



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"

Programa Interunidades


unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

FLÁVIA FLORENTINO DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS (REEE) INCORPORADOS AO CONCRETO
EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO**



Sorocaba
2017

FLÁVIA FLORENTINO DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS
ELETROELETRÔNICOS (REEE) INCORPORADOS AO CONCRETO
EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO**

Dissertação de Mestrado apresentado como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pereira Antunes



Sorocaba
2017

Almeida, Flávia Florentino de.

Avaliação da utilização de Resíduos
Eletroeletrônicos (REEE) incorporados ao concreto em
substituição ao agregado graúdo / Flávia Florentino de
Almeida, 2017
67 f.

Orientadora: Maria Lúcia Pereira Antunes

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2017

1. Concreto . 2. Resíduos de Equipamentos
Eletroeletrônicos . 3. Propriedades Mecânicas. 4.
Poliestireno De Alto Impacto I. Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de FLÁVIA FLORENTINO DE ALMEIDA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 30 dias do mês de agosto do ano de 2017, às 09:00 horas, no(a) Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba-UNESP, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profª Drª MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES SILVA - Orientador(a) do(a) Curso de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba, Prof. Dr. JOSÉ LAZARO FERRAZ do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / FATEC/Sorocaba, Prof. Dr. MARCIO ALEXANDRE MARQUES do(a) Engenharia de Controle e Automação / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de FLÁVIA FLORENTINO DE ALMEIDA, intitulada **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO ELETROELETRÔNICOS (REEE) INCORPORADOS AO CONCRETO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO GRAÚDO**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Profª Drª MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES SILVA Prof. Dr. JOSÉ LAZARO FERRAZ Prof. Dr. MARCIO ALEXANDRE MARQUES 

Aos meus pais Edite e Eduardo, aos meus tios e tias Escolástica, Waldirene e Antônio Junior, aos meus avós, aos meus sogros, meu cunhado, minha irmã Bruna e meu irmão Pedro, que me apoiaram não só neste projeto, mas durante toda minha vida, que sempre estiveram presentes nos momentos difíceis, que compartilharam comigo suas experiências e sabedoria e que nunca me deixaram desistir.

Aos meus amigos que sempre me deram apoio, em especial a Mariana que me colocou no caminho que hoje estou.

Ao meu noivo e melhor amigo de todas as horas, Victor Corrêa, que me apoiou desde sempre, me ajudando e acalmando nas horas difíceis. Que me incentivou e esteve sempre ao meu lado desde o início para o que fosse necessário.

Este trabalho é dedicado a vocês

AGRADECIMENTOS

À professora e orientadora Maria Lúcia Pereira Antunes, a qual sem a sua orientação, apoio, paciência, esse trabalho não seria possível. Obrigada pelo conhecimento comigo compartilhado, pelo apoio nos momentos difíceis, pela confiança, pela amizade, pela oportunidade acadêmica proporcionada e pela pessoa que ela é.

Ao professor e coordenador do programa de Engenharia Civil e Ambiental, Heraldo Luiz Giacheti, por todo apoio ao projeto. E também aos funcionários da secretaria de pós-graduação, Gustavo, Célia, Fábio e Diego.

Aos professores Karina Leonetti, Aline Heloá de Souza, José Antônio de Milito, pelo uso dos equipamentos do laboratório de Materiais da FACENS, pelo conhecimento, pela ajuda na análise dos resultados, pela amizade e pelo ótimo convívio. E também aos funcionários do laboratório que auxiliaram nos ensaios.

Ao Rafael Parra Ribeiro, por todas as análises feitas de molhabilidade e espectroscopia por infravermelho, pelo suporte técnico, além de todo o apoio e amizade.

A colega e amiga Carime dos Santos Souza, por ter me ajudado com os primeiros passos do trabalho, troca de informações e pela paciência.

Ao Paulo Silas Oliveira pelos ensinamentos, apoio e ajuda com os artigos.

Ao Núcleo de Resíduos Eletroeletrônicos de Sorocaba, pelos resíduos fornecidos para ensaio.

Aos professores Sandro Donnini Mancini e Alexandre Marco da Silva, pelo convívio, pela paciência, pelo apoio e pelo conhecimento.

Ao Laboratório de Ensaio de Materiais (LEMAT) da FACENS de Sorocaba.

Ao Laboratório Multiusuário de Caracterização de Materiais (LMCMat) da UNESP de Sorocaba.

Ao Laboratório de Plasmas Tecnológicos (LaPTec) da UNESP de Sorocaba

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Resumo

Uma das alternativas para a destinação de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), termo adotado no Brasil e tradução literal do inglês *Waste Eletronic and Electrical Equipament (WEEE)*, é a reciclagem. Em geral os metais presentes nesses resíduos apresentam maior interesse para as recicladoras, porém as carcaças dos equipamentos constituídas por polímeros acabam sendo destinadas a aterros. O presente trabalho apresenta uma forma simples e barata de se agregar valor a esse resíduo, tornando-o mais vantajoso financeiramente. Um estudo do comportamento do concreto com adição de polímeros fracionados provenientes de carcaças de equipamentos eletroeletrônicos descartados em substituição a parte do agregado graúdo é apresentado. Para isso foi feita a caracterização dos polímeros proveniente do REEE e foi estudado o comportamento de corpos de prova produzidos com adição de 5%, 8%, 10%, 15% e 20% em massa desse resíduo, mantendo um traço sem incorporação para comparação. O agregado graúdo obtido a partir dos polímeros advindos do REEE tem predominância da sua granulometria na faixa dos 6,3 mm, são identificados como sendo constituídos por HIPS (*High Impact Polystyrene*), e apresentam-se como material hidrofílico possibilitando boa interação com argamassa de cimento e água. Os concretos obtidos com até 20% de incorporação desse resíduo apresentam densidade superior a $2,0\text{g/cm}^3$, permitindo classifica-los como um concreto estrutural normal. O aumento da porcentagem de incorporação de REEE ao concreto leva a uma diminuição da resistência a compressão, porém esse valor é sempre superior a 20 MPa, identificando-o como um concreto de resistência média. A incorporação desse resíduo, devido ao seu formato, contribui com uma característica semelhante a de utilização de fibras em concreto impedindo o rompimento completo dos corpos. Esses resultados evidenciam a viabilidade de se incorporar REEE ao concreto, possibilitando uma valorização desse resíduo como agregado graúdo para concreto.

Palavras-Chave: Concreto, Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos, Propriedades Mecânicas, Cimento Portland, Poliestireno De Alto Impacto.

Abstract

One of the alternatives for the disposal of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), is recycling. In general, the metals present in these wastes are of greater interest to recyclers, but the carcasses of equipment made of polymers end up being destined to landfills. The present paper presents a simple and inexpensive way to add value to this waste, making it more advantageous financially. A study on the behavior of concrete with addition of fractionated polymers from carcasses of discarded electro-electronic equipment replacing part of the large aggregate is presented. For this, was done the characterization of the polymers from WEEE and analyzed the behavior of test specimens produced with addition of 5%, 8%, 10%, 15% and 20% in mass of this residue, maintaining a trace without incorporation for comparison. The large aggregate obtained from the WEEE polymers has a predominance of their granulometry in the range of 6.3 mm. They are identified as HIPS (High Impact Polystyrene) and are presented as a hydrophilic material allowing a good interaction with cement and water. The concretes obtained with up to 20% of incorporation of this residue present density superior to 2,0 g / cm³, allowing to classify them like a normal structural concrete. The increase in the percentage of incorporation of WEEE into the concrete leads to a decrease in the compressive strength, but this value is always higher than 20 MPa, identifying it as a medium-strength concrete. The incorporation of this residue, due to its shape, contributes with a characteristic similar to the use of fibers in concrete preventing the complete rupture of the bodies. These results demonstrate the feasibility of incorporating WEEE into the concrete, allowing a valorization of this waste as a large aggregate for concrete.

Keywords: Concrete, Waste Electrical and Electronic Equipment, Mechanical Properties, Portland Cement, High Impact Polystyrene.

Índice de Figuras

Figura 1: Ensaio de Goniômetro sendo realizado.....	22
Figura 2: (a) Esquema do cone utilizado no ensaio tronco cônico com as medidas do mesmo; (b) Cone, espátula, placa metálica e haste utilizados no ensaio de abatimento.	29
Figura 3: Ensaio de Compressão Diametral com corpo de prova entre as chapas resistentes.	31
Figura 4: Ensaio de módulo de elasticidade com os medidores posicionados	33
Figura 5: a) Parte do resíduo coletado aguardando separação. b) Parte dos materiais removidos durante a separação inicial.....	36
Figura 6: a) Resíduo aguardando moagem b) Resíduo após moagem.	37
Figura 7: a) Resíduo fragmentado ainda contendo o resíduo de pó. b) Resíduo em pó removido por peneiramento.....	37
Figura 8: Curva granulométrica do REEE após processamento em comparação com a brita	39
Figura 9: Espectro de infravermelho do REEE	40
Figura 10: Quantidade de água utilizada em função da porcentagem de REEE incorporado ao concreto.....	42
Figura 11: Resistência a compressão em função da porcentagem de resíduo incorporado, para o tempo de cura de 7, 28 e 63 dias.....	43
Figura 12: Amostra do concreto com incorporação com os locais onde o polímero se soltou.	46
Figura 13: a) Visão superior da ruptura após ensaio de tração por compressão lateral b) Visão lateral da ruptura após ensaio de tração por compressão lateral	48
Figura 14: Absorção de água em função da porcentagem de incorporação de resíduo.....	50
Figura 15: Porcentagem de Índice de vazios em função da porcentagem de resíduo incorporado ao concreto	51
Figura 16: Gráfico de Massa específica	52
Figura 17: Comparação da distribuição interna do resíduo pelo concreto nas diferentes proporções.	53

Índice de Tabelas

Tabela 1: Classificação das principais adições do cimento	5
Tabela 2: Classificação dos diferentes tipos de cimento	6
Tabela 3: Classificação do concreto quanto à massa específica.....	8
Tabela 4: Classificação do concreto quanto a sua resistência a compressão.....	9
Tabela 5: Classificação do agregado graúdo e miúdo	10
Tabela 6: Classificação de agregados graúdos quanto a sua dimensão.....	10
Tabela 7: Classificação dos agregados quanto ao seu coeficiente de não uniformidade	12
Tabela 8: Materiais que após o uso são classificados como REEE.....	14
Tabela 9: Ensaio e parâmetros para aprovação do CPV – ARI (CIMENTO.ORG, 2003)	24
Tabela 10: Composição Granulométrica do agregado miúdo (areia).....	25
Tabela 11: Resultados para as massas específicas do agregado miúdo.....	26
Tabela 12: Composição Granulométrica do agregado graúdo (brita)	26
Tabela 13: Resultado das massas específicas do agregado graúdo	27
Tabela 14: Traços com as referidas porcentagens de incorporações.....	28
Tabela 15: Porcentagem média retida na peneira em massa e média acumulada para o REEE	38
Tabela 16: Resultado dos ensaios de diâmetro máximo e módulo de finura do REEE	38
Tabela 17: Ângulo de contato da amostra de REEE	40
Tabela 18: Tabela de abatimento.....	41
Tabela 19: Resultados dos ensaios de compressão para 7, 28 e 63 dias.	44
Tabela 20: Resultados do ensaio de resistência à tração diametral, após 7 e 28 dias de cura.	47
Tabela 21: Tabela com valores para o ensaio de módulo de elasticidade referentes a idade de 28 dias.....	49
Tabela 22 : Absorção de água, índice de vazios, massas específicas das amostras secas e saturadas para diferentes porcentagens de substituição do agregado graúdo.....	50

Sumário

RESUMO	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 CIMENTO	4
3.1.1 Cimento Portland	4
3.2 PASTA, ARGAMASSA E CONCRETO	7
3.2.1 Concreto	8
3.2.2 Agregados.....	9
3.2.3 Vantagens da incorporação de resíduos em concreto	12
3.3 O RESÍDUO DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE).....	13
3.3.1 Destinação global de REEE	15
3.3.2 Problemas ambientais gerados pelo REEE.....	16
3.3.3 Destinação do REEE no Brasil.....	17
3.3.4 Estudos já realizados com incorporação de resíduo polimérico em cimento Portland	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 COLETA E SEPARAÇÃO DO RESÍDUO DE EQUIPAMENTO ELETROELETRÔNICO (REEE).....	20
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO PROCESSADO	21
4.2.1 Análise Granulométrica	21
4.2.2 Ensaio de Molhabilidade.....	22
4.2.3 Espectroscopia Por Infravermelho Com Transformada De Fourier (FTIR).....	23
4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS MATÉRIAS PRIMAS	23
4.3.1 Cimento.....	23
4.3.2 Agregados.....	24
4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCORPORAÇÃO DO REEE EM CONCRETO	27
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	29
4.6 ENSAIOS COM O CONCRETO ENDURECIDO	30
4.6.1 Ensaios de Resistência à Compressão.....	30
4.6.2 Ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral	31
4.6.3 Ensaio de módulo de elasticidade	32
4.6.4 Ensaios de Absorção de Água, Índice de Vazios e Massas Específicas	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1 COLETA E SEPARAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE).....	36
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO PROCESSADO	38
5.2.1 Análise granulométrica	38
5.2.2 Ensaio de Molhabilidade.....	39
5.2.3 Espectroscopia Por Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	40
5.3 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM INCORPORAÇÃO DO REEE EM CONCRETO	41
5.3.1 Caracterização do Concreto no Estado Fresco.....	41
5.4 ENSAIOS COM O CONCRETO ENDURECIDO	43
5.4.1 Ensaios de Resistência à Compressão.....	43
5.4.2 Ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral	47
5.4.3 Ensaios de Módulo de Elasticidade.....	48
5.4.4 Ensaios de Absorção de Água, Índice de Vazios e Massas Específicas	49
.....	53

6	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, os aparelhos eletroeletrônicos ficam obsoletos cada vez mais rápidos, tornando o seu descarte e substituição bastante comum, gerando assim quantidades cada vez maiores de aparelhos sem utilidade. Este é um problema da sociedade contemporânea, que só se agrava a cada ano e não demonstra sinal de desaceleração.

A quantidade global de geração de lixo eletrônico ou REEE (Resíduo de equipamento eletroeletrônico), em 2014 foi de cerca 41,8 milhões de toneladas sendo que desse total 11,7 milhões de toneladas foram geradas só no continente Americano (BALDE, 2014).

Para o ano de 2017 a previsão é de que se atinja 47,8 milhões de toneladas, e para 2018 a previsão é de 49,8 milhões de toneladas. (BALDE, 2014).

Uma das alternativas para a destinação desses resíduos é a reciclagem. Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) contêm vários materiais perigosos, valiosos financeiramente e escassos na natureza. Entre os materiais valiosos estão ferro, cobre, alumínio e ouro (BALDE, 2014), o que pode ser interessante para as recicladoras.

Porém existem outros materiais que compõe os REEE, como as carcaças dos equipamentos constituídas por polímeros. Estas também podem ser recicladas, porém apresentam pouco interesse por parte das recicladoras. O presente trabalho apresenta uma forma mais simples e barata de se agregar valor a esse resíduo, tornando-o mais vantajoso financeiramente.

A alternativa aqui abordada é a destinação dos resíduos para a área da construção civil. Muitos dos insumos, como os agregados utilizados na produção do concreto podem ser substituídos por resíduos a serem descartados, desta forma poupa-se recursos naturais e se reduz os custos das obras.

Sendo assim, este trabalho tem como foco estudar a incorporação de resíduos poliméricos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos, em substituição de parte do agregado grosso, em matriz de cimento Portland, apresentando-se uma avaliação das propriedades desse novo concreto.

Desta maneira pretende-se propor uma nova forma de destinação a esses resíduos, obtendo-se um novo material que ao utilizar menos recursos naturais, possui um maior apelo ambiental.

Esta é uma forma de não só se dar uma destinação ao resíduo, mas também de se agregar valor ao mesmo, o que auxilia nas comunidades que dependem da reciclagem como fonte financeira e por consequência, também uma forma de reduzir a extração de materiais virgens da natureza.

2 OBJETIVOS

Este estudo tem por objetivo a caracterização dos resíduos poliméricos provenientes de REEE captados em recicladora e à avaliação da sua incorporação em matriz de cimento Portland, em substituição ao agregado graúdo considerando diferentes porcentagens em massa.

