



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



LEONARDO ALVES DA CONCEIÇÃO

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO
DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS**

VOLTA REDONDA

2019

LEONARDO ALVES DA CONCEIÇÃO

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO
DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais Compósitos, linha de pesquisa em materiais Cerâmicos.

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

Co-Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

VOLTA REDONDA

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária:Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

C744pConceição, Leonardo Alves da.
Produção e caracterização de concreto com adição de resíduos de placas de circuitos impressos. / Leonardo Alves da Conceição. - Volta Redonda: UniFOA, 2019.

78p. : Il

Orientador(a): Prof^oDr^o Roberto de Oliveira Magnago

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2019

1. Materiais - dissertação. 2.PCI.3. REEE. 4. Concreto - produção. 5. Lixo eletrônico.I. Magnago, Roberto de Oliveira. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



LEONARDO ALVES DA CONCEIÇÃO

Produção e caracterização de concreto com adição de resíduos de placas de
circuito impresso

Orientador: Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago

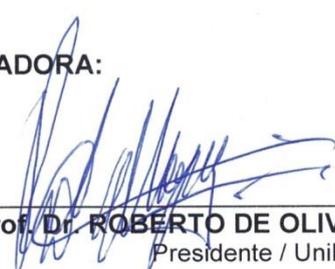
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral

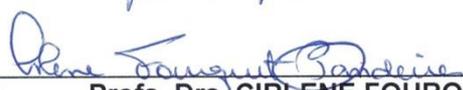
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE
"MESTRE EM MATERIAIS"

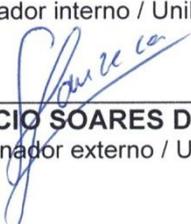
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO
PROFISSIONAL EM MATERIAIS


Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ROBERTO DE OLIVEIRA MAGNAGO
Presidente / UniFOA


Profa. Dra. CIRLENE FOURQUET BANDEIRA
Examinador interno / UniFOA


Prof. Dr. GLÁUCIO SOARES DA FONSECA
Examinador externo / UFF

Outubro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a todos os professores pelo conhecimento transmitido durante o curso, agradecer ao Orientador Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago e ao Co-orientador Prof. Dr. Ricardo Cabral por todo esforço e horas de dedicação para conclusão do trabalho, a colega de curso Livia Saboya Matos pela ajuda com a limpeza das PCI's, aos técnicos de laboratório Arthur Almeida Bitencourt e Dirceu Hartung de Camargo Coutinho por toda ajuda e a escola ICT/Fasf, localizada na cidade de Volta Redonda e loja Kadoshi Informática, localizada na cidade de Volta Redonda, pelas placas de circuito impresso cedidas para a realização dos ensaios.

CONCEIÇÃO, L. A. **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSOS.** 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, 2019.

RESUMO

Com objetivo de contribuir com o meio ambiente e a construção civil, este trabalho foi baseado no aproveitamento de uma matéria-prima abundante, que tem milhões de toneladas descartadas de forma incorreta, denominada PCI (placa de circuitos impressos). Estas placas são encontradas em televisores, celulares, computador entre outros eletro-eletrônicos, também conhecido como lixo eletrônico. As PCI's foram utilizadas para produzir corpos de prova, em substituição do agregado graúdo (brita) nas proporções de 10%, 20% e 30%. Para verificação técnica, foram realizados os ensaios de resistência a compressão, resistência à tração na flexão, índice de vazio e absorção de água e MEV. Foram feitos três conjuntos de corpos de prova em quatro idades distintas (7, 14, 21 e 28 dias) para o ensaio de resistência a compressão. Para os demais ensaios, absorção de água, índice de vazio e resistência à tração na flexão, foram utilizados corpos de prova com 28 dias de idade. Os valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão, para a idade de 28 dias, são de: 25,67 MPa para concreto padrão, 24,53 MPa para proporção com 10% de PCI, 23,45 MPa com 20% de PCI e 20,19 MPa com 30% de PCI. Para o ensaio de tração na flexão, os valores obtidos são: 5,19 MPa para concreto padrão, 2,7 MPa para proporção de 10% com PCI, 2,19 MPa para proporção de 20% com PCI e 3,81 MPa para proporção de 30% com PCI. Baseado nas normas NBR 6118/2004 e NBR 12655/2006, o concreto para ser considerado estrutural, deve atingir valor de resistência entre 20 MPa a 90 MPa. Ao ser aplicado o fator de segurança nas amostras, o valor fica abaixo de 20 MPa, podendo ser usado como concreto não estrutural, por exemplo PISOS OU CALÇADAS.

