melhor resistência atingida foi para a substituição da areia em 10%, atingindo uma resistência de 39,1 MPa.

Apesar de não existir normas aplicáveis aos concretos para fins estruturais que utilizam agregados recicláveis, pode-se fazer uma analogia considerando a norma NBR 8953 (ABNT, 2015), para os concretos que apresentaram boas resistências, exceto para as frações de substituição de 30%, 40% e 50% de HIPS e relação a/c de 0,53, as quais as resistências ficaram abaixo de 20 MPa.

Ainda, levando em consideração a densidade obtida do concreto seco com a utilização de REE de acordo com a classificação da norma ABNT NBR 8953:2015, os concretos produzidos com HIPS e ABS podem ser classificados em sua maioria como concretos normais, por apresentarem densidades superiores a 2.000 kg/m³.

Observa-se que para a substituição de 20% de HIPS no concreto a densidade final ficou inferior a 2.000 kg/m³, podendo ser classificada como concreto leve. Esse tipo de concreto promove benefícios como menores esforços estruturais e econômicos (CATOIA, 2012).

Assim como observado por Kumar e Baskar (2015), Almeida (2017) e Merlo et al. (2020), as densidades tanto dos concretos quanto das argamassas produzidas com polímero de REE no estado endurecido foram reduzidas. De acordo com Ali et al. (2021), a redução ocorre pois o plástico possui baixo peso específico com relação aos agregados naturais, influenciando na densidade da mistura.

As argamassas produzidas com ABS apresentaram elevadas resistências a compressão, sendo a substituição de 12,5% a maior variação de resistência com redução de 43%, apesar disso, a substituição de 7,5% apresentou um ganho de resistência em 14%, ambos quando comparados a argamassa referência.

Já as argamassas com PVC não apresentaram favorecimento na resistência a compressão, e obtiveram maiores variações com relação a mistura referência, atingindo uma queda de 79% para a substituição de 20% de PVC.

Considerando a classificação de argamassas para paredes e tetos, no uso em assentamento e revestimento da norma ABNT NBR 13281:2005, a argamassa de PVC na porcentagem de 10%, 15% e 20% podem ser classificadas como P5 M3, já as argamassas com ABS apresentaram resistências a compressão acima de 8 MPa, variando as densidades, com isso, as substituições de 2,5%, 7,5% e 10% podem ser classificadas em P5 M6.

A título de comparação, considerando os tipos fabricados e a aplicação conforme a Tabela 8, as argamassas produzidas com PVC possuem potencial aplicação em revestimento de parede e teto e assentamento de blocos, por possuírem resistência acima de 6 MPa, exceto para a fração de 20%. Já as produzidas com ABS apresentaram melhores resistências, assim podem ser ter ampla aplicação, incluindo assentamentos de alvenaria estrutural, reparos, preenchimentos e revestimentos.

Com relação a avaliação ambiental dos concretos e argamassas que utilizaram o REE, Makri et al. (2019) mapearam as concentrações de metais potencialmente tóxicos nas amostras de plástico, dos quais foram detectados principalmente Si, Mg e Al, o que indica a presença de retardantes de chama, de forma geral, as concentrações de metais potencialmente tóxicos ficaram abaixo dos limites estabelecidos pelas diretrizes europeias. Para os outros estudos não foram identificados ensaios de avaliação ambiental com relação aos polímeros de REE.

6 CONCLUSÕES

A quantidade de resíduos eletroeletrônicos gerados mundialmente tem crescido em razão do alto consumo e avanço tecnológico que deixa os aparelhos obsoletos, aumentando seu descarte e substituição. A alternativa de utilização desses resíduos incorporados no concreto para serem empregados na construção civil se torna um meio de destinação e redução do consumo de recursos naturais.

Os estudos realizados na caracterização de REE demonstraram que os tipos de plásticos mais comumente encontrados em seus componentes são: ABS, HIPS, PP, PS, SAN, PU, PA, PC/ABS. Além disso, cada tipo de eletroeletrônico possui uma porcentagem diferente de plástico, alguns dos quais são acrescidos agentes tóxicos.

A incorporação de plásticos provenientes de REE no concreto podem ter origem de equipamentos distintos, dentre eles monitores LCD, gabinetes de computadores, teclados, fios e cabos, sendo encontrado nesses equipamentos principalmente os polímeros: HIPS, ABS e PVC, e as substituições ocorrem em tanto para o agregado miúdo, quanto para o agregado graúdo.