2.1 Objetivos específicos

- Coletar os resíduos em uma recicladora, realizar a separação das partes que serão utilizadas e fragmentá-los, para obtenção de granulometria adequada a substituição de agregado graúdo.
- Caracterizar os resíduos com relação às suas características de molhabilidade, tamanho dos grãos e estrutura molecular.
- Definir as formulações ou traços, para confecção dos corpos de prova de concreto em cimento Portland e confecção dos mesmos substituindo parte do agregado graúdo por fragmentos de carcaça polimérica proveniente de REEE.
- Analisar o concreto fresco através da característica de trabalhabilidade, consistência e do consumo de água.
- Analisar os corpos de prova (CPs) de concreto em estado endurecido quanto às suas características de resistência à compressão, tração, elasticidade, absorção de água, índice de vazios e massa específica, para os tempos de cura de 7, 28 e 63 dias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cimento

A produção mundial de cimento em 2016 foi de 4,2 milhões de toneladas. (SULLIVAN, 2017)

O Brasil se destaca como o maior produtor de cimento da América Latina com 71 Mt, o que corresponde a 1,7% da produção mundial, fazendo-o ocupar a 13ª posição em escala mundial (QUEIROZ, 2015).

A característica do cimento é que quando misturado com água forma-se uma pasta. As reações químicas que ocorrem nessa mistura levam a formação de compostos químicos que geram o endurecimento do material e o tornam insolúveis em água. Esse comportamento é útil para a construção de estruturas rígidas e sólidas com qualquer formato desejado (CALLISTER, 2011).

Vários materiais cerâmicos que são familiares são classificados como cimentos, dos quais se pode citar o cimento Portland, o gesso e a cal, sendo todos produzidos em grandes quantidades (CALLISTER, 2011).

3.1.1 Cimento Portland

O cimento Portland foi desenvolvido por um construtor inglês, Joseph Aspdin, que o patenteou em 1824. O nome teve origem nas pedras da ilha de Portland no sul da Inglaterra, uma vez que o resultado da invenção de Aspdin se assemelha à cor e à dureza dessas pedras, material que era muito utilizado nas construções inglesas (BOLETIM TECNICO ABCP, 2003).

Esse cimento ao ser misturado com água, primeiramente se torna pastoso, endurecendo em seguida, vindo assim a adquirir elevada resistência e durabilidade (DUCATTI 2007). Essa característica faz dele um ligante hidráulico muito resistente, podendo ser usado na produção de pastas, argamassas e concreto (BOLETIM TECNICO ABCP, 2003).

O cimento Portland é composto principalmente pelo clínquer e por adições. Sendo o clínquer composto por calcário e argila (BOLETIM TECNICO ABCP, 2003).

A rocha calcária é inicialmente britada, moída, sendo em seguida misturada com argila. Essa mistura é queimada em um forno giratório à 1450°C, gerando o clínquer, que nessa fase se apresenta sob a forma de pelotas. Ao ser removido do forno ele é bruscamente resfriado para então ser finamente moído, obtendo a consistência de um material granulado. A esse

material é acrescentado diferentes adições, o que acaba definindo características e propriedades dos diferentes tipos de cimento Portland. A tabela 1 apresenta as diferentes adições que podem ser utilizadas, apontando suas vantagens e desvantagem.

Tabela 1: Classificação das principais adições do cimento

Adição	Origem	Vantagens	Observações
Gesso	Extraído da natureza.	Controla o tempo de início do endurecimento do clínquer moído após entrar em contato com água.	Sua ausência leva ao endurecimento do clínquer.
Escórias de alto-forno	Escórias geradas no processo de refinamento do aço.	- Possui características cimentícias, podendo ser usada na substituição de parte do cimento. - Baixo custo, por ser um resíduo da indústria siderúrgica.	É um material expansivo necessitando cuidado na sua utilização.
Materiais pozolânicos	-Rochas vulcânicas -Matérias orgânicas fossilizadas -Certos tipos de argilas queimadas -Derivados da queima de carvão mineral nas usinas termoelétricas.	- Eficiente para conferir as propriedades hidráulicas ao cimento.	É utilizada desde a época dos romanos.
Materiais carbonáticos	-Rochas moídas, que apresentam carbonato de cálcio na sua composição.	- Torna os concretos e as argamassas mais trabalháveis - Tem função de preencher os pequenos espaços vagos se alojando entre os grãos ou partículas dos demais componentes do cimento, funcionando como um lubrificante.	Também são conhecidos como filer calcário.

Fonte: BOLETIN TECNICO ABCP, 2003, ISAIA, 2005.

No mercado brasileiro, o primeiro cimento Portland comercializado era conhecido como CP. Esse produto possuía apenas a adição de gesso ao clínquer. Hoje esse cimento é identificado como CP-I. O cimento Portland é classificado conforme denominação apresentada na tabela 2, de acordo com a sua composição (CICHINELLI, 2008).

Tabela 2: Classificação dos diferentes tipos de cimento

Cimento	Classificação	Adições/Composições	Aplicações
CP-I	Cimento Portland Comum	Sem adições (apenas gesso).	- Usado quando não existem especificações no serviço.
CP-II	Cimento Portland Composto	- De 6% a 14% de material pozolânico (CP-II – Z). - De 6% a 34% de escoria de alto forno, (CP-II – E). - De 6 e 10% de materiais filers carbonos, (CP-II – F).	- Fossa séptica, pisos, lajes, pilares e tijolos de solo-cimento.
CP-III	Cimento Portland de Alto-Forno	- Escoria de alto forno (adição de escória no teor de 35% a 70% em massa).	- Obras expostas à esgoto e a chuva ácida. - Fundações, peças de grandes dimensões e construções de barragens, entre outros.
CP-IV	Cimento Portland Pozolânico	Cinza de carvão ou argila queimada.	- Obras que ficarão expostas à ação de água corrente e em ambientes agressivos.
CP-V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial	- Mesma composição do CP I, porem o clínquer permanece no moinho por mais tempo.	- Todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida, como exemplo os pré-moldados e blocos de Intertravados.
CP - RS	Cimento Portland Resistente a Sulfatos	Apresenta pelo menos uma das seguintes condições:	- Construções expostas a redes de esgotos domésticos

		<ul style="list-style-type: none"> - Teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas máximo de 8% e 5% em massa. - Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória. - Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico. - Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos. 	ou industriais, na água do mar e em alguns tipos de solos.
CP - BC	Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação	- São aqueles que geram até 260 J/g e até 300 J/g aos 3 dias e 7 dias de hidratação, respectivamente, e podem ser qualquer um dos tipos básicos.	- Uso em concreto-massa, como barragens e grandes pilares.
CP - CPB	Cimento Portland Branco	- Diferencia dos demais pela coloração que é conseguida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxidos de ferro e manganês.	<ul style="list-style-type: none"> - Estrutural, quando se quer dar destaque a arquitetura, apenas para efeito estético. - Não estrutural, usado para rejuntar azulejos.

Fonte: CICHINELLI, 2008

3.2 Pasta, Argamassa e Concreto

Quando se analisa as diferentes composições que se pode realizar com o cimento, acaba-se caindo em três categorias básicas de composição, sendo pasta, argamassa ou concreto.

As Pastas são a mistura pura do cimento com água, e são usadas basicamente para rejuntas.

As argamassas são a mistura de água, cimento, agregado miúdo (normalmente areia) e pode ainda conter outros aditivos, sendo usados para reboco, reparos estruturais, contra piso e assentamento de acabamentos.

O concreto é composto basicamente por água, cimento (aglomerante), agregado miúdo e agregado graúdo (materiais inertes), sendo tratado com mais detalhe no item 3.2.1 (PETRUCCI, 1978).

3.2.1 Concreto

Atualmente o concreto é o material mais consumido, em volume, no mundo após a água (LOW, 2005), e o seu principal componente é o cimento. Estima-se que o índice de consumo no início do século XXI esteja da ordem de 11 bilhões de toneladas. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Trata-se de um material que quando comparado ao aço e à madeira apresenta vantagens em seu uso. Apresenta grande resistência a água, sendo sua aplicação mais antiga registrada ainda na época dos romanos em aquedutos, cisternas e represas. Fácil de ser moldado permite obter elementos estruturais de diferentes formas e tamanhos e possui baixo custo (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com a sua massa específica o concreto pode ser classificado em três categorias conforme tabela 3:

Tabela 3: Classificação do concreto quanto à massa específica

Concreto	Massa Específica (ρ) (Kg/m ³)
Concreto leve	< 2000
Concreto de densidade normal	2000 < ρ < 2800
Concreto pesado	> 2800

Fonte: ABNT NBR 8953:2015

A variação da massa específica dos concretos se dá basicamente devido a massa específica dos agregados incorporados (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Na Europa, se usa classificar o concreto de acordo com a sua resistência à compressão. Sendo assim, pode-se ter concreto de: Baixa resistência, Resistência Moderada ou Alta resistência, de acordo com os valores apresentados na tabela 4 (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Tabela 4: Classificação do concreto quanto a sua resistência a compressão.

Tipo de concreto	Resistência medida (R)
Baixa resistência	< 20 MPa
Resistência moderada	20 MPa < R < 40 MPa
Alta resistência	> 40MPa

Fonte : MEHTA; MONTEIRO, 2008.

Os fatores que afetam a resistência do concreto podem ser o tipo de cimento empregado, a relação água/cimento, os aditivos e os tipos de agregados utilizados. (DANTAS, 2012).

Os concretos de baixa resistência não apresentam uso estrutural, e são utilizados como astro, em paredes de vedação, contra piso e calçadas. Já os concretos de resistência moderada são os de uso geral, com a sua aplicação podendo ser estrutural. O concreto de alta resistência apresenta a vantagem de sua utilização permitir ganho de espaço na estrutura, produzindo pilares e vigas de menores dimensões e reduzindo o peso total da edificação (DANTAS, 2012).

3.2.2 Agregados

Como dito anteriormente, o concreto é constituído por aglomerante, materiais inertes e água, sendo o material inerte mais utilizado o agregado graúdo (PETRUCCI, 1978).

A dimensão e a forma do agregado graúdo também podem afetar de forma indireta a resistência do concreto, sendo que quanto maior a proporção de partículas alongadas e achatadas, maior será a tendência de acúmulo de filme de água junto à superfície do agregado, enfraquecendo a zona de transição de interface pasta-agregado. Fenômeno este conhecido como exsudação (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Os agregados podem ser divididos em agregado graúdo e miúdo, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5: Classificação do agregado graúdo e miúdo

Agregado	Tamanho dos grãos
Miúdo	Máximo de 15% do seu volume fica retido na peneira de 4,75mm.
Graúdo	Material que fica retido na peneira de 4,75 mm.

FONTE: (FUSCO, 1993)

O agregado graúdo é classificado de acordo com o tamanho dos seus grãos, conforme NBR NM 53 – (ABNT, 2009) e pode ser subdividido em categorias, como mostra a tabela 6.

Tabela 6: Classificação de agregados graúdos quanto a sua dimensão

TIPO	DIMENSÕES (mm)
BRITA 0	4,75 a 9,5
BRITA 1	9,5 a 19
BRITA 2	19 a 25
BRITA 3	25 a 50
BRITA 4	50 a 76
BRITA 5	76 a 100

Fonte: NBR NM 53 – (ABNT, 2009)

As principais funções dos agregados são de contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes, ao desgaste e as intempéries, reduzir as variações de volumes e reduzir o custo do concreto (PETRUCCI,1978).

Quando se analisa o agregado quanto a sua classificação, o primeiro teste a ser realizado é o de granulometria completa conforme NBR 7217 (ABNT, 2016).

Com base nos valores obtidos desta análise podemos estabelecer definições importantes para o entendimento do agregado NBR NM 248 (ABNT, 2003), conforme informações a seguir.

- Porcentagem que Passa (%Pas) é definida como a massa de material que passa em cada peneira. Sua medida é feita através da determinação da massa seca da amostra.
- Porcentagem Retida (%Ret) é definida pela porcentagem retida numa determinada peneira. Sua medida é feita pesando-se o material retido, dividindo este pelo peso seco total e multiplicando-se por 100.
- Porcentagem Acumulada (% Mac) é definida pelo total em porcentagem, de todo material retido até a peneira de estudo sua medida é feita somando-se os percentuais retidos nas peneiras superiores, com o percentual retido na peneira em estudo.
- Massa seca total (Mts) é a massa total do material seco em estufa.
- Módulo de Finura (Mf). Quanto maior o módulo de finura, mais grosso será o solo, sua medida é feita somando-se os percentuais acumulados em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.
- Dimensão máxima característica (DMC) é definida pelo número da peneira da série normal na qual a porcentagem acumulada é inferior ou igual a 5%, sua medida é feita observando-se na tabela qual peneira da série normal à porcentagem acumulada é inferior a 5%, desde que essa porcentagem seja superior a 5% na peneira.
- Diâmetro Efetivo (Def) fornece uma indicação sobre a permeabilidade das areias, sua medida é feita observando-se na tabela a abertura da peneira para a qual se têm 10% em peso total de todas as partículas menores que ele.
- Coeficiente de Não Uniformidade (Cnu): Indica a falta de uniformidade do agregado, pois seu valor diminui com a uniformidade do material. Sua medida é feita através da razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e 10%, tomados na curva granulométrica. O coeficiente de não uniformidade (Cnu) pode ser classificado em três categorias de acordo com o seu valor, como apresentado na tabela 7.

Tabela 7: Classificação dos agregados quanto ao seu coeficiente de não uniformidade

Cnu	Classificação
< 5	Muito uniforme
5 < Cnu < 15	Uniformidade média
Cnu > 15	Não uniforme

Fonte: NBR NM 248 (ABNT, 2003).

3.2.3 *Vantagens da incorporação de resíduos em concreto*

A incorporação em concreto consiste na adição e, ou substituição de parte dos componentes do concreto por outro material, que deve exercer função similar ao material que se está tomando como base, seja eles, o cimento ou agregado.

Com a incorporação é utilizada uma quantidade menor de material que seria utilizado para a produção do concreto. Desta maneira, podem-se reduzir os impactos ambientais causados pelas concreteiras e pela construção civil, uma vez que, haverá uma redução da extração da matéria prima da natureza. Outro aspecto importante, é que a construção civil, consome uma grande quantidade de matéria prima, sendo que a substituição dessas por resíduo pode ser uma alternativa para o descarte de materiais sem utilização.

Com esta visão, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos visando incorporar resíduos de diversos tipos no concreto como: cinzas de casca de arroz (JUMA et al, 2012), vidro (RASHAD, 2014), resíduo de construção civil (RCC) (WEN et al, 2014, KUMUTHA e VIJAI, 2010). Assim como alguns usos já consolidados como a utilização de escória de alto forno (RESCHKE, 2003 e BITTENCOURT et al, 2012). A seguir são apresentados de forma resumida alguns desses resultados, mostrando a evolução desses estudos.

Dentre esses estudos, Kumutha e Vijai (2010) realizaram incorporação em concreto, de resíduo da construção civil, mais especificamente, concreto e blocos de construção moídos, em substituição do agregado grosso ou fino. Concluíram que dependendo da granulometria do resíduo, é possível a substituição de até 100% do agregado e ainda assim alcançar a resistência especificada pelas normas. Isso demonstra que alguns resíduos se comportam praticamente como a matéria prima, levando a sua valorização e poupando recursos.

Barbosa et al (2006), realizou a substituição de parte do agregado miúdo por borracha de pneu e parte do material aglomerante por cinza da casca de arroz, concluindo que os

concretos obtidos com essas incorporações apresentaram propriedades superiores quanto a resistências mecânicas, resistência à abrasão e resistência ao impacto.

Shutong Yang et al (2015) utilizando polipropileno (PP) reciclado para incorporação em concreto em substituição do agregado miúdo, chegando a resultados que a substituição de até 10% auxilia na compressão e tração do concreto. Frigione et al (2010) incorporou resíduo de garrafas PET em concreto como substituto parcial do agregado fino em massa de 5%. Seus resultados mostram que se mantém a trabalhabilidade e não ocorreram alterações significativas na resistência a compressão e tensão.

Como descrito anteriormente, a incorporação de resíduos além de contribuir para a redução dos problemas ambientais, pode também contribuir para a melhora das propriedades do concreto.

3.3 O Resíduo de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Os Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) tradução literal do inglês *Waste electrical and electronic equipment (WEEE)*, termo estabelecido no JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPEIA. (27 de Janeiro de 2003), também podem ser referenciados como e-waste (BALDÉ, 2014), ou comumente falado e-lixo (VAL, 2016). São os termos usados para descrever aparelhos antigos, de fim de vida ou descartados, que se utiliza de eletricidade. Esses resíduos podem conter tanto materiais valiosos como materiais perigosos que exigem métodos especiais de manuseio e reciclagem.

Conforme Baldé (2014) e de acordo com as diretivas do jornal oficial da união europeia, materiais eletrônicos compreendem os itens citados na tabela 08.