Palavras-chave: PCI, REEE, Reciclagem, Concreto, Lixo eletrônico

CONCEIÇÃO, L. A. **PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CONCRETE WITH THE ADDITION OF WASTE OF PRINTED CIRCUIT BOARD.** 2019. Dissertation (Professional Master of Material) - Fundação Oswaldo Aranha, Centro Universitário de Volta Redonda, 2019.

ABSTRACT

In order to contribute to the environment and civil construction, this work was based on the use of an abundant raw material, which has millions of tons of incorrectly discarded, called PCI (printed circuit board). These cards are found in televisions, mobile phones, computer among other electro-electronics, also known as junk mail. The PCIs were used to produce specimens, replacing the coarse aggregate (gravel) in the proportions of 10%, 20% and 30%. For technical verification, the tests of compressive strength, flexural tensile strength, void index and water absorption and SEM were performed. Three sets of specimens were made at four different ages (7, 14, 21 and 28 days) for the compressive strength test. For the other tests, water absorption, void index and flexural tensile strength, 28-day-old specimens were used. The values obtained in the compressive strength tests, for the age of 28 days, are: 25.67 MPa for standard concrete, 24.53 MPa for proportion with 10% PCI, 23.45 MPa with 20% PCI and 20.19 MPa with 30% PCI. For the flexural tensile test, the values obtained are: 5.19 MPa for standard concrete, 2.7 MPa for 10% ratio with PCI, 2.19 MPa for 20% ratio with PCI and 3.81 MPa for 30% proportion with PCI. Based on the standards NBR 6118/2004 and NBR 12655/2006, the concrete to be considered structural, must reach strength value between 20 MPa to 90 MPa. When applying the safety factor to the samples, the value is below 20 MPa and can be used as non-structural concrete, eg floors or sidewalks.

Keywords: PCB, WEEE, recycling, concrete, electronic waste

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lixeira para coleta de material reciclável.....	34
Figura 2. Placa de circuito impresso.....	39
Figura 3. Fluxograma do trabalho.....	40
Figura 4. Moinho de facas, Laboratório UNIFOA.....	41
Figura 5. Componente não extraído.....	42
Figura 6. Componentes misturados na placa, plástico e metais não extraídos em destaque.....	42
Figura 7. Ensaio granulométrico.....	43
Figura 8. Corpo de prova, 20% de PCI.....	46
Figura 9. Corpos de prova para ensaio de flexão.....	47
Figura 10. Corpo de prova (a) 0%,(b) 10%, (c) 20% e (d) 30%.....	48
Figura 11. Esquema para realização do ensaio.....	50
Figura 12. Corpo de prova rompido no terço médio.....	51
Figura 13. Amostra de 10% imersa.....	52
Figura 14. Resultado do ensaio de compressão com 7 dias.....	56
Figura 15. Resultado do ensaio de compressão com 14 dias.....	57
Figura 16. Resultado do ensaio de compressão com 21 dias.....	58
Figura 17. Resultado do ensaio de compressão com 28 dias.....	60
Figura 18. Evolução da Tensão (MPa) x Dias.....	61
Figura 19. Resultado do ensaio de tração na flexão com 28 dias.....	63
Figura 20. Resultado da Absorção de água.....	64
Figura 21. Resultado do Índice de vazio.....	66
Figura 22. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra de controle.....	67