As substituições que beneficiaram o concreto foram de 5% a 10% de brita por polímero de HIPS, atingindo resistências de 35,83 MPa e 35,08 MPa respectivamente, sendo próximas à resistência do concreto referência (0%), apenas com agregados de origem natural, aos 28 dias de cura. Nos estudos de Kumar e Baskar (2015) com o mesmo polímero, foram obtidas resistências de 44 MPa com 10% de MPa. Vale ressaltar que apesar das proporções de mistura e cálculos de traços para os estudos serem distintos, a utilização do mesmo tipo de polímero favoreceu a mistura em porcentagens similares.

Para a incorporação em argamassas, os estudos demonstraram que a substituição por 7,5% do agregado fino (areia) por polímero de ABS de telas LCD, beneficiou o aumento da resistência a compressão, porém na maioria das situações o aumento das frações de substituição resultou em diminuição da resistência. Ainda, o ensaio para o teste da propriedade mecânica pode ser afetado por fatores como a relação a/c e a distribuição granulométrica, como consequência obteve-se redução de resistência para incorporações de 5% e 12,5%.

A utilização de polímero ABS como agregado manufaturado reduziu as quedas de resistências, apresentando máxima redução de 22% com substituição de

20% do agregado miúdo e de 18,6% para 20% de substituição do agregado graúdo, quando comparadas com o concreto referência.

Considerando-se as classificações apresentadas na literatura, os concretos produzidos com HIPS e ABS podem ser classificados como concretos normais de acordo com a densidade adquirida após a secagem. Destaca-se que não existem normas estabelecidas para a utilização de agregados reciclados para fins estruturais.

Já as argamassas produzidas com ABS, possuem ampla aplicação quando comparadas com as resistências à compressão das argamassas industrializadas, podendo ser utilizadas desde assentamentos de blocos até revestimentos internos e externos.

Conclui-se que apesar de existirem fatores que influenciam negativamente na resistência à compressão e que são inerentes as características de cada tipo de polímero, por exemplo: a textura que interferiu na aderência do REE com a pasta de cimento e demais agregados, a utilização de resíduos poliméricos em substituição dos agregados naturais mostra-se como uma alternativa para o alto consumo e exploração de recursos naturais finitos, bem como opção de destinação de REE.

Vale destacar que nos estudos analisados nesta revisão não foram relatados ensaios de lixiviação. Visto que os polímeros podem possuir metais e camadas bromadas com características perigosas, sugere-se que pesquisas futuras se aprofundem nos aspectos e impactos ambientais da substituição de materiais naturais por polímero de REE, ficando desde já indicada a realização de estudos de lixiviação dos materiais produzidos com estes resíduos.

7 REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de Revestimentos de Argamassa 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em 07 de set. de 2021.

ABDI. AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Logística Reversa de Equipamentos Eletrônicos, 2013. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica%20reversa%20de%20residuos_.pdf>. Acesso em: 19 de set. de 2020.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8.953: Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.935: Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

ALI, K.; QURESHI, M. I.; SALEEM, S.; KHAN, S. U. Effect of waste electronic plastic and silica fume on mechanical properties and thermal performance of concrete. In: Construction and Building Materials. Volume 285, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821007121?via%3Dihub#b0140>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

ALMEIDA, F.F. Avaliação da utilização de Resíduos Eletroeletrônicos (REEE) incorporados ao concreto em substituição ao agregado graúdo. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/151876/almeida_ff_me_bauru.pdf?sequen=3&isAllowed=y>. Acesso em 31 de dez. de 2020.

ANEPAC - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. Panorama e perspectivas para o setor de agregados para construção, 2015. Disponível em: <<http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil>>. Acesso em 20 de ago. de 2021.

BALDÉ, C.P; FORTI, V; GRAY, V; KUEHR, R; STEGMANN, P. The Global E-waste: Monitor 2017, Quantities, Flows, and Resources. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna, 2017. Disponível em: <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:6341/GlobalEwaste_Monitor_2017__electronic_single_pages_.pdf>. Acesso em 05 de nov. de 2020.