Tabela 8: Materiais que após o uso são classificados como REEE

Itens	O que compreendem
Equipamentos de troca de temperatura	Equipamentos de refrigeração e congelamento como geladeiras, freezers, condicionadores de ar, bombas de calor.
Telas e monitores	Televisores, monitores, laptops, notebooks e tablets.
Lâmpadas	Lâmpadas fluorescentes, compacto fluorescentes, lâmpadas de alta intensidade e lâmpadas de LED.
Equipamentos de grande porte	Máquinas de lavar, secadores de roupa, máquinas de lavar louça, fogões elétricos, grandes máquinas de impressão, copiadoras e painéis fotovoltaicos.
Equipamento de pequeno porte	Aspiradores, micro-ondas, aparelhos de ventilação, torradeiras, chaleiras elétricas, máquinas de barbear, balanças, calculadoras, aparelhos de rádio, câmeras de vídeo, brinquedos elétricos e eletrônicos, pequenas ferramentas elétricas e eletrônicas.
Pequeno TI e equipamentos de telecomunicações	Celulares, GPS, calculadoras de bolso, roteadores, computadores pessoais, impressoras, telefones.

Fonte: Baldé (2014).

A definição de REEE nos diferentes países é ambígua e dados divergem, uma vez que diferentes países e organizações adotam diferentes definições para classificar os resíduos eletrônicos (LAHA, 2011).

De acordo com o regulamento suíço sobre REEE, implementado em 1998 e complementado em 2005, a definição de REEE inclui eletrodomésticos, equipamentos de escritório, de informação, comunicação e iluminação, ferramentas elétricas e eletrônicas, brinquedos, equipamentos recreativos, de lazer e desportivos (WEEE ORDEE, 2005).

Os Estados Unidos não possuem um sistema de leis federais oficiais de regulação de resíduos eletrônicos, contudo alguns estados implementaram sistemas próprios de regulação. Já em 2011 foi formada a Estratégia Nacional de Manejo Eletrônico para se concentrar as ações federais para estabelecer a administração de eletrônicos (INDIANAPOLIS UNIVERSITY, 2009).

Os EUA consideram como REEE eletrodomésticos, equipamentos de TI, equipamentos para entretenimento (como tvs e aparelhos de som), Cds, DVDs, fitas, cartuchos e toners de impressoras, e baterias (INDIANAPOLIS UNIVERSITY, 2009).

Desta maneira, tem-se uma discrepância ao se comparar dados entre países, pois os EUA consideram menos itens como sendo REEE.

Considerando que os EUA são os maiores geradores de REEE no mundo, seguido da China, a quantidade gerada desse resíduo, podem ser ainda maiores se avaliados pelo padrão da União Europeia (ELECTRONICS TAKEBACK COALITION, 2014).

O REEE se tornou uma preocupação ambiental em todo o mundo. No mundo industrializado, os resíduos eletrônicos constituem o fluxo de resíduos com o maior crescimento. (MUNDADA et al., 2004).

A quantidade global de geração de lixo eletrônico em 2014 foi cerca de 11,7 Mt nas Américas e 41,8 Mt mundialmente, essa quantidade deverá crescer a 49,8 Mt em 2018. Os três principais países do continente americano com a geração de lixo eletrônico mais elevado em quantidades absolutas são: Estados Unidos (7,1 Mt), Brasil (1,4 Mt) e México (1,0 Mt). Já os três primeiros que têm a geração de lixo eletrônico por habitante, mais alto em quantidades são: Estados Unidos (22,1 kg / hab.), Canadá (20,4 kg / hab.) e Bahamas (19,1 kg / hab.) (BALDÉ, 2014).

3.3.1 Destinação global de REEE

Existe uma troca global de resíduos entre países para o posterior tratamento, reciclagem ou disposição final. Resíduos tóxicos ou perigosos são comumente exportados de países desenvolvidos para países ainda em desenvolvimento, para serem posteriormente tratados, reciclados ou encaminhados para uma destinação final (HOORNWEG, BHADATATA, 2012).

No relatório “Que desperdício: uma revisão global da gestão de resíduos sólidos”, emitido pelo Banco Mundial explica em geral quanto maior o desenvolvimento e quanto maior o nível de urbanização, maior é a geração de resíduos (HOORNWEG, BHADATATA, 2012).

Estimasse que 50 milhões de toneladas de REEE são produzidas todo ano, em sua maioria pelos EUA e Europa (STHIANNOPKAO, WONG 2012).

Apesar do maior consumo de equipamentos eletrônicos e elétricos (EEE) ocorrerem por nações em desenvolvimento, através do comércio de sucatas uma grande parte do REEE é exportado ilegalmente para nações em desenvolvimento especializadas na Ásia e África, para reciclagem e disposição final (STHIANNOPKAO, WONG, 2012).

A exportação desse tipo de resíduo ocorre principalmente, para se eliminar o processo de reciclagem e eliminação, que é muito caro nos países desenvolvidos além destes possuírem regulamentações ambientais rigorosas para isso (YAP, 2006).

Uma grande parcela da responsabilidade ambiental do gerenciamento de REEE é suportada pela população pobre e marginalizada no setor informal que não possuem outras opções de renda.

Eles adotam processos manuais simples de desmontagem e extração, muitas vezes expondo-os a produtos químicos perigosos (YU et al., 2010) que causam danos consideráveis à saúde e ao meio ambiente dos trabalhadores e da população residente das proximidades.

A Convenção Basel sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e sua Eliminação constitui o "acordo ambiental global mais abrangente sobre resíduos perigosos e outros" (CONVENÇÃO BASEL, 1989).

Essa convenção foi estabelecida em 1989 e aplicada em 1992, para combater o aumento na transferência ilegal de resíduos nocivos para países menos desenvolvidos. Vale lembrar que segundo essa convenção, o REEE é classificado como resíduo perigoso.

Está prevista nessa convenção a exigência de que todas as nações exportadoras obtenham permissão prévia dos países de importação e até de trânsito, independentemente de serem ou não signatários (ASANTE-DUAH et al., 1992).

Em 1995, a Emenda de Ban de Basel foi implementada para proibir a exportação ilegal de resíduos de países desenvolvidos para países em desenvolvimento (PUCKETT e SMITH, 2002). Porém, atualmente, com poucas ratificações (apenas 28 países), a proibição não entrou em vigor.

3.3.2 Problemas ambientais gerados pelo REEE

Os REEE quando descartados de modo incorreto podem gerar sérios riscos ao meio ambiente e às pessoas que vivem e trabalham em torno de lixões de resíduos eletrônicos.

REEE contém grandes quantidades de elementos altamente tóxicos como chumbo, cádmio, mercúrio, arsênico, selênio e retardadores de chama que emitem dioxinas na queima. A maioria do volume de resíduos está destinada a aterros sanitários (BARBA, et al, 2008).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) cerca de 80-85% dos resíduos eletrônicos foram despejados em aterros entre 2003 e 2005 (KAHHAT et al, 2008).

As toxinas e Produtos químicos desses resíduos descartados de forma incorreta, podem contaminar águas subterrâneas vizinhas, envenenando as pessoas locais (WONG et al, 2007).

Uma cidade que sofre os resultados negativos do comércio de resíduos perigosos é Guiyu, na China. Esta cidade já foi chamada de lixeira eletrônica do mundo, por ser o local de maior despejo de REEE do mundo. Cerca de 700 mil kg de equipamentos eletrônicos são manuseados por ano pelos trabalhadores dessa cidade (TIME, 2014).

3.3.3 Destinação do REEE no Brasil

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que foi sancionada em dois de agosto de 2010 aborda o fato de os consumidores também serem obrigados a compartilhar a responsabilidade sobre o ciclo de vida dos produtos consumidos. Tendo o dever de reduzir a geração e o desperdício, além de separar, armazenar e dar o correto destino aos resíduos.

As empresas que produzem produtos eletroeletrônicos tem a obrigação de possuir um sistema de logística reversa, ou seja obter o retorno do produto após o uso pelo consumidor, sem que haja dependência dos serviços públicos (POLÍTICA NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, 2010).

No estado de São Paulo existem algumas empresas especializadas em coleta de REEE, como: Ecobraz na cidade de São Paulo, Reciclagem Brasil em Sumaré, CEDIR que funciona no Centro de Computação Eletrônica da USP em São Paulo, Coopermiti em São Paulo, Descarte Certo em Americana, Estre em Paulínia, Lorene em São Paulo, Reciclo Metais em São Paulo, Recicladora Urbana em Jacareí, entre outras (BOECHAT, 2015).

Apesar de algumas cidades maiores possuírem projetos regionais de coleta, como é o caso de Sorocaba que possui a Central de Resíduo Eletroeletrônicos de Sorocaba, que atende também algumas cidades da região, a maioria do país permanece sem solução ambientalmente correta (ONG E-LIXO, 2015), restando à opção de aterrar seus resíduos.

O interesse principal das recicladoras quando se trata de REEE se concentra nos metais, devido ao seu valor comercial. Porém também existem os resíduos poliméricos

presentes principalmente nas carcaças dos equipamentos, ocupando um grande volume e que devido a sua dificuldade de reciclagem acabam não sendo interessante para as recicladoras.

As carcaças em geral são constituídas de polímeros como: HIPS (do inglês: *high impact polystyrene*), PP (polipropileno), ABS (do inglês: *acrylonitrile butadiene styrene*), PC (Policarbonato) entre outros. Para possibilitar a reciclagem dos polímeros, necessita-se realizar uma separação minuciosa de acordo com os seus diferentes tipos de polímeros, pois no caso de contaminação, as propriedades finais do produto podem ser comprometidas, isso se deve as variações físicas e químicas que os produtos apresentam entre si. Esta separação demanda tempo e mão de obra, fatores que encarecem o processo (ZANIN, MANCINNI, 2004).

Durante os processos de reciclagem mecânica dos polímeros, após passarem pela separação já mencionada, eles passam por uma moagem, sendo posteriormente lavados, secos, aglutinados e posteriormente o reprocessamento, o que origina os grânulos ou uma nova peça de plástico reciclado.

Caso se esteja visando um polímero com propriedades melhores pode-se realizar a adição de aditivo, o que também encarece o produto final.

Porém a qualidade final do material depende de diversos fatores como a qualidade da matéria prima inicial e a eficiência da execução de cada etapa do processo (ZANIN, MANCINNI, 2004)

Após o processo resta-se uma água residual, que também deverá passar por tratamento antes de ser devolvida ao meio ambiente.

Todos esses recursos envolvidos, como água e energia, são escassos e custosos, o que influencia no custo final do produto, que provavelmente será de qualidade inferior ao inicial, financeiramente isso pode não ser proveitoso.

3.3.4 Estudos já realizados com incorporação de resíduo polimérico em cimento Portland

Entre as vantagens da utilização do resíduo polimérico incorporada no cimento Portland, pode-se citar o fato que não será necessária separação dos diferentes tipos de polímeros, podendo ser utilizados todos em conjunto, o que diminui o custo da mão de obra. Também não será necessária lavagem do resíduo; desde que este não esteja contaminado por

algum resíduo oleoso, o que diminui o desperdício de água e elimina a necessidade de tratamento da mesma antes de retornar as vias pluviais.

Nos últimos anos, a literatura vem apresentando, estudos que avaliam as propriedades alcançadas por concretos e argamassas quando se substitui um dos seus agregados por polímeros, ou apenas os incorpora. Como em Askarinejad et al (2017), Pakravan e Memarian (2016), Islam et al (2016), Manjunath (2016), Poulikakos et al (2017). A seguir são apresentados de forma resumida alguns desses resultados, mostrando a evolução desses estudos.

Kumar et al (2014) estudaram a incorporação de resíduo polimérico HIPS proveniente de REEE como substituto parcial em volume do agregado graúdo. O resultado mostrou que tanto o teste de ensaio tronco cônico como de densidade mostraram alterações significativas após a incorporação. Quanto aos testes de compressão, tensão e flexão mostraram queda constante conforme o acréscimo do resíduo porém conclui-se que uma substituição de até 30% ainda permite a utilização deste concreto.

Já Nagajothi P. G. e Felixkala T. (2014) realizaram a substituição de 0%, 0,5%, 1,5% e 2,5 % do agregado grosso por fibras feitas a partir de e-waste. O que demonstrou um crescimento gradual da resistência à compressão conforme foram sendo adicionadas as fibras ao concreto. A incorporação de 2,5% de fibras demonstrou aos 28 dias o dobro de resistência à compressão que o concreto sem incorporação.

Lakshmi e Nagan (2011) sugeriram o uso de partículas de polímeros obtidos de REEE como substituição parcial de agregado grosso em concreto com e sem cinzas volantes. Os resultados revelaram que a substituição de 20% do agregado por REEE em concreto com 10% de cinzas volantes, mostra melhora na resistência à compressão e à tração.

Suchithra et al (2015) executaram a substituição do agregado grosso por REEE nas proporções 0%, 5%, 10% 15% e 20%, observando um ganho na resistência a compressão aos 10%.

Esses resultados demonstram que é promissor usar polímeros provenientes do REEE como agregado em concreto, motivando que novos estudos sejam feitos, levando-se em consideração a realidade regional dos resíduos de cada localidade.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta e separação do Resíduo de Equipamento Eletroeletrônico (REEE)

O resíduo de equipamento eletroeletrônico (REEE) utilizado neste trabalho, foi coletado junto ao Centro de coleta de resíduos eletrônicos de Sorocaba (Cooperativa de Reciclagem Reviver localizado na Rua Ourinhos, 241 - Jardim Leocádia, Sorocaba – SP).

O centro de coleta tem financiamento e suporte provenientes da Prefeitura de Sorocaba e lá é realizada a coleta de resíduos eletrônicos residenciais, comerciais e industriais. Quando em pequeno volume, o resíduo deve ser levado pessoalmente ao local de coleta, porém em casos de grande volume a ser descartado, o próprio centro pode realizar a coleta.

No Centro de coleta, inicialmente é feita uma primeira triagem dos equipamentos recebidos que são classificados e separados por grupos, sendo eles: monitores, gabinetes de computadores, teclados, TVs, impressoras, brinquedos entre outros.

Neste trabalho, foram utilizadas apenas as carcaças poliméricas dos equipamentos já desmontados. Essas peças foram pesadas em uma balança digital (marca Micheletti/ modelo MIC 100). Sendo novamente vistoriadas, removendo-se itens menores como parafusos, adesivos e outras peças metálicas ainda acopladas à carcaça, e posteriormente pesando os itens removidos. Também foram removidas partes contaminadas por líquidos ou óleos e lubrificantes.

Essas carcaças foram cortadas com serra para reduzir seu tamanho, obtendo-se peças com dimensões de aproximadamente 20 cm X 30 cm, para que pudessem ser fragmentadas pelo moinho de facas.

Foi utilizado um moinho de facas marca KiE © Máquinas e Plásticos modelo MAK 250, e após a fragmentação o material foi peneirado com o auxílio de uma peneira de 12 mm, sendo o material de dimensões superiores retornado ao moinho para ser novamente fragmentado até atingir as dimensões desejadas.

Nota-se que a fragmentação do resíduo no moinho de facas, acaba gerando carga estática nos pedaços obtidos, fenômeno que pôde ser melhor observado no “pó” (partículas menores restantes) após a moagem.

Como forma de controle, o resíduo foi passado por uma peneira de 2 mm para a remoção desse pó e dessa maneira diminuir a quantidade de material com carga estática.

Como esse material é utilizado em substituição ao agregado graúdo ele deve possuir dimensões entre 4,75 mm e 75 mm de diâmetro conforme exigido pela NBR 7211 – (ABNT, 2009).

4.2 Caracterização do Resíduo processado

4.2.1 Análise Granulométrica

O tamanho dos grãos constituintes do resíduo, após a moagem, foi avaliado por análise granulométrica de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987). Esta análise foi feita em duplicata, utilizando-se amostras de 1 Kg cada.

Utilizando-se uma sequência de peneiras com aberturas padronizadas segundo a NBR NM ISO 2395 (ABNT, 1997), estas foram dispostas uma sobre as outras, em ordem crescente da base ao topo e colocadas em um agitador de peneiras (marca Solotest serie 1095), operado a 5 RPM durante um intervalo de tempo de 15 minutos. O material retido em cada peneira foi pesado e calculou-se de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987), permitindo-se obter os seguintes parâmetros Porcentagem média retida na peneira em massa (%Ret) (equação 1); Porcentagem média acumulada (%Mac); Módulo de finura (Mf); Dimensão máxima característica (DMC); Coeficiente de Não Uniformidade (Cnu) (equação 2). Todas essas grandezas foram definidas no item 3.2.1 deste trabalho.

$$\%Ret = \frac{Msec}{Mts} * 100 \quad (1)$$

Onde:

Msec: massa seca da amostra retida na peneira;

Mts: massa seca total

$$Cnu = \frac{d60}{d10} \quad (2)$$

Onde:

d60: diâmetro correspondente a 60% da massa acumulada

d10: diâmetro correspondente a 10% da massa acumulada

De acordo com o resultado obtido para Cnu, os agregados podem ser classificados conforme tabela 7 apresentada no item 3.2.2 deste trabalho.