Figura 23. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra com 10% de PCI.....	68
Figura 24. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra com 20% de PCI.....	69
Figura 25. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra com 30% de PCI.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades do concreto e suas influências.....	26
Tabela 2. Resistência e os aditivos para cada tipo de cimento.....	29
Tabela 3. Tempo de degradação de alguns materiais.....	33
Tabela 4. Principais componentes da PCI.....	35
Tabela 5. Equipamentos Eletro-Eletrônicos.....	37
Tabela 6. Características físicas e composição do cimento CIII.....	38
Tabela 7. Confeção dos corpos de prova.....	45
Tabela 8. Proporção de material usado para cada porcentagem de CP para resistência à compressão e imersão em água.....	45
Tabela 9. Proporção de material usado para cada porcentagem de CP para de ensaio de flexão.....	46
Tabela 10. Análise granulométrica da areia.....	54
Tabela 11. Análise granulométrica da brita.....	54
Tabela 12. Análise granulométrica do PCI.....	55
Tabela 13. Resultados do ensaio de compressão para 7 dias.....	56
Tabela 14. Resultados do ensaio de compressão para 14 dias.....	57
Tabela 15. Resultados do ensaio de compressão para 21 dias.....	59
Tabela 16. Resultados do ensaio de compressão para 28 dias.....	59
Tabela 17. Resultados do ensaio de tração na flexão para 28 dias.....	62
Tabela 18. Resultado da Absorção de água.....	64
Tabela 19. Resultado de Índice de vazio.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Especificidades físicas e mecânicas do cimento Portland.....	29
---	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	24
Equação 2.....	48
Equação 3.....	49
Equação 4.....	50
Equação 5.....	52
Equação 6.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm ²	Centímetro quadrado
CP	Corpo de Prova
EEE	Equipamento Eletro Eletrônico
F _{ck}	resistência característica do concreto à compressão
F _{cj}	resistência média do concreto à compressão
g	grama
Kg	Kilograma
kN	KiloNewton
kV	KiloVolt
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
mm	milímetro
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
PCI	Placa de circuito impresso
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
REEE	Resíduo de Equipamentos Eletro Eletrônicos
RSU	Resíduo Sólido Urbano
S _d	Desvio padrão da dosagem
µm	micrômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	21
1.2 OBJETIVO	22
1.2.1 GERAL.....	22
1.2.2 ESPECÍFICO.....	22
1.3 JUSTIFICATIVA	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 CONCRETO	24
2.1.1 Resistência do Concreto.....	24
2.1.2 Características e Influências no concreto.....	25
2.1.3 Traço do Concreto.....	26
2.2 CIMENTO	27
2.2.1 Cimento Portland.....	28
2.3 AGREGADOS	30
2.4 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO - PCI	31
2.5 CARACTERIZAÇÃO DE PCI	31
2.6 RECICLAGEM	32
2.6.1 Reciclagem de PCI.....	34
2.7 LEIS AMBIENTAIS	36
2.8 TIPOS DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 MATERIAIS.....	38
3.1.1 Cimento.....	38

3.1.2 Placa de Circuito Impresso	38
3.1.3 Areia	39
3.1.4 Brita	39
3.1.5 Água	39
3.2 MÉTODOS	40
3.2.1 Aspectos gerais	40
3.2.2 Moagem das placas PCI	41
3.2.3 Análise Granulométrica	42
3.2.4 Preparação dos corpos de prova	44
3.2.5 Ensaio de Resistência à compressão	47
3.2.6 Ensaio de Resistência à tração na flexão	49
3.2.7 Absorção de água e Índice de vazio	51
3.2.8 Análise no MEV	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 GRANULOMETRIA	54
4.1.1 Areia	54
4.1.2 Brita	54
4.1.3 Placa de Circuito Impresso	55
4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	55
4.2.1 Resultados para sete dias	55
4.2.2 Resultado para 14 dias	56
4.2.3 Resultado para 21 dias	58
4.2.4 Resultado para 28 dias	59
4.2.5 Tensão(MPa) x Idade dos cps	60

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	61
4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	63
4.5 ÍNDICE DE VAZIO.....	65
4.6 MEV.....	66
5 CONCLUSÕES.....	71
6 TRABALHOS FUTUROS.....	72
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	73

1. INTRODUÇÃO

Um grande problema da sociedade, sempre foi o lixo produzido. Por décadas, as pessoas não reciclavam o lixo doméstico e, tão pouco, existiam leis que obrigassem o descarte correto. Tanto do “lixo doméstico como do lixo industrial”, que eram depositados a esmo, sem quaisquer tipo de tratamento.