BATTAGIN, A.F. C. Cimento Portland. In: ISAIA, G.C. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1 ed. São Paulo: Ibracon, 2011.

BAUER, L.A.F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro, 2008.

BORTHAKUR, A.; GOVIND, M.; SINGH, P. Inventorization of E-waste and Its Disposal Practices With Benchmarks for Depollution: The Global Scenario. In. Electronic Waste Management and Treatment Technology, Pages 35-52. Butterworth-Heinemann, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128161906000029#bb008>>. Acesso em 05 de nov. de 2020.

BRASIL, DECRETO Nº 10.240, DE 12 DE FEVEREIRO DE 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10240.htm>. Acesso em: 20 de dezembro de 2020.

BRASIL, LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 20 de dez. de 2020.

BRASIL. DECRETO Nº 7.404, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2010B. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 de dez. de 2010.

BUEKENS, A; YANG, J. Recycling of WEEE plastics: a review. In: Journal of Material Cycles and Waste Management. Pages 415-434, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-014-0241-2#citeas>>. Acesso em: 10 de ago. de 2021.

CARDAMONE, G.F.; ARDOLINO, F.; ARENA, U. About the environmental sustainability of the European management of WEEE plastics. In: Waste Management. Pages 119-132, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X21001094>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

CARVALHO, M.B.M. Impactos e conflitos da produção de cimento no Distrito Federal. 2008. 162 f. Tese (Mestrado) - Curso de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1878/1/Maria%20Beatriz%20Maury%20de%20Carvalho.pdf>. Acesso em: 09 de out. de 2021.

CARVALHO, R.C.; FILHO, J.R.F. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014. EDUFSCAR. São Carlos, 2014.

CATÓIA, T. Concreto Ultraleve® estrutural com pérolas de EPS: caracterização do material e estudo de sua aplicação em lajes. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carl- SP. 2012. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19122012-104222/publico/2012DO_ThiagoCatoia.pdf. Acesso em 05 de dez. de 2021.

CEMBUREAU – THE EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. Activity Report 2019. Disponível em: <http://www.cembureau.eu/media/clkdda45/activity-report-2019.pdf>. Acesso em 19 de ago. de 2021.

CHAVES, A.P.; WHITAKER, W. Operações de beneficiamento da areia. In: LUZ, A.B; ALMEIDA, S.L.M. (Org.). Manual de agregados para construção civil. CETEM/MCTI, 2012. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2043>. Acesso em 09 de out. de 2021.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Associação Brasileira de Cimento Portland. Brasília, 2012. Disponível em: http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002162355200901e.pdf. Acesso em 16 de ago. de 2021.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Cadastro Nacional de produtores de brita. Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/cadastro-nacional-de-produtores-de-brita>. Acesso em: 24 de out. de 2021.

FERNANDES, D.S.G.; PORTO, T.B. Curso básico de concreto armado: conforme NBR 6118/2014. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2015.

FERREIRA, G.E.; JUNIOR, C.A.F.F. Mercado de agregados no Brasil. In: LUZ, A.B; ALMEIDA, S.L.M. (Org.). Manual de agregados para construção civil. CETEM/MCTI, 2012. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2043>. Acesso em 09 de out. de 2021.

FILHO, P. A. N; SABADIA, J. A. B.; DUARTE, C. R.; MAGINI, C.; NOGUEIRA NETO, J. A.; FILHO, W. F. S. Impactos ambientais da extração de areia no canal ativo do Rio Canindé, Paramoti, Ceará. Revista de Geologia, [s. l], v. 24, n. 2, p. 126-135, jul. 2011. Disponível em: <http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/view/1404>. Acesso em: 09 out. de 2021.

FORTES, A. G.; MUNGUAMBE, A.C. Fatores condicionantes na exploração industrial de gnaisses para brita: caso de gnaisses de Anchilo. São José dos Campos: Revista Univap, 2020. Disponível em: <https://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/2285>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

FORTI, V.; BALDÉ, C. P.; KUEHR, R.; BEL, G. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). 2020. Disponível em: <https://collections.unu.edu/view/UNU:7737#viewAttachments>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

GONÇALVES, M. S. Análise da viabilidade técnica de utilização de resíduos de concreto oriundos da pré-fabricação como agregado graúdo para a produção de novos concretos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Unidade acadêmica de pesquisa e pós-graduação programa de pós-graduação em engenharia civil. São Leopoldo: Unisinos, 2011. Disponível em: https://www.cimentoitambe.com.br/wp-content/uploads/2012/06/DissPPGEC-Unisinos_MicheliGon%c3%a7alves_2011-1.pdf. Acesso em: 15 de out. de 2021.