4.2.2 *Ensaio de Molhabilidade*

Para a determinação do caráter hidrofóbico ou hidrofílico (molhabilidade) do resíduo triturado, foram feitas medidas do ângulo de contato de uma gota de água deionizada com a superfície do material.

Para tanto, foi utilizado um goniômetro Ramé-Hart 100-00, do Laboratório de Plasmas Tecnológicos (LaPTec), da UNESP/Sorocaba, como mostra a figura 01. O equipamento é composto por uma fonte luminosa, uma câmera que realiza a captura das imagens, uma plataforma que permite ajuste vertical e horizontal e uma micro seringa que pode produzir gotas de 0,2 μ L.

Imagens da gota em contato com a superfície são enviadas ao programa de computador DropImage que calcula os ângulos. Foram utilizadas 3 amostras de polímeros para essa análise, e em cada amostra foram avaliadas 10 gotas de água.

Figura 1: Ensaio de Goniômetro sendo realizado



Fonte: Autora

4.2.3 Espectroscopia Por Infravermelho Com Transformada De Fourier (FTIR)

Os grupos químicos dos polímeros que compõe a carcaça de REEE, foram analisados por Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho, no modo de transmitância, através do equipamento Jasco FTIR-410, no Laboratório de Plasmas Tecnológicos LaPTec da UNESP de Sorocaba. As amostras foram submetidas a 128 varreduras, na faixa de número de onda de 4000cm^{-1} a 400cm^{-1} .

Foram analisadas 4 peças de REEE já triturado, para procurar identificar o tipo de polímero característico desse material.

4.3 Caracterização das Matérias Primas

4.3.1 Cimento

O cimento utilizado para o estudo de incorporação do REEE como agregado graúdo na confecção dos corpos de prova foi o cimento Portland CPV – ARI, uma vez que esse cimento permite desforma rápida e é o mais indicado para a produção de intertravados e pré-moldados (BOLETIN TECNICO ABCP, 2003).

A tabela 9 apresenta as especificações fornecidas pelo fabricante para o cimento CPV- Ari, utilizado neste trabalho.

Tabela 9: Ensaio e parâmetros para aprovação do CPV – ARI (CIMENTO.ORG, 2003)

CP V-ARI	Especificações ABNT	
ENSAIOS FÍSICOS		
Tempo de início de pega	≥ 1 h	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Tempo de fim de pega	≤ 10 h	NBR NM 65 (ABNT, 2003)
Finura na peneira # 200	$\leq 6,0$ %	NBR 11579 (ABNT, 1991)
Expansibilidade a quente	$\leq 5,0$ mm	NBR 11582 (ABNT 1991)
Resistência à compressão 1 dia	$\geq 14,0$ MPa	NBR 7215 (ABNT 1996)
Resistência à compressão 3 dias	$\geq 24,0$ MPa	NBR 7215 (ABNT 1996)
Resistência à compressão 7 dias	$\geq 34,0$ MPa	NBR 7215 (ABNT 1996)
ENSAIOS QUÍMICOS		
Perda ao fogo	$\leq 4,5$ %	NBR 5743 (ABNT 1989)
Resíduo insolúvel	$\leq 1,0$ %	NBR NM 15 (2012 ABNT)
Trióxido de enxofre – SO ₃	$\leq 3,5$ %	NBR NM 16 (ABNT 2012)
Óxido de magnésio – MgO	$\leq 6,5$ %	NBR NM 11-2 (ABNT 2012)

Fonte: CIMENTO.ORG, 2003

4.3.2 Agregados

Os agregados utilizados foram areia (como agregado miúdo) e brita 1 (como agregado graúdo), provenientes da empresa Júlio e Júlio (Sorocaba/S.P.).

O agregado miúdo, assim como o agregado graúdo, foram analisados quanto a sua granulometria completa conforme NBR NM 248 (ABNT, 2003) pelo Laboratório de Ensaio de Materiais (LEMAT) da Faculdade de Engenharia de Sorocaba (FACENS). Este é um

procedimento de rotina realizado pelos técnicos do laboratório para todos os lotes utilizados na confecção dos corpos de prova.

A tabela 10 apresenta os valores de porcentagem média retida na peneira (% Ret) e a porcentagem média acumulada (% Mac) para a areia utilizada neste trabalho, fornecida pelo LEMAT/FACENS.

Tabela 10: Composição Granulométrica do agregado miúdo (areia)

Peneira (mm)	% Ret	% Mac
25	0	0
19	0	0
12,5	0	0
9,5	0	0
6,3	0	0
4,75	0,3	0
2,36	0,9	1
1,18	1,4	3
0,6	3,2	6
0,3	28,8	35
0,15	46,0	81
Fundo	18,4	-
Total	100	125

Fonte: LEMAT/FACENS

Esse mesmo laboratório forneceu informações sobre módulo de finura (Mf) e diâmetro máximo das partículas do agregado, que são respectivamente 1,25mm e 1,18 mm. Os resultados da análise da massa específica desse agregado encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11: Resultados para as massas específicas do agregado miúdo

Massa específica agregado seco (g/cm ³)	2,60
Massa específica agregado de Saturado de Superfície Seca. (g/cm ³)	2,62
Massa específica real (g/cm ³)	2,65

Fonte: LEMAT/FACENS

Sendo que a massa unitária é de 1,60 Kg/m³.

Os valores de % Ret e % Mac para a brita são apresentados na tabela 12 e foram fornecidos pelo Laboratório de Materiais da FACENS, que avaliou o lote do material como procedimento padrão.

Tabela 12: Composição Granulométrica do agregado graúdo (brita)

Peneira (mm)	% retida	% retida acumulada
25	0	0
19	0	0
12,5	1,5	2
9,5	26,4	28
6,3	65,5	93
4,75	5,4	99
2,36	0,8	100
1,18	0	100
0,6	0	100
0,3	0	100
0,15	0	100
Fundo	0,2	-
Total	100	626

Fonte: LEMAT/FACENS

A partir do ensaio de granulometria, o Laboratório de materiais da FACENS, apresentou para o agregado graúdo utilizado neste trabalho, valores para módulo de finura (Mf) e diâmetro máximo das partículas do agregado, respectivamente de 6,26 mm e 12,5 mm. A massa específica do agregado seco que foi de 2,6 g/cm³.

Assim como os valores de agregado seco, Massa específica da amostra do agregado Saturada de Superfície Seca (S.S.S.), massa específica real e absorção de água são apresentados na tabela 13.

Tabela 13: Resultado das massas específicas do agregado graúdo

Massa específica agregado seco (g/cm ³)	2,60
Massa específica agregado S.S.S. (g/cm ³)	2,63
Massa específica real (g/cm ³)	2,68
Absorção de água (%)	1,10

Fonte: LEMAT/FACENS

Sendo que a massa unitária é de 1,49 Kg/m³.

4.4 Confeção dos corpos de prova com incorporação do REEE em concreto

Foram moldados 20 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm X 20 cm de acordo com a NBR 5738 (ABNT 2015) e traço na proporção 1:2:2 em massa para cimento, areia e brita, respectivamente para ser utilizado como base de comparação.

Também foram produzidos outros 5 traços realizando a substituição em 5%, 8%, 10%, 15% e 20%, em massa do agregado graúdo pelo resíduo, sendo fabricados 20 corpos de prova para cada traço respectivamente, totalizando 120 corpos de prova no total.

As porcentagens de 5%, 10%, 15% e 20% foram escolhidas com base nos estudos de incorporação de REEE de Suchithra S. et al (2015), Kumar K. S. e Baskar K. (2014) mencionados no item 3.2.3, e que mais se assemelham ao estudo aqui apresentado. Porém como no estudo de Suchithra S. et al (2015), ocorreu ganho de resistência aos 10% em relação aos 5%, optou-se por acrescentar um valor intermediário de 8% de incorporação,

para se ter uma melhor visualização desta curva de crescimento, caso ela viesse a se repetir neste estudo.

A tabela 14 apresenta a quantidade em massa de cada um desses traços e os nomes que serão utilizados para identificação neste trabalho para cada traço.

Com relação a variação na quantidade de água utilizada em cada traço, isso se deve aos resultados obtidos através dos ensaios tronco cônico realizados durante a fabricação, e cujo mesmo será explicado em detalhes no item 4.5.

Tabela 14: Traços com as referidas porcentagens de incorporações.

Identificação de traço	Massa de água (L)	Massa de cimento (Kg)	Agregado graúdo (Kg)	Agregado miúdo (Kg)	Agregado polimérico (Kg)
0 %	8,0	15,0	30,0	30,0	0,0
5 %	8,0	15,0	28,5	30,0	1,5
8 %	7,8	15,0	27,6	30,0	2,4
10 %	7,5	15,0	27,0	30,0	3,0
15 %	8,5	15,0	25,5	30,0	4,5
20 %	8,5	15,0	24,0	30,0	6,0

Fonte: Autora

A moldagem e a cura dos corpos de prova de concreto foram realizadas de acordo com a norma indicada pela NBR 5738 (ABNT, 2015) para corpos cilíndricos ou prismáticos e os moldes foram revestidos com uma fina camada de óleo mineral.

O concreto foi misturado em betoneira da marca Menegotti com capacidade de 150 litros de tambor e 90 litros de mistura. O concreto foi colocado com uma concha em U nos moldes tendo sido executadas duas camadas com 12 golpes de adensamento em cada conforme NBR 5738 (ABNT, 2015).

Os corpos de prova foram colocados em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra causa que pudesse perturbar o concreto, e após 24 horas foram desmoldados conforme NBR 5738 (ABNT, 2015).

Esses corpos foram deixados em cura por 7, 28 e 63 dias, em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95% de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015).

4.5 Caracterização do Concreto no Estado Fresco

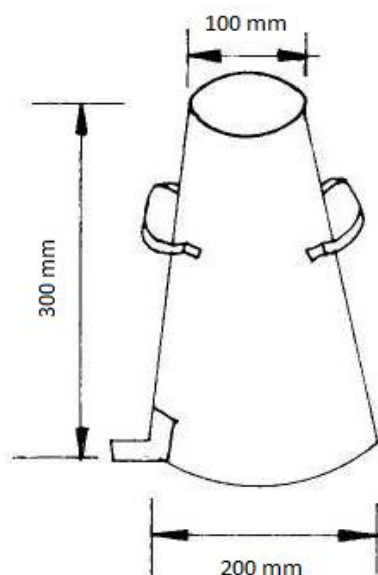
Para a massa no estado fresco foi realizado o ensaio tronco cônico (ou ensaio de abatimento), conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). Este ensaio tem como objetivo avaliar a consistência do concreto.

Para esse ensaio foi usado um molde metálico em formato de cone conforme demonstrado nas figuras 2 a e b.

Neste ensaio o molde é preenchido com o concreto em três camadas, cada uma com aproximadamente um terço da altura do molde. Cada camada é compactada com 25 golpes da haste de socamento, distribuindo uniformemente os golpes sobre a seção de cada camada. Na sequência o molde é retirado e é medida a altura que o concreto mantém após sair da forma. Essa altura é subtraída da altura do molde e a diferença é o considerado abatimento sofrido pelo concreto.

Figura 2: (a) Esquema do cone utilizado no ensaio tronco cônico com as medidas do mesmo; (b) Cone, espátula, placa metálica e haste utilizados no ensaio de abatimento.

(a)



(b)



Fonte: <http://experimentsforconstructionstudie.weebly.com/slump-test.html>
<http://civilblog.org/2014/06/28/what-are-the-advantages-and-limitations-of-slump-test/>

e

Durante a preparação do concreto e moldagem dos corpos de prova, também foi feita uma avaliação visual quanto à trabalhabilidade da massa no estado fresco,.

Pode-se dizer que conforme foi sendo incorporado o resíduo ao concreto, foi aumentando a sua trabalhabilidade em relação ao concreto sem incorporação.

Primeiramente o traço foi executado com a mesma quantidade de água, o que resultou na necessidade de descartar o concreto fabricado e refazer o serviço.

Optou-se então por incorporar água gradativamente até que a trabalhabilidade fosse similar em todos, sendo adotada uma média de abatimento de (12 ± 2) cm como forma de controle, sendo cada traço ensaiado até que se encaixasse dentro desse padrão, para assim poder seguir para moldagem.

4.6 Ensaios com o concreto endurecido

4.6.1 Ensaios de Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 1997), em uma prensa hidráulica (marca Dinateste modelo F-250C-LCI) do laboratório de ensaio de materiais (LEMAT/FACENS). Para este ensaio foi utilizada uma velocidade de compressão entre 5,301 KN/s e 10,603 KN/s, de acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2007), para os corpos de prova com os tempos de cura de 7, 28 e 63 dias.

O equipamento utilizado fornece a leitura em Kilonewton (KN), sendo assim, necessário para cálculo da resistência à compressão, a transformação da medida em megapascal (MPa) (Equação 03).

$$fck = \frac{(F * 1000)}{A} \quad (03)$$

Onde:

Fck: Resistência à compressão (MPa)

F: Força (KN)

A: Área do topo do corpo de prova (m²)

4.6.2 Ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral

Esse ensaio determina a resistência à tração do concreto através do ensaio de compressão diametral conforme (NBR 7222 ABNT, 2011), que se dá ao se colocar o corpo de prova, de modo que fique em repouso ao longo de uma geratriz que o estabiliza, sendo esta colocada sobre o prato da máquina de compressão, apoiado entre duas chapas duras conforme figura 3. A carga vai sendo aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de 0,05MPa/s, até a ruptura do corpo-de-prova.

Figura 3: Ensaio de Compressão Diametral com corpo de prova entre as chapas resistentes.



Fonte: Autora

Este equipamento possui a leitura em Kilonewton (kN). Sendo assim, para cálculo da resistência à compressão diametral e transformação da medida em megapascal (MPa), foi utilizada a Equação 04:

$$f_{t,D} = \frac{2 * F}{\pi * d * L} \quad (04)$$

Onde:

$f_{t,D}$: resistência à tração por compressão diametral, expressa em MPa,

F: carga máxima obtida no ensaio (kN)

d: diâmetro do corpo de prova (mm)

L: altura do corpo de prova (mm)

Foram ensaiados corpos de prova com os tempos de 7 e 28 dias.

4.6.3 Ensaio de módulo de elasticidade

De acordo com o estudioso Thomaz Young (1802) o módulo de elasticidade mede o crescimento linear das deformações sob carregamento, sendo que cessada a sollicitação, a deformação desaparece.

Para esse teste foi utilizada uma prensa da marca Forney modelo F-502F-CPILOT que cumpre com os requisitos definidos na NBR 5739, cujos sensores medem as deformações.

Conforme NBR 8522 os medidores de deformação são fixados de forma que os pontos de medição fiquem equidistantes dos extremos do corpo de prova, com tolerância de ± 5 mm.

As bases de medida devem ser no mínimo duas e devem se situar em geratrizes equidistantes no perímetro do corpo de prova. A base de medida deve ser no mínimo igual a dois terços do diâmetro do corpo de prova ($2/3 d$) e no máximo igual à medida desse diâmetro (d), conforme figura 04.

Figura 4: Ensaio de módulo de elasticidade com os medidores posicionados



Fonte: Autora

Foram realizados ensaios em três corpos de prova para cada traço, sendo o corpo de prova devidamente instrumentado e centralizado nos pratos da máquina de ensaios de acordo com a NBR 5739.

Para auxiliar o ensaio de módulo de elasticidade também foram usados os resultados do ensaio de compressão (item 3.5.1) de cada traço.

Posicionado o corpo de prova, aplica-se o carregamento aumentando a tensão de forma regular à velocidade de $(0,25 \pm 0,05)$ MPa/s, até que seja alcançada uma tensão (σ_b) de aproximadamente 30% da resistência à compressão do concreto conforme equação 05:

$$\sigma_b = f_{ck} * 0,3 \quad (05)$$

Este nível de tensão deve ser mantido por 60 s. Em seguida, vai reduzindo a carga à mesma velocidade do processo de carregamento até o nível da tensão básica (σ_a). Devem ser realizados mais dois ciclos de pré-carga adicionais, seguindo às mesmas velocidades de carga e descarga e mantendo as tensões extremas (σ_a e σ_b) constantes, alternadamente, durante períodos de 60 s cada.

Depois do último ciclo de pré-carga e do período de 60s sob a tensão (σ_a), registram-se as deformações específicas lidas (ϵ_a), tomadas em no máximo 30 s.

Carregando novamente o corpo de prova com a tensão σ b a velocidade específica e registrando as deformações lidas, ϵ b, tomadas em no máximo 30 s, após uma espera de 60 s.