As discussões sobre o meio ambiente, começou em 1972, quando foi realizado a Conferência das Nações Unidas, em Estocolmo. Nessa ocasião, por priorizar o crescimento econômico, o Brasil não foi favorável às resoluções propostas. Apenas na década de 80, por conta de pressões internacionais, foi criado o IBAMA. Em 1992, em nova Conferência das Nações Unidas, no Rio de Janeiro/BR, ficou comprovado maior interesse mundial para o assunto do meio ambiente (florestas, água, emissão de gases e outros), mas nenhum dos países iria deixar a economia de lado (PECCATIELLO, 2011).

Em pesquisas feitas por Leal Junior, Guimarães e Manforte Netto, (2017), mencionam que, em 1989, no Brasil, existiam 58 pontos de coleta seletiva de lixo, chegando a 994 no ano de 2008. Eram recolhidos papel, plásticos, metais, pneus, entre outros. Expandindo, assim, a preocupação ambiental de anos atrás, agora para o setor de reciclagem. Em outro ponto levantado, diz que, no ano de 2014, apenas 17% das cidades do Brasil tinha um programa de coleta seletiva (LEAL JUNIOR; GUIMARÃES; MANFORTE NETTO, 2017).

Paschoalin Filho, Silveira, Luz e Oliveira, (2014) relatam que, na cidade de São Paulo, em 1989 houve uma tentativa de implantar a coleta seletiva, que só voltaria a ser retomada em 2002. Paschoalin Filho, Silveira, Luz e Oliveira, (2014) relatam ainda que, em 2013, apenas 1,9% de todo resíduo produzido era reciclado e estimaram uma perda total de até 8 bilhões de reais em material não reciclado. (PASCHOALIN FILHO; SILVEIRA; LUZ; OLIVEIRA, 2014)

Rezende et al. (2013), diz que, a composição do resíduo sólido produzido está ligado ao nível de desenvolvimento, socioeconômico e cultural de um país. Em países de 3º mundo, por exemplo, o lixo se caracteriza com maior porcentagem de resíduos orgânicos, enquanto países com a economia estabelecida, o lixo se caracteriza por ter mais produtos eletrônicos.

Estes produtos eletrônicos que, na literatura, são encontrados com o nome de REEE (Resíduo de Equipamento Elétricos e Eletrônicos) ou REE (Resíduos Eletroeletrônicos), vieram com o intuito de facilitar a vida das pessoas, ao proporcionar conforto e praticidade, ou para o lazer e entretenimento (NATUME; SANT'ANNA, 2011). Rocha, Ceretta e Carvalho (2010) constataram que para a produção de um único computador de mesa, são necessários 1,8 toneladas de materiais de diversos tipos e exige o consumo de combustível fóssil equivalente a 10 vezes o seu peso.

O lixo eletrônico engloba mais do que o computador. Entram na lista celulares, geladeiras, batedeiras, ar condicionado, vídeo games, televisores, filmadoras entre outros, e são equipamentos que contém a Placa de Circuito Impresso (PCI), também conhecido na literatura como *Printed Circuit Boards* (PCB) (ROCHA; CERETTA; CARVALHO, 2010). A PCI é composta por níveis, de materiais plásticos e fibrosos (fibra de vidro por exemplo) e tem fina camada de metal (cobre, prata ou ouro, por exemplo). Através da fina camada metálica, que seria como uma pista, é conduzido a corrente elétrica para o funcionamento do eletrônico (AMARAL, 2015).

Após anos de debates sobre como recuperar meio ambiente, foi criada a Lei nº 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que foi aprovada em 2010, numa tentativa de minimizar o impacto ambiental causado por todo o resíduo sólido produzido (incluindo o lixo eletrônico), obrigando as empresas a realizarem a Logística Reversa (BRASIL, 2010).

Como nos produtos eletroeletrônicos existe um valor agregado muito grande, contendo metais valiosos (ouro e prata), faz-se necessário, de algum modo, trazer esses produtos de volta para ser reinserido na cadeia de produção. Entra neste momento, a logística reversa, que é de responsabilidade dos fabricantes, importadores ou distribuidores, de coletar embalagens, produtos com mau funcionamento, fora de validade ou rejeitados (ROCHA; CERETTA; CARVALHO, 2010).