HELENE, P.; LEVY, S. Boletim Técnico – Cura do Concreto. Mérida, México: ALCONPAT, 2013. 12 p. Disponível em: <<http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B8-Cura-do-concreto.pdf>>. Acesso em: 04 de set. de 2019.

ISLAM, T.M.; HUDA, N.; BAUMBER, A.; SHUMON, R.; ZAMAM, A.; ALI, F.; HISSAIN, R.; SAHAJWALLA, V. A global review of consumer behavior towards e-waste and implications for the circular economy, in: Journal of Cleaner Production, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621025129#bib134>>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

KAYA, M. Recovery of metals and nonmetals from electronic waste by physical and chemical recycling processes. In: Waste Management. Pages 64-90, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X16304299?via%3Dihub>>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

KULAKOWSKI, M.P.; BREHM, F.; KAZMIERCZAK, C.S.; MACIEL, E.F. Avaliação Ambiental de Produtos e Sistemas Construtivos Inovadores com Resíduos: Lixiviação e Solubilização. In: Avaliação de Desempenho de Tecnologias Construtivas Inovadoras: Materiais e Sustentabilidade (pp.37-76). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305660754_Avaliacao_Ambiental_de_Produtos_e_Sistemas_Construtivos_Inovadores_com_Residuos_Lixiviacao_e_Solubilizacao. Acesso em 24 de out. 2021.

KUMAR, K.S.; BASKAR, K. Development of Ecofriendly Concrete Incorporating Recycled High-Impact Polystyrene from Hazardous Electronic Waste. In: Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, 2015. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HZ.2153-5515.0000265>>. Acesso em 05 de set. de 2021.

LA SERNA, H.A.; REZENDE, M.M. Agregados para construção civil. In: DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Economia Mineral do Brasil. Brasília, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>. Acesso em: 24 de out. de 2021.

LARUCCIA, M.M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. Revista ENIAC Pesquisa, p. 69-84, v. 3, n. 1. Guarulhos, 2014. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:FAfEq1G4UX0J:https://ojs.eniac.com.br/index.php/EniacPesquisa/article/view/124+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

LIMA, Q. F. de. Homogeneização da farinha: estudo de caso na indústria de cimento Mizu-Barauna/RN. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – Ufersa, Mossoró, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/3715/2/QueziaFL_MONO.pdf. Acesso em 03 de out. de 2021.

LUCENA JÚNIOR, A. C. Análise da influência de aditivo plastificante na trabalhabilidade, consumo de cimento e resistência do concreto. 2018. 13 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/1963>. Acesso em 12 de out. de 2021.

LUZ, A.B.; ALMEIDA, S.L.M. Manual de Agregados para Construção Civil. Rio de Janeiro – RJ: CETEM/MCTI, 2012.

MAKRI, C.; HAHLADAKIS, J.N.; GIDARAKOS, E. Use and assessment of “e-plastics” as recycled aggregates in cement mortar. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 379, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389419307186#bib007>>. Acesso em 31 de dez. de 2020.

MARIS, E.; BOTANÉ, P.; WAVRER, P.; FROLICH, D. Characterizing plastics originating from WEEE: A case study in France. In: *Minerals Engineering*. Pages 28-37, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687514004415?casa_token=bGUTdLhX2NkAAAAA:1accclX_DAhj5GVNEzkERsy5DeB1qh4fjyNK39t9rFi12Zc_uuvpS5u3uyUkCEULjmqH1IRJQ>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

MARTINHO, G.; PIRES, A.; SARAIVA, L.; RIBEIRO, R. Composition of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE) by direct sampling. *Waste Management*. Volume 32, Issue 6, June 2012, Pages 1213-1217. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X12000700#t0010>>. Acesso em 20 de dez. de 2020.

MAURY, M. B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. *Sustentabilidade em Debate*, Brasília, v. 3, n. 1, p. 75-96, jun. 2012. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15499/13796>. Acesso em: 09 out. De 2021.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. *Concrete - Microstructure, Properties and Materials*. Mc Graw Hill Education, fourth edition, 2014.