Quando todas as leituras de deformação tiverem sido efetuadas, aumenta-se a carga no corpo de prova à velocidade especificada até que se produza a ruptura. Se a resistência efetiva (f_{cef}) à compressão do corpo de prova diferir de f_{ck} em mais de 20%, os resultados do corpo-de-prova devem ser descartados.

O computador produz uma curva de tensão (σ) x deformação (ϵ). O módulo de elasticidade é numericamente igual ao coeficiente angular de uma reta secante a esta curva, tendo sua origem no ponto de σ_a e se estendendo até ao ponto de 30% do valor da resistência a compressão máxima.

Para esse ensaio foram analisados os concretos com as porcentagens de 0%, 5%, 8%, 10%, 15% e 20% aos 28 dias.

4.6.4 Ensaios de Absorção de Água, Índice de Vazios e Massas Específicas

Os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massas específicas, foram realizados de acordo com a norma NBR 9778 (ABNT, 2009). Para estes ensaios foram utilizados os equipamentos do laboratório do grupo NATEL da UNESP Sorocaba, sendo os resultados obtidos através da média das três amostras de cada porcentagem de resíduo/tempo de cura (7 e 28 dias).

Estas amostras foram secas à 70°C durante 72 horas, em estufa, e em seguida foram retiradas e pesadas na balança semi-analítica (Marca: Micheletti modelo MIC 100), sendo obtidos os resultados de massa da amostra seca em estufa (M_s).

Em seguida, as amostras foram mantidas imersas em água por mais 72 horas e, após esse período, foram retiradas e secas com papel absorvente para remoção do excesso de água. Realizou-se sequencialmente a nova pesagem das amostras, obtendo-se os resultados de massa amostra saturada (M_{sat}).

Para validar este resultado, os corpos de prova foram imersos em água por mais 24 horas, repetindo-se o processo anterior, para verificar se os resultados entre as duas medidas não diferiam em mais de 0,5% da menor massa.

Com os valores de massa da amostra seca (M_s) e massa da amostra saturada (M_{sat}) foi possível calcular a absorção de água (Abs), através da Equação 06:

$$Abs = \left[\frac{(Msat - Ms)}{Ms} \right] * 100 \quad (06)$$

Para a determinação do índice de vazios (Iv) e de massa específica da amostra seca (Ms) e saturada (Msat), foi necessário obter a massa da amostra saturada imersa em água (Mi).

Esta medida foi realizada com o auxílio de uma balança hidrostática. Onde que os resultados das forças (N) medidas pelo dinamômetro foram transformados em massa através da Equação 07.

$$Mi = \frac{N}{9,8} \quad (07)$$

As Equações 8, 9 e 10, mostram como foram calculados os índices de vazios, a massa específica da amostra seca e a massa específica da amostra saturada, respectivamente.

$$\text{Índice de vazios} = \left[\frac{(Msat - Ms)}{(Msat - Mi)} \right] * 100 \quad (08)$$

$$\text{Massa específica da amostra seca} = \frac{Ms}{(Msat - Mi)} \quad (09)$$

$$\text{Massa específica da amostra saturada} = \frac{Msat}{(Msat - Mi)} \quad (10)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Coleta e separação dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

Foram coletados 22,6Kg de resíduo conforme figura 05 a, que após a separação inicial feita no laboratório, removeu-se 2,6 Kg de materiais que não poderiam ser aproveitados conforme figura 05 b.

Figura 5: a) Parte do resíduo coletado aguardando separação. b) Parte dos materiais removidos durante a separação inicial.

(a)



(b)



Fonte: Autora

Foi utilizada uma serra para reduzir o resíduo a uma dimensão aproximada de 20 x 30 cm devido à abertura do moinho. Esses resíduos já no tamanho adequado aguardando fragmentação podem ser observados na figura 06 a.

Após a fragmentação e peneiramento o resultado final foi de 18,6Kg de material fragmentado conforme (figura 06 b) indicando que da coleta total de resíduo é aproveitado cerca de 80% de sua massa inicial.

É visível a redução de volume após a fragmentação.

Figura 6: a) Resíduo aguardando moagem b) Resíduo após moagem.

(a)



(b)



Fonte: Autora

Do material final apresentado na figura 07 a, houve a perda de 0,62 Kg de pó conforme figura 07 b (removido devido à carga estática adquirida durante fragmentação), e uma perda efetiva de 0,75 Kg de material durante o processo.

Figura 7: a) Resíduo fragmentado ainda contendo o resíduo de pó. b) Resíduo em pó removido por peneiramento.

(a)



(b)



Fonte: Autora

5.2 Caracterização do Resíduo processado

5.2.1 Análise granulométrica

Os resultados referentes à granulometria do REEE são apresentados na tabela 15 que contém os resultados das porcentagens média retida na peneira em massa (%Ret), porcentagem média acumulada (Mac). Foram utilizadas duas amostras para análise, cada uma de 1 Kg, sendo feita a média com base nestas duas determinações.

Tabela 15: Porcentagem média retida na peneira em massa e média acumulada para o REEE

Peneira (mm)	1ª Determinação		2ª Determinação		% Ret	% Mac
	Massa retida (g)	% Retida	Massa retida (g)	% Retida		
12,5	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
9,5	79,18	7,92	97,55	9,75	8,84	8,84
6,3	595,38	59,58	594,48	59,44	59,51	68,35
4,75	163,15	16,33	138,74	13,87	15,10	83,45
2,36	141,7	14,18	141,14	14,11	14,15	97,60
1,18	13,85	1,39	21,5	2,15	1,77	99,37
0,6	0,7	0,07	1,76	0,18	0,12	99,49
0,3	1,23	0,12	1,03	0,10	0,11	99,60
0,15	2,62	0,26	2,14	0,21	0,24	99,84
Fundo	1,49	0,15	1,72	0,17	0,16	100,00
Total	999,3	100	1000,06	100	100,00	656,53

Fonte: Autora

Através destes resultados, foi determinado o diâmetro máximo o módulo de finura do agregado, apresentados na tabela 16.

Tabela 16: Resultado dos ensaios de diâmetro máximo e módulo de finura do REEE

Diâmetro máximo (mm)	12,5
Módulo de finura (mm)	6,57

Fonte: Autora

A figura 08 apresenta a curva granulométrica do resíduo.

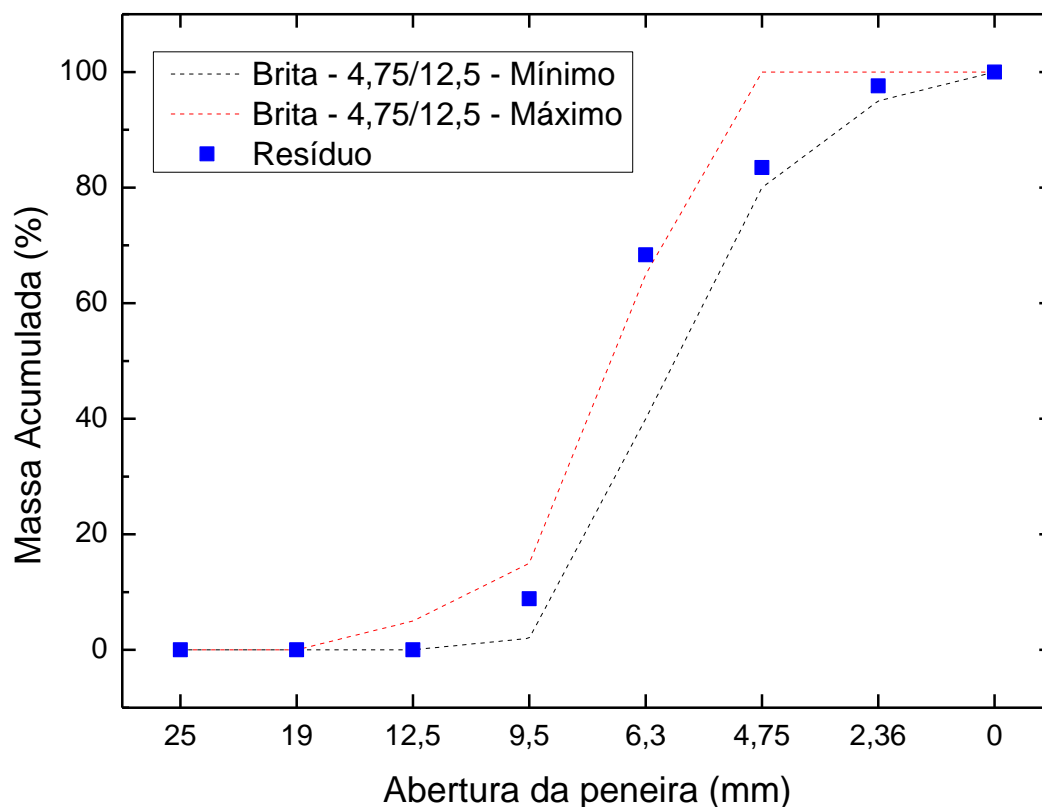
Cerca de 99,4% dos resíduos se encontram entre as peneiras 9,5 mm e 1,18 mm.

Se compararmos com o resultado obtido para o agregado graúdo conforme informado na tabela 12, cerca de 98,1% do agregado se encontra entre estas mesmas peneiras.

Também se pode observar que destes 65,5 % se encontram na peneira de 6,3 mm, em comparação com 59,58% do resíduo, sendo esta a peneira aonde em ambos os casos a grande maioria do agregado se acumula.

O valor de Cnu é de 2,2 os que comparando com a tabela 07 o classifica como agregado muito uniforme, isso se deve ao controle no processo de moagem e separação.

Figura 8: Curva granulométrica do REEE após processamento em comparação com a brita



Fonte: Autora

5.2.2 Ensaio de Molhabilidade

Para o ensaio de molhabilidade foi obtido o ângulo de contato médio de três amostras de resíduo (Tabela 17).

Tabela 17: Ângulo de contato da amostra de REEE

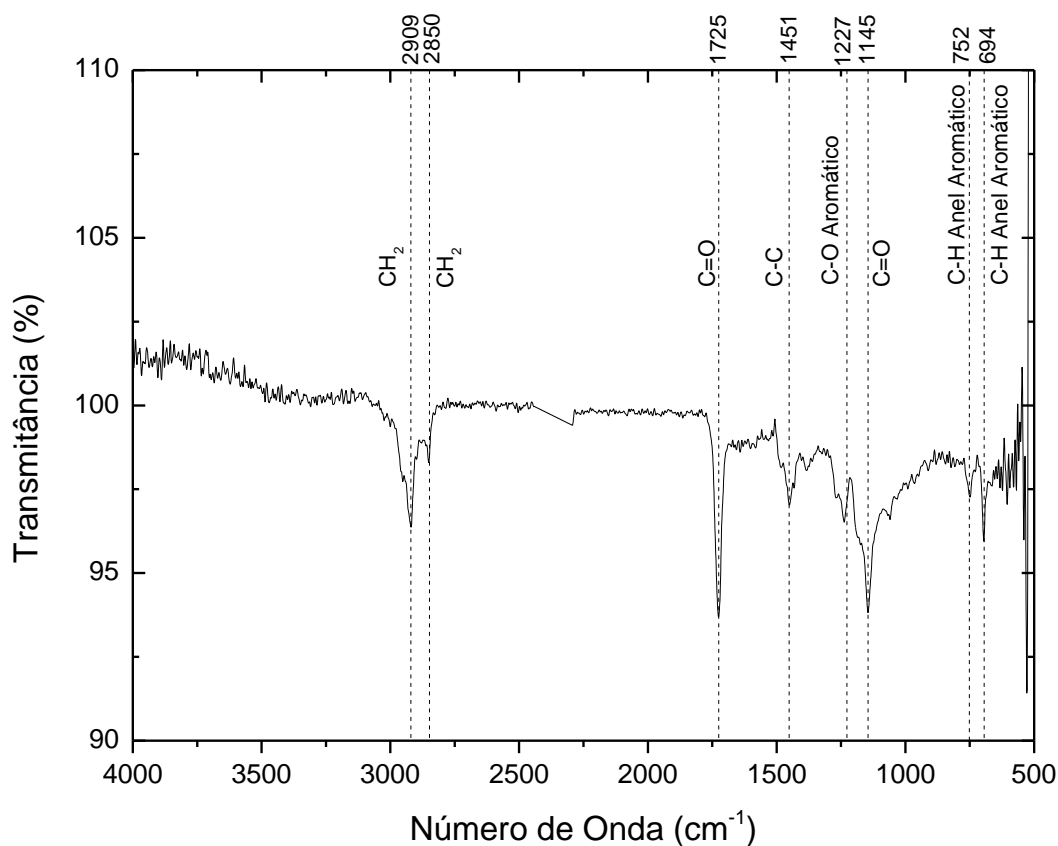
Ângulo de contato médio Θ	$(59 \pm 12)^\circ$
----------------------------------	---------------------

Fonte: Autora

Este valor caracteriza o resíduo como sendo hidrofílico ($\theta < 90^\circ$) (GENNES, 1985). Esse resultado é favorável considerando que na mistura de concreto, a água tem a função de hidratar o cimento e auxiliar na formação dos cristais em torno do agregado. Sendo assim, este é um indicativo que pode haver interação da argamassa e o resíduo.

5.2.3 Espectroscopia Por Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A análise por FTIR apresentada na figura 09 mostra o espectro de infravermelho do resíduo polimérico.

Figura 9: Espectro de infravermelho do REEE

Fonte: Autora

As bandas identificadas para comprimento de onda de 2909 cm^{-1} , 2848 cm^{-1} , 694 cm^{-1} , 752 cm^{-1} são identificadas como sendo correspondente ao polímero HIPS (*high impact polystyrene*), quando comparadas com as ondas encontradas, por Kumar e Baskar (2014), que também trabalharam com o polímero de REEE estes também classificaram como HIPS o seu material. As demais bandas também foram observadas para o REEE constituído de HIPS. Identificando-se assim a constituição do REEE utilizado neste trabalho como sendo constituído praticamente por HIPS.

5.3 Confeção Dos Corpos De Prova Com Incorporação Do REEE Em Concreto

5.3.1 Caracterização do Concreto no Estado Fresco

Foi realizado o ensaio tronco de cone, respeitando a margem já pré-estabelecida de (12 ± 2) cm e cujo resultado dos ensaios estão apresentados na tabela 18.

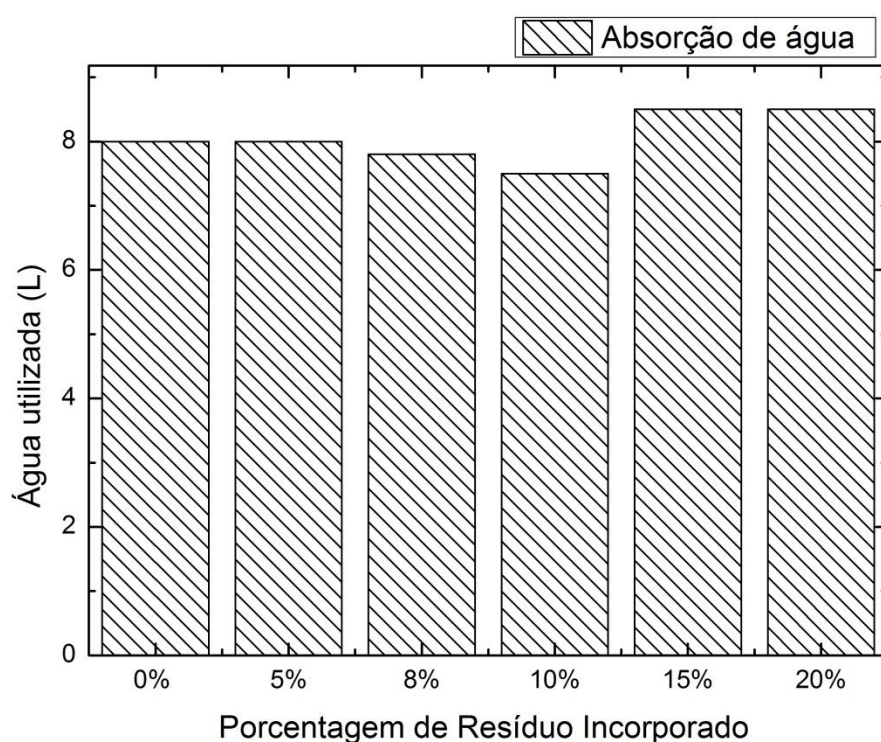
Tabela 18: Tabela de abatimento

Porcentagem de incorporação no traço (%)	Abatimento (cm)
0	$10,0 \pm 0,2$
5	$13,0 \pm 0,2$
8	$10,5 \pm 0,2$
10	$13,5 \pm 0,2$
15	$14 \pm 0,2$
20	$11 \pm 0,2$

Fonte: Autora

Esses resultados de abatimento auxiliaram na determinação da quantidade de água a ser incorporada na massa. A figura 10 mostra um concreto menos fluido, e que de acordo com Neville (1997), pode-se determinar que o concreto tem uma característica de trabalhabilidade baixa.