A Logística Reversa, é de responsabilidade dos fabricantes, distribuidores ou importadores de produtos, que tenham gerado algum tipo de resíduo sólido que cause impacto ambiental, onde, mesmo após o consumo do produto, são

responsáveis pela coleta, armazenamento e o correto descarte desses produtos (por exemplo: embalagens, produtos usados ou quebrados). A Logística Reversa apareceu pela primeira vez na Suíça, quando o lixo eletrônico começou a causar transtorno.

Em uma pesquisa realizada pela ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), o ramo de eletroeletrônicos teve um crescimento de mais de 17% apenas em Janeiro de 2017, com destaque para a indústria elétrica e eletrônica que variou de 4,9% a 31,9% enquanto a indústria no geral cresceu apenas 5,7% (ABINEE, 2017).

Em relatório feito pela ONU, em 2016, de todo lixo eletrônico produzido pelo Brasil, somente 20% ou 8,9 milhões de toneladas métricas foram aproveitadas. Foi considerado lixo eletrônico, brinquedos eletrônicos, TV's, geladeiras, laptops, celulares, tomadas entre outros. Premur (2016), diz ainda que, a nível mundial, foram descartados mais de 50 milhões de toneladas (PREMUR, 2016).

Com o rápido avanço da tecnologia, computadores ficam ultrapassados em questão de meses, forçando o consumo mundial a crescer em torno de 9%, sendo que, somente China e Taiwan lideram produzindo 200 milhões de metros quadrados de placas eletrônicas (FORTI et al., 2017; ROCHA; CERETTA; CARVALHO, 2010).

Na América Latina, no ano de 2012, o Brasil produzia em torno de 1,7 milhões de toneladas por ano de lixo eletrônico, gerando a média de 7 kg de lixo eletrônico por habitante Spitzcovsky, (2013). Já no ano de 2016, o Brasil foi o maior produtor de lixo eletrônico da América Latina com 2 milhões de toneladas, um avanço de 10% em relação a 2014. Para 2018, foi feita uma estimativa de que seriam produzidos cerca de 8,3 kg de lixo eletrônico por habitante. Por não ter um sistema de reciclagem eficiente, o Brasil deixou de gerar 55 bilhões de dólares (FORTI et al., 2017).

De acordo com Leal Junior, Guimarães e Manforte Netto, (2017) e Leta et al., (2013), além dos benefícios que a reciclagem traz ao meio ambiente, destaca-se o aspecto social, econômico e ambiental. Na parte social, com a criação de pontos de coleta seletiva, ensinando cidadania e a importância de se reciclar às futuras gerações. Na parte econômica, os ganhos ficam por conta de novas vagas de empregos criadas, com a matéria prima que está sendo reinserida na cadeia de

produção e na diminuição significativa do uso de combustível fóssil. Na parte ambiental, há melhoria com a diminuição do resíduo sólido pelas cidades, menos contaminantes nos rios e lagos. Espinosa et al., (2016), complementa que, para um desenvolvimento sustentável, o tripé da sustentabilidade (reuso e remanufatura; inclusão de pessoas para coletar os resíduos e a geração de emprego e renda; preservar o meio ambiente) deve ser manter em equilíbrio, e é este ponto que as empresas estão explorando como marketing.

Nos países desenvolvidos, onde existe o hábito de reciclar, inclusive o REEE, a reciclagem tem as seguintes etapas: desmontagem e separação dos componentes valiosos, que passa por um tratamento especial; processamento mecânico e/ou metalúrgico e purificação dos materiais por processos químicos (OLIVEIRA; BERNARDES; GERBASE, 2012).

Grandes quantidades de recursos naturais são utilizados na construção civil. Em sua maioria, utilizados para produzir os agregados graúdos e miúdos. Em muitas cidades brasileiras, já não é permitido mais sua exploração, pois são recursos não renováveis. Tendo em vista esta problemática, a indústria busca soluções para substituir os agregados naturais por agregados industriais (MODRO, 2009).