MERLO, A.; LAVAGNA, L.; SUAREZ-RIERA, D. PAVESE, M. Mechanical properties of mortar containing waste plastic (PVC) as aggregate partial replacement. In: *Case Studies in Construction Materials*. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450952030139X#fig0030>>. Acesso em 25 de ago. de 2021.

MIHAI, F.C. One Global Map but Different Worlds: Worldwide Survey of Human Access to Basic Utilities. In: *Human Ecology*. Volume 48, Pages 425–429, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10745-017-9904-7#citeas>>. Acesso em 05 de nov. de 2020.

MIHAI, F.C.; GNOI, M.G.; MEIDIANA, C.; EZEAH, C.; ELIA, V. Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): Flows, Quantities, and Management—A Global Scenario. In: *Electronic Waste Management and Treatment Technology*, Pages 1-34, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128161906000017>>. Acesso em 05 de nov. de 2020.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Brasília. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/gestao-das-substancias-quimicas/rohs-brasileira.html>. Acesso em 28 de ago. de 2021.

NEVILLE, A.M. *Propriedades do concreto*. Em: Bookman Editora LTDA. Porto Alegre, 2016.

OLIVEIRA, A.M.C.P. Consumo de água na produção de concreto usinado: quantificação e principais fatores de influência. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo – Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/9493/Ana%20Martha%20Carneiro%20Pires%20de%20Oliveira_.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 04 de set. de 2019.

PARAJULY, K.; KUEHR, R.; AWASTHI, A.K.; FITZPATRICK, C.; LEPAWSKY, K.; SMITH, E.; WIDMER, R.; ZENG, X. Future e-wast scenarios. StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka), 2019. Disponível em: https://www.step-initiative.org/files/_documents/publications/FUTURE%20E-WASTE%20SCENARIOS_UNU_190829_low_screen.pdf. Acesso em 21 de nov. de 2021.

PEISINO, L.E.; GÓMEZ, M.; KREILER, J.; GAGGINO, R.; ANGELELLI, M. Metal leaching analysis from a core-shell WEEE plastic synthetic aggregate. In: Sustainable Chemistry and Pharmacy. Volume 12, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352554118301311?via%3Dihub#bib28>. Acesso em 24 de out. de 2021.

PRECON. Argamassa Overcoll. Ficha Técnica. Disponível em: [https://www.bostik.com/files/live/sites/shared_bostik/files/Documents%26Brochures%20\(new\)/Brazil/Documents/TDS/ficha-tecnica-argamassa-overcoll.pdf](https://www.bostik.com/files/live/sites/shared_bostik/files/Documents%26Brochures%20(new)/Brazil/Documents/TDS/ficha-tecnica-argamassa-overcoll.pdf). Acesso em 15 de nov. de 2021.

RECENA, F. A. P. Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland. Em: EDIPUCRS, 3. ed. Porto Alegre, 2011.

ROTH, C.G.; GARCIAS, C.M. Construção Civil e a degradação ambiental. Desenvolvimento em questão, p. 111-128, ano 7, n. 13, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/752/75212355006.pdf>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

SAIKIA, N.; BRITO, J. Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review. In: Construction and Building Materials. Pages 385-401, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812001432>. Acesso em: 05 de set. de 2019.

SANCHES, B.B. Desafios da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos e suas implicações na logística reversa. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2020/02/Bruna-Barbi-Sanches-TCC-2018-T1.pdf>. Acesso em: 12 de ago. de 2021.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Cadernos de Educação Ambiental – Resíduos Sólidos. 2º Edição. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cea/2014/11/6-RES%C3%84DUOS-S%C3%93LIDOS.pdf>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

SENS; SWICO; SLRS. Technical Report 2020. 2021. Disponível em: <https://www.swico.ch/en/recycling/basics/technical-report-publications/#technical-report-2021>. Acesso em: 27 de ago. de 2021.

SHI, P.; WAN, Y.; GEANDJEAN, A.; LEE, J.M.; TAY, C.Y. Clarifying the in-situ cytotoxic potential of electronic waste plastics. Chemosphere, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520329179>. Acesso em 20 de dez. de 2020.