Figura 10: Quantidade de água utilizada em função da porcentagem de REEE incorporado ao concreto



Fonte: Autora

Nota-se pelos resultados apresentados na figura 10 uma leve diminuição do consumo de água conforme aumentava a porcentagem de resíduo utilizado até os 10% e voltou a aumentar para 15 e 20%, ou seja, para uma mesma quantidade materiais sólidos, em geral foi necessário menor quantidade de água para produzir o concreto, conforme se aumentava a porcentagem de resíduos em substituição aos agregados graúdos. Essa diferença considerada pequena pode ser explicada devido aos valores de incorporação com 0%, 5%, 8% e 10% terem sido executados no mesmo dia. Por outro lado os ensaios com 15% e 20 % foram executados posteriormente, sendo que esses dias apresentaram condições climáticas

diferentes, no caso um dia chuvoso e com índice de umidade alto e no outro ensolarado e com índice de umidade baixo.

Visivelmente foi possível observar que o concreto conforme era incorporado com o resíduo se tornava mais fácil de trabalhar.

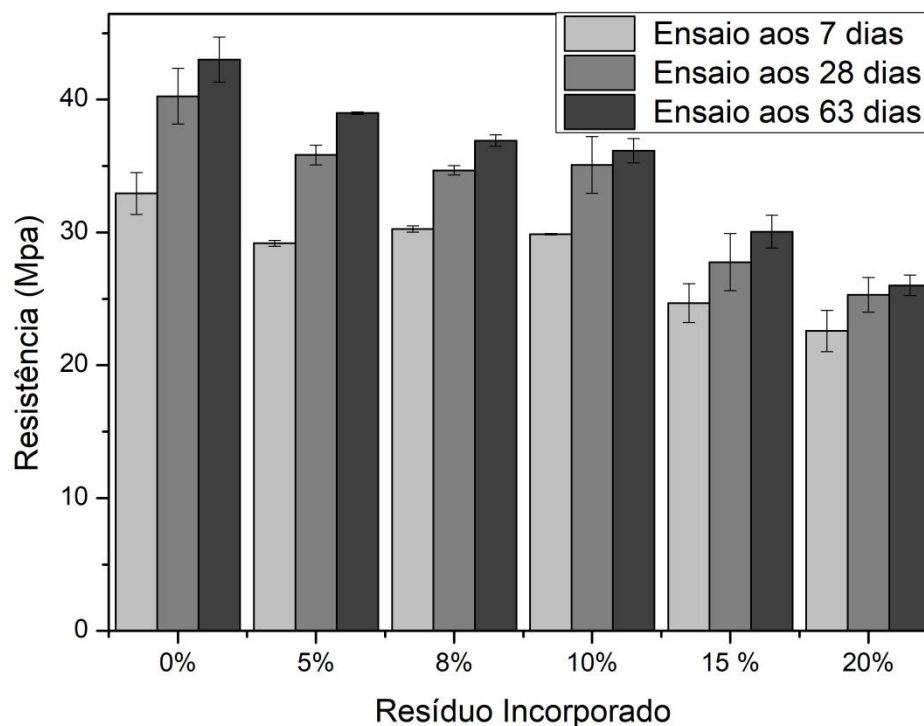
Também foi possível observar que conforme o resíduo era incorporado o volume total produzido de concreto também aumentava, pois, o resíduo possui massa inferior à da brita e ao se fazer a substituição em massa isso gera um volume muito maior a ser incorporado.

5.4 Ensaios com o concreto endurecido

5.4.1 Ensaios de Resistência à Compressão

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova com substituição do agregado graúdo pelo resíduo, em relação aos seus respectivos tempos de cura de 7, 28 e 63 dias estão apresentados na figura 11.

Figura 11: Resistência a compressão em função da porcentagem de resíduo incorporado, para o tempo de cura de 7, 28 e 63 dias.



Fonte: Autora

Pode-se observar na figura 11 que a resistência aumenta com o aumento do tempo de cura para todos os ensaios, uma vez que durante esse processo, o concreto continua a ser hidratado tanto pela água incorporada, quanto pela umidade controlada presente na câmara de cura (NEVILLE, 2013). Nota-se o aumento da resistência à compressão mesmo após 63 dias, isso ocorre porque o concreto permanece em processo de cura por tempo indeterminado.

Apesar da alteração dos agregados graúdos, como o concreto continua a ganhar resistência pode-se concluir que o REEE não inibiu a cristalização do concreto.

A tabela 19 apresenta os valores obtidos nos ensaios de compressão dos traços de concreto de 0%, 5%, 8%, 10%, 15% e 20% para os tempos de cura de 7, 28 e 63 dias.

Tabela 19: Resultados dos ensaios de compressão para 7, 28 e 63 dias.

Porcentagem de resíduos incorporados	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	63 dias (MPa)
0%	32,9 ± 1,5	40,2 ± 2,1	43,0 ± 1,7
5%	29,18 ± 0,22	35,83 ± 0,74	38,99 ± 0,09
8%	30,26 ± 0,24	34,67 ± 0,36	36,92 ± 0,44
10%	29,86 ± 0,06	35,08 ± 0,26	36,1 ± 0,91
15%	24,7 ± 1,5	27,8 ± 2,1	30,0 ± 1,2
20%	22,6 ± 1,6	25,3 ± 1,3	26,02 ± 0,77

Fonte: Autora

Conforme tabela 19, o aumento da incorporação de resíduo leva a diminuição da resistência à compressão dos corpos de prova.

Como pode ser observado nos resultados da tabela 19, para todas as porcentagens de incorporação, foram obtidos valores de resistência a compressão superior a 20MPa. Segundo a classificação europeia citada na tabela 4, para todos os concretos obtidos neste trabalho, podem ser classificados como sendo de resistência moderada.

O concreto com 0% de incorporação após os 63 dias pode ser classificado como de alta resistência, e tanto o concreto com 0% aos 28 dias, quanto o concreto com 5% aos 63 dias entrar nesta classificação se for levada em consideração a sua margem de erro.

Para o concreto sem incorporação, houve um crescimento quando comparados os tempos de cura 7 a 28 dias do valor de sua resistência a compressão de 22,20%, o que é próximo do valor de crescimento para o concreto com 5% de incorporação no mesmo período que apresentou 22,77%. Porém, os valores para 8% e 10 % de incorporação já apresentam queda na porcentagem de crescimento em relação ao concreto com 0%, sendo de 14,59% e 17,47%, respectivamente.

Os concretos com 15% e 20% de incorporação foram os que tiveram menor taxa de crescimento após 28 dias de cura, sendo de 12,45% e 12,07% respectivamente.

Apesar de não inibir a cristalização, conforme se aumentou os valores de incorporação, o processo de cristalização foi sendo prejudicado reduzindo o aumento da resistência.

Quando comparamos o ganho de resistência entre 28 e 63, o maior crescimento é registrado para o concreto com 5% de incorporação que obteve 8,8%, sendo levemente superior ao de 0% de incorporação que obteve 7% de crescimento.

O menor crescimento registrado entre 28 dias e 63 dias foi o de 20% com um crescimento de apenas 2,8%. Considerando-se o erro da medida, pode-se dizer que praticamente não ocorreu crescimento, além de sua resistência máxima aos 63 dias ficar abaixo da resistência mínima aos 7 dias do concreto sem incorporação.

Quando comparamos os valores de crescimento de todas as porcentagens entre 28 e 63 dias percebe-se que o crescimento variou de 0,7 MPa a 3 MPa de ganho de resistência. O que é um crescimento pequeno se compararmos com o que ocorreu entre 7 e 28 dias, que ficou entre 2,7 MPa a 7,3 MPa. Isso é um indicativo de que apesar do concreto continuar ganhando resistência, esse ganho tende a se tornar menor com o passar do tempo, tendendo a futuramente se tornar imperceptível.

Se compararmos a resistência à compressão obtida aos 28 dias de cura para os corpos produzidos com 5%, 8% e 10% de incorporação, observa-se que as resistências a compressão são similares. O mesmo pode ser afirmado para os resultados aos 63 dias de cura.

Comparando-se o concreto sem incorporação de resíduo com os valores de incorporação de 5%, 8%, 10%, 15% e 20% observa-se queda de resistência a compressão conforme aumenta-se a porcentagem de resíduo incorporado. Isso não parece ter ocorrido devido a diferença de resistência entre o resíduo polimérico e o agregado graúdo utilizado.

Pois como pode se observar na figura 12 o agregado polimérico após o teste de resistência a compressão continua inteiros. O que se observa, no entanto é que os rompimentos dos corpos são observados na faixa de ligação entre o polímero e argamassa de cimento, a chamada zona de transição da interface.

Como este resíduo possui um formato lamelar isso facilita o aprisionamento de água ao seu redor, o que interfere na formação da zona de transição da interface (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Conforme já mencionado, o valor de 8% foi escolhido com base no estudo de Suchithra et al (2015), que demonstra um crescimento na resistência para o valor de 10% de incorporação em relação ao de 5%. O objetivo de se incorporar o valor de 8% era o de se criar um ponto intermediário para melhor observar esse fenômeno caso ele viesse a se repetir.

Porém, com base nos resultados pode-se determinar que os valores de 5%, 8% e 10% são praticamente iguais dentro da sua margem de erro. Sendo assim, quando analisamos os resultados percebemos que um aumento de cerca de 2% de agregado incorporado não causa uma alteração significativa na resistência do concreto.

Figura 12: Amostra do concreto com incorporação com os locais onde o polímero se soltou.



Fonte: Autora

5.4.2 Ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral

A tabela 20 apresenta os resultados de resistência à tração por compressão diametral para o tempo de cura de 7 e 28 dias.

Tabela 20: Resultados do ensaio de resistência à tração diametral, após 7 e 28 dias de cura.

Corpo de Prova	ftD (MPa)	
	7 Dias	28 dias
0 %	0,33 ± 0,04	0,846±0,009
5 %	0,29 ± 0,02	0,726±0,001
8 %	0,32± 0,02	0,759±0,003
10 %	0,25± 0,02	0,747±0,001
15 %	0,26±0,04	0,323±0,069
20 %	0,30±0,05	0,300±0,016

Fonte: Autora

Comparando-se os resultados da tabela 19 com os da tabela 20, nota-se que o valor é bem inferior, isso se dá pela natureza do concreto que possui baixa resistência a tração. (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Com base nos resultados, constatou-se que os traços de concreto apresentaram diminuição dos valores médios obtidos ao incorporar resíduo de REEE, em relação ao traço controle (0% de incorporação), independentemente do tempo de cura.

De acordo com os valores de ensaio de tração, pode-se observar que ocorre um comportamento como da compressão, onde os valores de 5%, 8% e 10%, permanecem com os resultados similares entre si. Ocorrendo mudanças significativas apenas para os valores de 15% e 20%.

Quando se compara o crescimento da resistência a tração entre os 7 e 28 dias percebe-se que o valor de crescimento entre as porcentagens de 0%, 5%, 8% e 10% que são respectivamente, 61,03%; 60,1%; 57,64% e 66,00 % que se mantém similares, porém, quando se ultrapassa para os 15% e 20 % os valores de crescimento caem, sendo 19,83% e 0,0% respectivamente.

Estes resultados são um indicativo que apesar do aumento da incorporação, não se detecta grande interferência na resistência a tração aos 7 dias, quando se leva em

consideração a margem de erro. Porém à longo prazo, conforme a quantidade de resíduo incorporado aumenta, este passa a afetar o crescimento da resistência a tração.

Apesar de não se observar grande diferença com relação aos resultados obtidos aos 7 dias, quando se observa os resultados obtidos aos 28 dias, a diferença se torna mais expressiva, sendo que a maior queda ocorreu entre os 10% e 15% aonde observa-se uma queda de 43% de resistência.

As figuras 13 a e b, apresentam os corpos-de-prova após o ensaio de resistência à tração, aos 28 dias de idade.

Figura 13: a) Visão superior da ruptura após ensaio de tração por compressão lateral b) Visão lateral da ruptura após ensaio de tração por compressão lateral



Fonte: Autora

Observou-se que após a ruptura dos corpos de prova sem resíduo, ocorreu a separação em duas partes principais. No entanto, os corpos de prova com resíduo, ao fim do ensaio, e apesar das deformações as partes não se separaram. O polímero por não se partir acabou tendo uma função similar ao observado em concretos com incorporação de fibras, em que o material insere resistência a separação das partes de concreto, como visto em Bentur (1990).

5.4.3 Ensaio de Módulo de Elasticidade

Na tabela 21 são apresentados os resultados do módulo de elasticidade obtido com a realização de medidas utilizando três corpos de prova para cada porcentagem de incorporação, após 28 dias de cura.

Tabela 21: Tabela com valores para o ensaio de módulo de elasticidade referentes a idade de 28 dias

Corpos de Prova	28 dias Módulo de elasticidade
0 %	28,00 ± 0,01
5 %	23,8± 2,1
8 %	22,9±2,1
10 %	22,9±2,1
15 %	19,6±1,8
20 %	18,5±1,7

Fonte: Autora

De maneira geral, percebeu-se, que os traços com a incorporação de resíduo apresentaram um decréscimo no módulo de elasticidade.

Comparativamente com o traço controle o traço com CP 20 mostrou uma queda de 34% no seu módulo de elasticidade, demonstrando que a sua elasticidade é inferior ao concreto sem incorporação.

Os resultados mostraram que os traços de 5%, 8 % e 10% se mantiveram semelhantes, sendo que para CP 08 e CP 10 ele foi o mesmo. O que indica que existe uma certa estabilidade nesta faixa de incorporações.

5.4.4 Ensaios de Absorção de Água, Índice de Vazios e Massas Específicas

Os resultados para os ensaios de absorção de água, índice de vazios e massas específicas são apresentados na tabela 22.

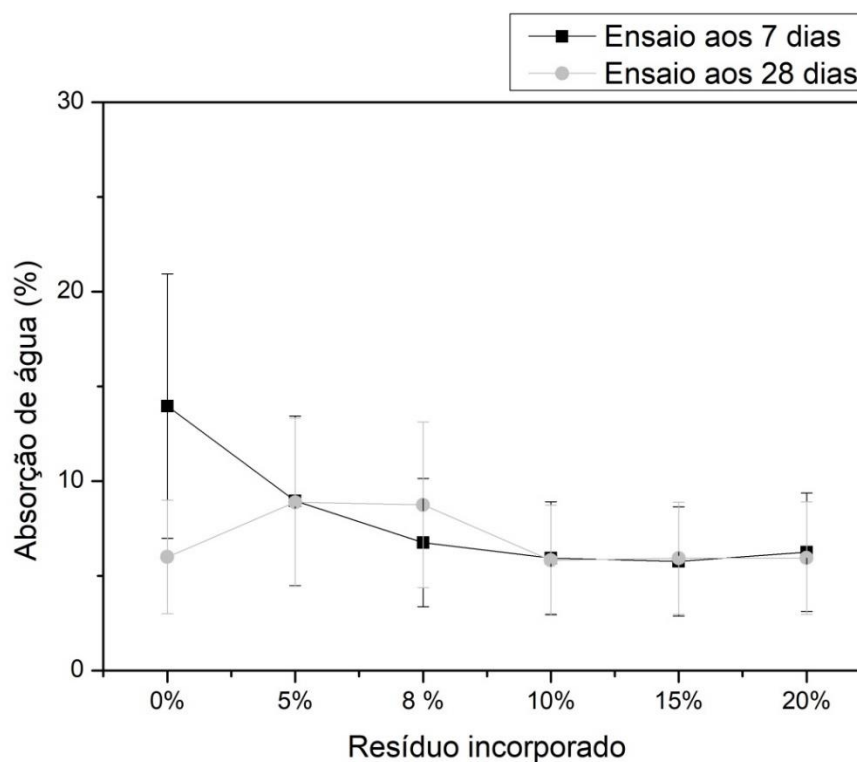
Tabela 22 : Absorção de água, índice de vazios, massas específicas das amostras secas e saturadas para diferentes porcentagens de substituição do agregado graúdo

	Abs %		Iv %		Ms (g/cm ³)		Msat (g/cm ³)	
	7 Dias	28 Dias	7 Dias	28 Dias	7 Dias	28 Dias	7 Dias	28 Dias
0%	13,9 ± 7,0	6,0 ± 3,0	22,6 ± 1,6	12,8 ± 0,9	1,6 ± 0,1	2,1 ± 0,2	1,8 ± 0,1	2,3 ± 0,2
05 %	8,9 ± 4,5	8,9 ± 4,4	17,5 ± 1,2	17,8 ± 1,2	1,9 ± 0,2	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,2	2,2 ± 0,2
08 %	6,8 ± 3,4	8,7 ± 4,4	17,9 ± 1,2	17,5 ± 1,2	2,2 ± 0,2	2,0 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,2 ± 0,2
10 %	5,9 ± 3,0	5,8 ± 2,9	12,8 ± 0,9	11,8 ± 0,8	2,2 ± 0,2	2,0 ± 0,2	2,3 ± 0,2	2,1 ± 0,2
15 %	5,8 ± 3,0	5,9 ± 3,0	11,1 ± 0,8	11,7 ± 0,8	1,9 ± 0,1	2,0 ± 0,2	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,2
20 %	6,2 ± 3,1	5,9 ± 3,0	11,8 ± 0,8	11,6 ± 0,8	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,2	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,1

Fonte: Autora

Nos resultados de absorção de água com as porcentagens de resíduos utilizados e que estão apresentados na figura 14, nota-se uma regularidade da absorção de água com o aumento na porcentagem de resíduos aos 7 dias.

Figura 14: Absorção de água em função da porcentagem de incorporação de resíduo

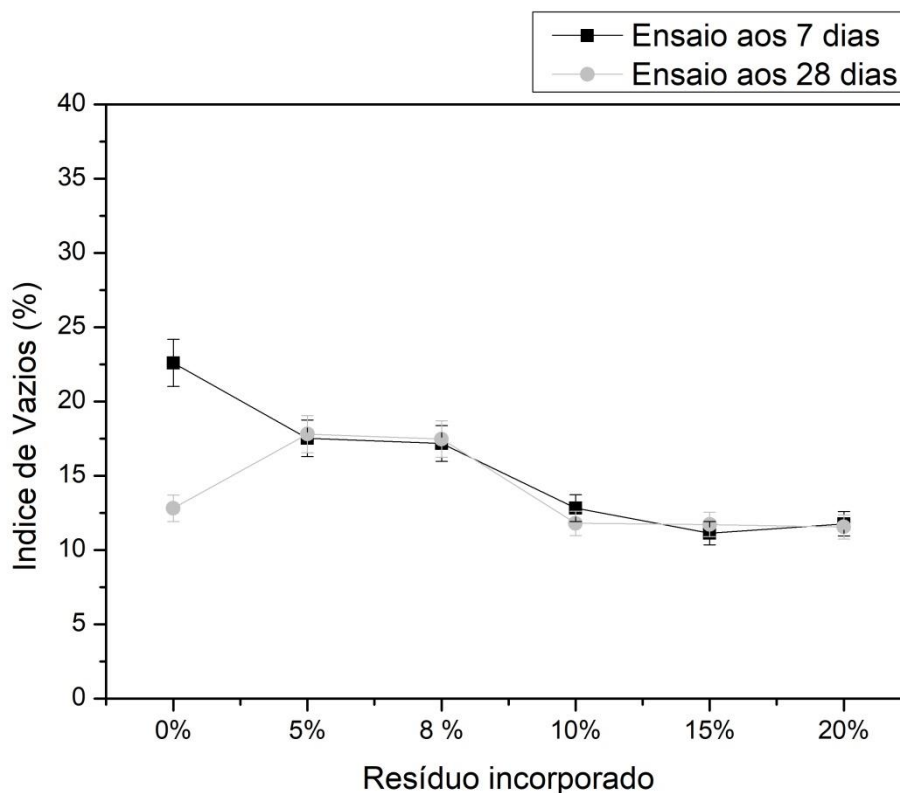


Fonte: Autora

Aos 28 dias o concreto sem incorporação absorve menos água que aos 7 dias, sendo que o concreto com 5%, 8%, 10%, 15% e 20% de incorporação aparentemente apresentam um índice de absorção que se encontrar dentro da margem de erro, podendo assim ser todos considerados similares, ou seja não apresentam grandes alterações.

Observando-se os resultados de Índice de vazio (Iv) da tabela 22, pode-se dizer que aos 28 dias o concreto sem incorporação se torna menos poroso, porém esse comportamento não é observado para os corpos com incorporação de resíduos. O índice de vazios (Iv) praticamente não se altera com a cura de 28 dias, conforme mostra a figura 15.

Figura 15: Porcentagem de Índice de vazios em função da porcentagem de resíduo incorporado ao concreto



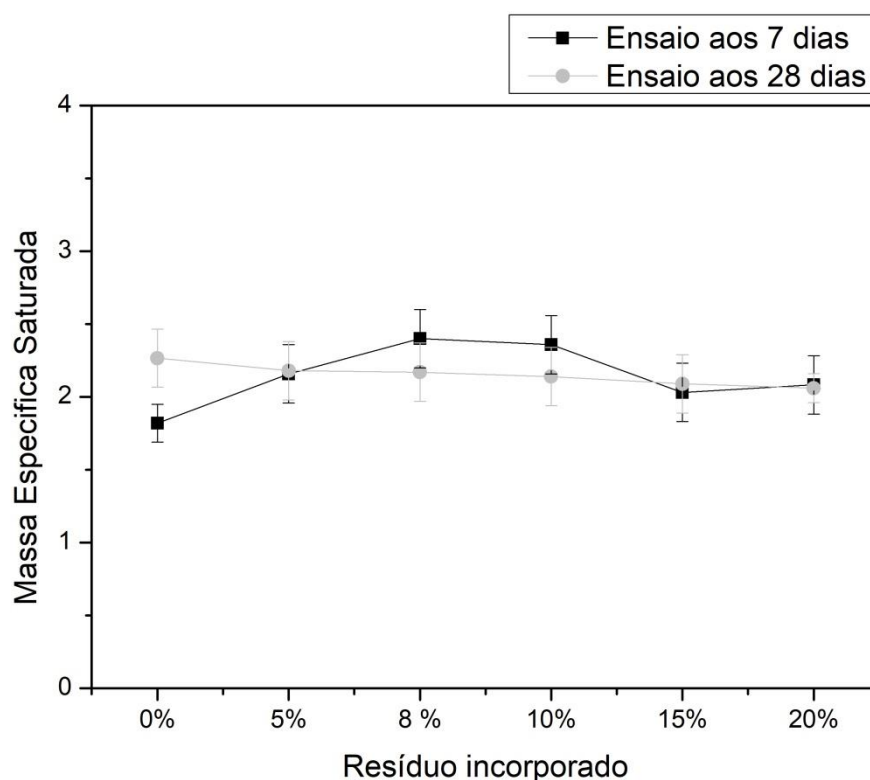
Fonte: Autora

A diminuição do índice de vazios é um indicativo que a formação de cristais no concreto preenche esses vazios. O formato lamelar do resíduo em comparação com o formato esférico do agregado pode estar influenciando de forma a facilitar o preenchimento do corpo de prova durante a moldagem, porém no concreto com incorporação ele pode inibir

o processo de cura. Conforme já citado no item 5.4.2, este resíduo possui um formato lamelar e este formato facilita o aprisionamento de água ao seu redor, o que interfere na formação da zona de transição da interface (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

A massa específica saturada do concreto sem incorporação sofre aumento quando comparamos o seu valor de 7 dias com o de 28 dias. Porém, quando comparamos os valores com as diversas porcentagens de incorporação, estes mantêm o mesmo valor de massa específica dentro da sua margem de erro, conforme mostra figura 16.

Figura 16: Gráfico de Massa específica



Fonte: Autora

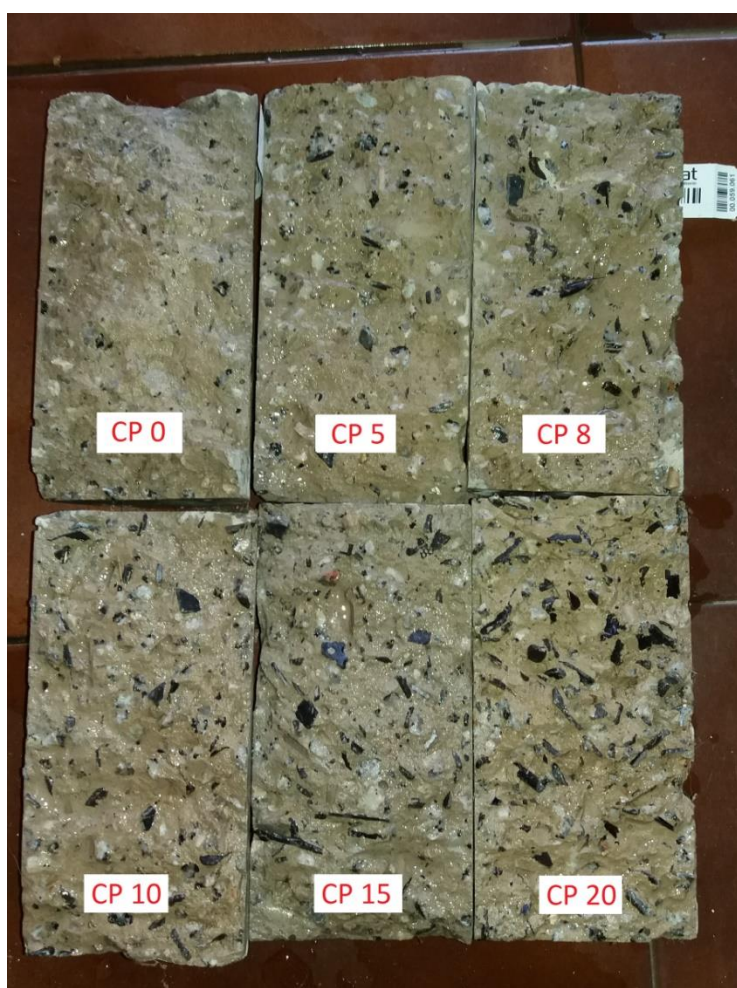
Apesar de ocorrerem oscilações na massa específica aos 7 dias entre os concretos incorporados, aos 28 dias independente da porcentagem de incorporação, eles apresentam praticamente o mesmo valor de massa específica, sendo que a diferença de valor mais extrema entre os 7 e 28 dias é para o concreto sem incorporação que teve crescimento de 18,14%. Conforme ABNT (2004), o concreto com massa específica superior a 2000Kg/m^3 é considerado como concreto estrutural normal, porém para que possa ser classificado para tal finalidade outros testes devem ser executados como o de durabilidade através de exposição a ambientes agressivos em geral (NBR 8094), (NBR 8096), (NBR 13583), (NBR

15575), ataques químicos (NBR 15575), análise do desempenho através do ensaio de estabilidade e resistência estrutural, durabilidade e caracterização de materiais inovadores (NBR 15575).

Comparando os resultados obtidos com os da tabela 4 do item 3.2.1, podemos classificar todos os corpos como concreto de densidade normal. Comparando agora com a tabela 5 também do item 3.2.1, classifica-se quanto a sua massa específica como concreto de resistência moderada.

A figura 17 mostra os corpos de prova abertos, com as suas respectivas proporções de incorporação, mostrando o detalhamento da sua distribuição interna e gerando comparativo entre si. É visível o aumento do resíduo conforme a proporção de substituição cresce porém a distribuição do resíduo pelo corpo de prova se manteve uniforme.

Figura 17: Comparação da distribuição interna do resíduo pelo concreto nas diferentes proporções.



Fonte: Autora

Nota-se na figura 17 o aumento do resíduo conforme a proporção de substituição cresce, valendo destacar, a distribuição do resíduo pelo corpo de prova que se mantém uniforme.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizada a caracterização de polímeros fracionados provenientes de Resíduos Eletroeletrônicos (REEE) e estudada a viabilidade de sua incorporação em concreto. Foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas do concreto obtido com a substituição de 5%, 8%, 10%, 15% e 20%, em massa, desse resíduo em substituição ao agregado graúdo.

Os resultados dos ensaios de caracterização do resíduo demonstraram que os polímeros advindos do REEE, tem predominância da sua granulometria na faixa dos 6,3 mm o que os coloca dentro da faixa ~~considerada~~ compatível como agregado graúdo. Sua identificação por FTIR indica que são constituídos praticamente por HIPS. Através do ensaio de molhabilidade, identificou-se que o resíduo é hidrofílico o que possibilita boa interação entre ele e a argamassa de cimento e água.

O ensaio tronco cônico com o concreto ainda fresco foi usado para manter as características do concreto igual para todos os traços estudados, mantendo abatimento em (12 ± 2) cm, e a análise da quantidade de água incorporada mostrou que não ocorreram alterações significativas mantendo-se em (8 ± 1) L. Devido à diferença de volume em relação à massa ~~entre o~~ do agregado de REEE e a brita, foi produzida uma maior quantidade de concreto com a mesma quantidade de água. O que permite concluir que há uma redução na utilização de água para a produção de concreto, quando se utiliza esse resíduo.

Os resultados de massa específica dos concretos com as diferentes porcentagens de incorporação, são todos superiores a 2000 Kg/m^3 , permitindo concluir que a incorporação de resíduo de REEE no concreto com até 20% em volume, produz um material que de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015) pode ser classificado como concreto estrutural normal.

O aumento da porcentagem de incorporação de REEE ao concreto leva a uma diminuição da resistência a compressão, porém esse valores são sempre superiores a 20 MPa. Conclui-se então que o concreto obtido com até 20% de incorporação é um concreto de resistência média. O estudo do comportamento da resistência a compressão com o tempo de cura (7, 28 e 63 dias) permite concluir que o concreto continua a ganhar resistência com o

tempo de cura, indicando que o REEE não inibiu a cristalização do concreto. Além disso, o formato do resíduo (lamelar) contribuiu com uma característica semelhante à de utilização de fibras em concreto, impedindo o rompimento completo dos corpos.

Com relação ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral, observou-se que conforme a porcentagem de incorporação aumenta, a resistência a tração diminui, resultado acentuado quando analisado o ensaio de 28 dias. Sendo assim, para utilizações do concreto, na qual não se exerça apenas força de compressão, e seja necessário resistir a ações de tração, seria recomendável que o concreto trabalhasse com uma armação metálica para compensar essa falta de resistência, conforme NBR 6118 (ABNT, 2003), porém é recomendável que mais testes devem sejam realizados para esse seu uso.

No ensaio de módulo de elasticidade, não ocorreram diferenças significativas quando analisamos a incorporação até 10%. Assim este não é um valor impactante para concreto que possua até essa porcentagem de incorporação. Quando analisamos os resultados dos concretos com 15% e 20% de incorporação, podemos observar uma queda considerável nos valores indicando que é um material propenso a maiores deformações e ruptura (CALISTER, 2011).

O concreto sem incorporação diminuiu o seu índice de absorção de água quando comparamos os resultados de 7 e 28 dias, enquanto que os concretos com as outras porcentagens mantiveram o mesmo índice. Porém o valor com 28 dias do concreto sem incorporação pode ser considerado o mesmo dos com incorporação quando levamos em consideração o seu erro. O mesmo comportamento é visto com relação ao índice de vazios e massa específica. Sendo assim, pode-se concluir que a substituição do agregado graúdo por resíduo de REEE não altera significativamente os valores desses índices.

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, a utilização desse concreto para calçadas de pedestres, guias, blocos intertravados para uso de pedestres, e outros usos não estruturais, recomenda-se até 10% de incorporação de REEE, devido ao fato da queda na resistência a compressão não ser significativa em relação ao concreto sem incorporação. Também não possuem grandes alterações entre os valores de incorporação de 5%, 8% e 10%, para os demais ensaios aqui realizados.

Para lastro, que não possua nenhuma função estrutural nem de suporte de carga, e usos em que o concreto não seja submetido a cargas de tração, pode-se utilizar até 20% de incorporação de REEE ao concreto. Outros estudos ainda podem ser feitos com valores maiores de incorporação para este uso especificamente.

Um aproveitamento interessante para cidades que coletam esse tipo de resíduo seria o uso desse concreto em calçadas, guias de rua, parques, ciclovias, lastro de construções públicas, delimitador de canteiros, objetos decorativos, entre outros.

Finalmente podemos concluir que o presente trabalho mostra que é viável a incorporação de REEE ao concreto em substituição de parte da brita, possibilitando uma valorização desse resíduo e uma função para o mesmo, como agregado graúdo para concretos. Essa incorporação de resíduo em concreto reduz a quantidade disposta na natureza dando uma destinação mais nobre, agregando valor ao produto, reduzindo a remoção de brita da natureza como matéria prima virgem.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. *Physical Chemistry of Surfaces*. 6. ed. New York: Wiley-Interscience, 1997. 808 p.

AKASAKI, J. L. et al. Avaliação da resistência à flexão do concreto com borracha de pneu com relação ao concreto convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003.