SHITTU, O.S.; WILLIAMS, I.D.; SHAW, P.J. Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. In: Waste Management. Pages 549-563, 2021. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20305870?via%3Dihub#b0045>>. Acesso em: 15 de ago. de 2021.

SILVA, F.A.; RABELO, D. O uso sustentável de Polímeros. Revista Processos Químicos, 2017. Disponível em: http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/download/387/376. Acesso em 07 de set. de 2021.

SILVA, J.P.M. Agregados e Sustentabilidade. In: LUZ, A.B; ALMEIDA, S.L.M. (Org.). Manual de agregados para construção civil. CETEM/MCTI, 2012. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2043>. Acesso em 09 de out. de 2021.

SINIR – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Eletroeletrônicos e seus componentes. Acordo setorial para implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes. Publicado 19 de novembro de 2019. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/component/content/article/63-logistica-reversa/474-acordosetorial-de-eletronico>>s. Acesso em 31 de dez. de 2020.

SINIR – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Eletroeletrônicos e seus componentes. 2020. Disponível em: <https://sinir.gov.br/component/content/article/63-logistica-reversa/474-acordo-setorial-de-eletronicos>. Acesso em 31 de dez. de 2020.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Relatório anual. São Paulo, 2019b. Disponível em: http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf. Acesso em 08 de set. de 2021.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050. Rio de Janeiro, 2019a. Disponível em: https://coprocessamento.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Roadmap_Tecnologico_Cimento_Brasil_Book-1.pdf>. Acesso em 08 de set. de 2021.

SOUZA, K.C.; TEIXEIRA, B.A.N. Legislação Brasileira X Legislação Europeia: Reflexões Sobre a Gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. XII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, Poços de Caldas, 2015.

TABILLE, D. F. R. Influência do uso de agregado reciclado nas propriedades do concreto. UNIJUÍ - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2017. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4694/Dirjan%20Francisco%20Rigon%20Tabille.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 de out. de 2021.

UE - UNIÃO EUROPEIA. Directive 2012/19/UE of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012, on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast). Official Journal of the European Union, Special edition in Croatian: Chapter 15 Volume 034 P. 194 – 227. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/dir/2012/19/oj>>. Acesso em 30 de dez. de 2020.

ULLAH, Z.; QURESHI, M. I.; AHMAD, A.; KHAN, S. U.; JAVAID, M. F. An experimental study on the mechanical and durability properties assessment of E-waste concrete: journal of building engineering. Holanda: Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering & Geosciences, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710221000334?via%3Dihub#bib41>. Acesso em: 17 de out. de 2021.

UNEP – UN ENVIRONMENT PROGRAMME. Basel Convention & Basel Protocol on Liability and Compensation - Text and Annexes (Revised in 2019). Disponível em: <<http://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx>> . Acesso em 31 de dez. de 2020.

VALEMASSA. Argamassa para assentamento e revestimento. Ficha técnica. Disponível em: <<https://valemassa.com.br/wp-content/uploads/2020/12/Ficha-Tecnica-Multiplo-Uso-20-kg.pdf>>. Acesso em 15 de nov. de 2021.

VIEIRA, E.G; REZENDE. E.N. Exploração Mineral de Areia e Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: é possível conciliar? Sustentabilidade em Debate, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 171, 31 ago. 2015. Editora de Livros IABS. <http://dx.doi.org/10.18472/sustdeb.v6n2.2015.10795>. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/download/15739/14051/26785>. Acesso em: 06 de out. de 2021.

VOTORANTIM. Graute Matrix - Graute para preenchimento. Ficha Técnica. Disponível em: <<https://www.votorantimcimentos.com.br/wp-content/uploads/2015/12/argamassa-matrix-graute-ficha-tecnica.pdf>>. Acesso em 15 de nov. de 2021.

WEBER-SAINT GOBAIN. weber.rep S2 - Argamassa polimérica para reparos superficiais. Boletim Técnico. Disponível em: <<https://www.quartzolit.weber/solucoes-tecnicas-quartzolit-para-reparos-protecao-e-reforco/reparos-em-vigas-e-pilares/weberrep-weberrep-s2-quartzolit>>. Acesso em 15 de nov. de 2021.

XAVIER, L.H.; CARVALHO, T.C. Introdução à Gestão de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos. In: Gestão de Resíduos Eletrônicos. Editora Elsevier Ltda, Rio de Janeiro, 2014.