AKRAM, A. et al. E-Waste Management by Utilization of E-Plastics in Concrete Mixture as Coarse Aggregate Replacement. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4., 2015.

ALAGUSANKARESWAR, K. et al. An Experimental Study on E-Waste Concrete. **Indian Journal of Science and Technology**, 9., 2016.

ALBANO, C. et al. Influence of scrap rubber addition to Portland, concrete composites: Desctrutive amd non destructive testing. **Composite Structures**, 71., 2005.

ALBANO, C. et all; Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. **Waste Management**, 2707–2716p., 2009.

ALMEIDA, L. C. DE. **Concreto armado**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Estruturas, 2002.

ALVES, O. L. **Espectroscopia Infravermelho com transformada de Fourier – métodos, processos e técnicas**. Campinas: UNICAMP, sd.

ASANTE-DUAH, D. F. et al. The Hazardous Waste Trade: Can it be Controlled. **Environmental Science and Technology**. 26., 1992.

ASKARINEJAD, S. et al. Effects of Cement–Polymer Interface Properties on Mechanical Response of Fiber-Reinforced Cement Composites. **Journal of nanomechanics and micromechanics**. 7., 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. BT 106: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5743: Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5744: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7217: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11579: Cimento Portland - determinação da finura por meio da peneira 75 micrometros. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO Cimento Portland - determinação da expansibilidade BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11582: de le chatelier. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 15: Cimento Portland - Análise química - Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 16: Cimento Portland - Análise química - Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 65: Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 76: Determinação Da Finura Portland Pelo Método de Blaine. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 2395: Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

BALDÉ, C. W. The Global E-waste Monitor. Bonn, Alemanha: United Nations University, Institute for advanced study for sustainability, 2014.

BARBA, G, et al An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation. **Resources, Conservation and Recycling**, 52., 2008.

BARBOSA, M. B. Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho. Ilha Solteira: UNESP, 2006.

BASEL CONVENTION. Control of transboundary movements of hazardous wastes and their disposal, protocol on liability and compensation. Suíça: UNEP, 1989.

BEN-NAIM, A. **Hydrophobic Interactions**. 1. Ed. Springer, US: Plenum, 1980. 320p

BITTENCOURT, S. F. Avaliação da resistência à compressão de pavers produzidos com agregados de resíduos de construção e demolição e areia de fundição. Limeira: Universidade Estadual de Campinas, 2012.

BOECHAT, L. Gerenciamento de lixo eletrônico no Brasil. jul. 2015. Techn Brazil. Disponível em: < <https://technbrazil.com.br/gerenciamento-de-lixo-eletronico-no-brasil> > Acesso em: 10 dez. 2016.

BOLETIN TECNICO: Guia Básico De Utilização Do Cimento Portland. São Paulo: ABCP, 2003.

BYUNG-WAN JO, Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. **Construction and Building Materials**, 22, 2008.

CALLISTER JR, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução. Utah, US: LTC, 2011. 620p.

CHANDLER, D. L. Explained: Hydrophobic and hydrophilic. Jul. 2013. News MIT. . Disponível em: < <http://news.mit.edu/2013/hydrophobic-and-hydrophilic-explained-0716> > Acesso em: fev. 2016

C.H. CHEN, et al, Waste E-glass particles used in cementitious mixtures. **Cement and Concrete Research**, 36, 2006.

CHOI YUN-WANG et al. Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. **Cement and Concrete Research**, 35, 2004.

CICHINELLI, G. REVISTA EQUIPE DE OBRA, Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/16/materiais-cimento-nao-e-tudo-igual-nao-76288-1.aspx> > Acesso em: jul. 2016

CIMENTO.ORG, CP V-ARI – Cimento Portland de alta resistência inicial. Ago. 2010. Encontrado em: <http://cimento.org/cp-v-ari-cimento-portland-de-alta-resistencia-inicial/> Acesso em: nov. 2016.

Cleaning Up Electronic Waste. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: < <https://www.epa.gov/international-cooperation/cleaning-electronic-waste-e-waste> > Acesso em: fev. 2017.

Concretos leves. PORTAL DO CONCRETO. Disponível em: < <http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/leves.html> > Acesso em : mai. de 2017.

COUTINHO NETO, B. Avaliação do Reaproveitamento de Areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.

CRENSHAW, R. S. Naval Shiphandling. 4 ed. Naval Institute Press, 1974. 479p.

DANTAS, I. Concreto de alta resistência – Composição e Economia, 2012. Disponível em: < <https://engciv.wordpress.com/2012/07/09/concreto-de-alta-resistencia-composicao-e-economia/> > Acesso em: mai. 2017.

DUCATTI, V. A; LOPES, K. L. Apostila materiais de construção civil. Sorocaba: Faculdade de Engenharia de Sorocaba, 2007.

Estudo sobre logística de resíduos eletrônicos e divulgado. PORTAL BRASIL. Disponível em: < <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/02/estudo-sobre-logistica-de-residuos-eletronicos-e-divulgado> > Acesso em : jan. 2016.

Electronic Waste (E-waste) Recycling Facts (2008). Electronics TakeBack Coalition. Disponível em: <http://www.electronicstakeback.com/wp-content/uploads/Facts_and_Figures_on_EWaste_and_Recycling.pdf > Acesso em: fev. 2017.

ENAS A. AL-HASHMI, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, **Waste Management**, 28, 2008.

ERHAN G. Fracture behavior and mechanical properties of concrete with artificial lightweight aggregate and steel fiber. **Construction and Building Materials**, 84, 2015.

FUSCO, P.B. Técnicas de Armar as Estruturas de Concreto. São Paulo: Editora Pini, 2005. 405p.

FRIGIONE, M. Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. **Waste Management**. 30, 2010.

GENNES, P.G. Wetting: statics and dynamics. **Reviews of Modern Physics**. 57 , 1985.

GOLD, V. Compendium of Chemical Terminology. Carolina do Norte, US: International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). 1987. 1670p.

HAIFANG WEN et al , Evaluation of Recycled Concrete as Aggregate in New Concrete Pavements. Washington, US: WSDOT Research Report, 2014. 107p.

IFTEKAR G. A New Paradigm on Experimental Investigation of Concrete for E- Plastic Waste. **International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)**, 10, 2014.

INDIANAPOLIS UNIVERSITY: Electronic Waste (E-waste) Recycling Facts (2009) . Electronics TakeBack Coalition. Disponível em < http://www.iupui.edu/~g115/syllabus/papers/Fact_Sheet_Example4.pdf > Acesso em: fev. 2017.

ISAIA, G. C. Concreto: Ciencia e tecnologia. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2011. 1968p.

ISAIA, G. C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. 2 ed. São Paulo: IBRACON 2005. 1579p.

ISAIA, G. C. Materiais de Construção Civil. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. 1712p.

ISLAM, J. et al. Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete .**Construction and Building Materials**, 125, 2016.

HOORNWEG, D. BHADA-TATA, P. WHAT A WASTE. A Global Review of Solid Waste Management. **The World Bank**, 15, 2012.

JORNAL OFICIAL UNIÃO EUROPÉIA. N.138, 17 mai. 1993.

JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPEIA. 27 jan. 2003. DIRETIVA 2002/96/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. L 37/24.

JORNAL OFICIAL DA UNIÃO EUROPEIA. 4 jul. 2012. DIRETIVA 2012/19/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO. L 197/38.

JUMA, A. A Review on Experimental Behavior of Self Compaction Concrete Incorporated with Rice Husk Ash, *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2, 2012.

KAHHAT, R. et al. Exploring e-waste management systems in the United States. **Resources, Conservation and Recycling**, 52, 2008.

KANTOVISCKI, A. R. Materiais poliméricos: conceitos e definições. Universidade tecnológica federal do Paraná. Disponível em: < <http://www.utfpr.edu.br/> > Acesso em: jan. 2016.

KOU SHI-CONG , Poon Chi-Sun, A novel polymer concrete made with recycled glass aggregates, fly ash and metakaolin, **Construction and Building Materials**, 41, 2013.

KUMAR K. S; BASKAR, K. Response Surfaces for Fresh and Hardened Properties of Concrete with E-Waste (HIPS), **Hindawi Publishing Corporation**, 2014, 2014.

KUMAR, K. S; BASKAR, K. Development of Ecofriendly Concrete Incorporating Recycled High-Impact Polystyrene from Hazardous Electronic Waste. **Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste**, 19, 2015.

KUMAR, K. S; BASKAR, K, Recycling of E-plastic waste as a construction material in developing countries. **Mater Cycles Waste Managing**, 17, 2015.

KUMUTHA, R.; VIJAI, K. ARPN Strength Of Concrete Incorporating Aggregates Recycled From Demolition Waste. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, 5, 2010.

LAHA, S. Transboundary Toxic E-Waste Flow. Environmental Injustice through Neo-ecological Imperialism. Nature Inc. Conference Proceedings, International Institute of Social Studies, 2011

LAKSHMI, R.; NAGAN, S. Studies on Concrete containing E plastic waste. **International journal of environmental sciences** 1, 2010.

LAN ZONG et al, Permeability of recycled aggregate concrete containing fly ash and clay brick waste, **Journal of Cleaner Production**, 70, 2014.

LEITE, J. G. Aplicação das Técnicas de Espectroscopia FTIR e de Micro Espectroscopia Confocal Raman à Preservação do Património, Cidade do Porto, Portugal: FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

LIMBACHIYA, M. et al. Use of recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. **Construction and Building Materials**, 27, 2012.

LOW, M. Material Flow Analysis of Concrete in the United States. Massachusetts, USA: Massachusetts Institute Of Technology, 2005.

MACGREGOR, J. G. Reinforced Concrete Mechanics and Design, New Jersey, USA: Prentice_hal Inc. Upper Saddle River, 1997.

MANATKAR, P. A. et al Use of non-metallic e-waste as a coarse aggregate in a concrete. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, 4, 2015.

MANJUNATH, A. B. T. Partial replacement of E-plastic Waste as Coarse-aggregate in Concrete. **Procedia Environmental Sciences**. 35, 2016.

MAN-SHI LOW, Material Flow Analysis of Concrete in the United States. Massachusetts, USA: Purdue University, 2005.

MANSUR, G. L.; MONTEIRO, J. H. Cartilha de limpeza urbana. Rio de Janeiro: IBAM, (s.d.).

MAYERS, D. Surfaces, interface and colloids. New York, USA: VHC, 1990. 546p.

MEHTA, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: Estrutura, propriedades e materiais. 3 Ed. Editora IBRACON, 2008. 573p.

MEHTA, P. K.; Monteiro, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. Editora PINI, 1994. 674p.

MUNDADA, M. N. et al. E-waste: a new challenge for waste management in India, **International Journal of Environmental Studies**, 2004.

NAGAJOTHI P. G.; FELIXKALA, T. Compressive Strength of Concrete Incorporated with E-fiber Waste, International. **Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering**, 4, 2014.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. São Paulo: Pini, São Paulo, 1997. 912p.

NEWELL, P. R. Class, and the Global Politics of Environmental Inequality. *Global Environmental Politics*. 2005. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/abs/10.1162/1526380054794835>>. Acesso em: jun. 2017.

PAKRAVAN, H.R; MEMARIAN, F; Needlefelt carpet waste as for Polymer concrete for composite. **Journal Of Industrial Textiles**, 46, 2016.

PATACAS, R. Desenvolvimento, Caracterização e Optimização de um biossensor amperométrico para a determinação de Nitrato baseado em microinterfaces gelificadas. Cidade do Porto, Portugal: Faculdade de Ciências do Porto, 2007.

PATIL B. B. Strength and Durability Properties of High Performance Concrete incorporating High Reactivity Metakaolin, International. **Journal of Modern Engineering Research (IJMER)**, 2, 2012.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 13 ed. São Paulo: Editora Globo, 1978. 306 p.

POLITICA NACIONAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. (2012). Disponível em: <http://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf> Acesso em: dez. 2015.

POULIKAKOS A, L.D. et al. Harvesting the unexplored potential of European waste materials for road construction. **Resources, Conservation and Recycling**, 116, 2017.

PRASANNA, P. K.; Kanta Rao, M. Strength Variations in Concrete by Using E-Waste as Coarse Aggregate. **International Journal of Education and applied research**, 4, 2014.

Produção brasileira de lixo eletrônico. Departamento de Sistemas de Informação. Universidade do Estado de Santa Catarina. Disponível em: < http://nti.ceavi.udesc.br/e-lixo/index.php?makepage=quanto_o_brasil_produz> Acesso em: dez. 2015.

PUCKETT, J.; SMITH, T. Exporting harm: the high-tech trashing of Asia The Basel Action Network. Seattle, USA: Silicon Valley Toxics Coalition, 2002

QUEIROZ FILHO, A. de A. et al , CIMENTO : Sumario mineral 2015. Pernambuco: Departamento Nacional de produção Mineral. DNPM, 2015. 146p.

RAFAT SIDDIQUE et al, Use of recycled plastic in concrete: A review. **Waste Management**, 28, 2008.

RASHAD, A. M. Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement. **Construction and Building Materials**, 72, 2014.

Reciclagem de lixo eletrônico. (s.d.). ONG E-lixo. Disponível em < <http://www.elixo.org.br/reciclagem-lixo-eletronico/> > Acesso em: dez. 2015

RESCKE, J.S. et al. Escória Granulada de Fundição Utilizada como substituição ao cimento em concretos: avaliação de propriedades relacionadas com a durabilidade. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

RESCHKE, J.S. Escória granulada de fundição utilizada como substituição ao cimento em concretos: avaliação de propriedades relacionadas com a durabilidade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

RIBEIRO, M.C.S. Re-use assessment of thermoset composite wastes as aggregate and filler replacement for concrete-polymer composite materials: A case study regarding GFRP pultrusion wastes, **Resource Conservation And Recycling journal**, 2015.

ROMANO CEZAR A. Apostila de tecnologia do concreto. Parana: Centro federal de educação e tecnologia do Parana. (s.d.). 102 p

SEUNG BUM PARK, Studies on mechanical properties of concrete containing waste glass aggregate, **Cement and Concrete Research**, 34, 2004.

SEMIHA AKÇAÖZÖG~LU et al, An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. **Waste Management**, 30, 2010.

SHUTONG YANG, et al. Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles, **Construction and Building Materials**, 84, 2015.

SILVA, J. A. Ensaio De Compressão Axial. Pará: Universidade Federal Do Pará, 2011.

SPARAVIGNA, A. C. Ancient concrete works. Toronto, Canadá: Departamento Politécnico De Física De Toronto, 2011.

STELLA L. M., Ancient Concrete Structures, Concrete International, 1996.

STEVEN H. K.; et al, Design and Control of Concrete Mixtures. Engineering Bulletin, 01. Illinois, USA: Portland Cement Association, Skokie, 2002.

STHIANNOPKAO S, Wong MH. Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences. **Science of the Total Environment**, 2012

STUART, B. Analytical Techniques in Materials Conservation. John Wiley & Sons, 2007. 414p.

SUCHITHRA, S. et al, Study on replacement of coarse aggregate by E- WASTE in concrete. **International Journal of Technical Research and Applications**, 4, 2015.

SULLIVAN, E. J. World Cement Consumption Forecast. Portland Cement Association, 2017.

TIME online : China's Electronic Waste Village - Photo Essays. **Time Inc.**, n.d. Disponível em: http://content.time.com/time/photogallery/0%2C29307%2C1870162_1822153%2C00.html < > Acesso em: jun. 2017.

VARGAS, M. Introdução a Mecânica dos Solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil . Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977.

VAL M. A história do e-lixo: O que acontece com a tecnologia depois que é descartada Disponível em: <<http://gizmodo.uol.com.br/a-historia-do-e-lixo-o-que-acontece-com-a-tecnologia-depois-que-e-descartada>> Acesso em: mar. 2016.

VIEIRA , J.P.B. Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled concrete coarse aggregates, **Cement and Concrete Research**, 41, 2011.

WEEE ORDINANCE ON THE RETURN, THE TAKE BACK AND THE DISPOSAL OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (ORDEE). Switzerland : **Federal Office for the Environment FOEN**, 1998.

WEN, H. et al. Evaluation of Recycled Concrete as Aggregate in New Concrete Pavements. Washington, USA: Washington State University. 2014.

WONG, M.H., et al. Export of Toxic Chemicals – A Review of the Case of Uncontrolled Electronic-Waste Recycling. **Environmental Pollution**, 149, 2007.

YAP, L. The basel Convention and Golbal Environment (Non) Goveneance, Transformismo and the Case of Electronic Wastes. Undercurrent, 3, 2006.

YU, J et al, Managing e-waste in China: Policies, pilot projects and alternative approaches. Resources, **Conservation and Recycling**, 11, 2010.

YUN-WANG CHOI, Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, **Cement and Concrete Research**, 35, 2005.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos: EdUFSCAR, 2004. 143p.