Deste então, inúmeros materiais (pneus, PET, vidro, etc.) já foram usados no concreto como agregados (graúdo e miúdo) para testar seu desempenho. A PCI, surge como um material para usar em substituição aos agregados. É um material que, apesar da sua abundância nas ruas, é pouco explorado como resíduo (MODRO, 2009).

A proposta para esta dissertação, será de servir como fonte para futuras pesquisas na área de reciclagem de produtos eletroeletrônicos e propor um tipo de concreto que substituirá o agregado graúdo em proporções de 10%, 20% e 30% de PCI, comparando as propriedades mecânicas e físicas com o concreto padrão. Esse trabalho foi baseado em artigos científicos, dissertações e teses.

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Com a alta demanda do mercado e rápido avanço da tecnologia, milhares de aparelhos elétricos e eletrônicos são descartados todos os dias nas ruas ou aterros sem o menor cuidado. Normalmente, na composição dos EEE encontra-se, plástico, vidro, metais ferrosos, não ferrosos e metais tóxicos (HELENE; TIBÉRIO, 2010).

Com o poder aquisitivo adquirido ao longo dos anos, o rápido avanço da tecnologia e a durabilidade dos equipamentos, o acúmulo de REEE, tem crescido constantemente nas cidades, sendo que, não é possível o descarte em qualquer local, devido ao alto índice de material tóxico contido nos equipamentos. Em vista disso, muitos trabalhos estão sendo produzidos: como exemplos de pesquisa nesse campo, temos, Naia que desenvolveu blocos de alvenaria onde substitui o agregado por PCI em 3% e Espinosa, onde foi feito um trabalho visando recuperar os metais.

O Meio ambiente é um tema sempre atual. Este trabalho tem como abordagem, apresentar uma forma diferente de como se aproveitar as PCI's e utilizar no concreto. Futuramente, o concreto será outra preocupação, pois os materiais utilizados para sua fabricação estão se esgotando. Pensando nisso, a PCI será aproveitada como agregado graúdo artificial.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 GERAL

Produzir concreto com substituição parcial do agregado graúdo convencional por placas de circuito impresso, verificando requisitos técnicos, a fim de que seja possível sua aplicação na construção civil

1.2.2 ESPECÍFICOS

Avaliar a efetividade técnica da troca do agregado graúdo convencional por placas de circuito impresso, em porcentagens diferentes, verificando qual apresenta melhor desempenho na construção civil. Os testes realizados foram o ensaio de resistência à compressão, ensaio de resistência à tração na flexão, absorção de água e índice de vazio.

Avaliar o produto idealizado através de ensaios mecânicos em laboratório, para verificar se atinge os valores mínimos exigidos por norma.

Avaliar em qual porcentagem o produto final tem melhores características e em qual situação pode ser aplicado.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com a evolução da tecnologia e o aumento do consumo de produtos eletrônicos, o descarte destes produtos obsoletos ocorre de forma indiscriminada. Como no Brasil não existe centro de reciclagem específico para este material, o lixo eletrônico é enviado para países com tecnologia para o devido processamento.

A proposta de reutilizar as PCI's no concreto, torna-se interessante, pois, diminui o lixo eletrônico retirando do meio ambiente materiais de alta toxicidade e cria centros de coleta e reciclagem específicos, mantendo os materiais de valor agregado no Brasil, gerando emprego e renda.

O estudo das PCI's é explorada em diversas formas, como aproveitamento de um metal, estudo sobre os malefícios à saúde humana ou trabalhos na mesma linha de pesquisa. Este trabalho, se diferencia por substituir até 30% de agregado graúdo por PCI moído, enquanto outros trabalhos com concreto, adicionam PCI em pó ou substituem pelo agregado miúdo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO

É um compósito cimentício, feito normalmente a base de cimento portland, areia, pedra e água, sendo muito utilizado a nível mundial. O concreto é um material muito usado na construção civil, isso ocorre devido a facilidade de construção dos elementos estruturais, pelo baixo custo e pela ampla disponibilidade no canteiro de obras (FILHO, 2013). Filho (2013) complementa, ao falar que no estado fresco, o concreto pode tomar a forma do molde onde for aplicado e tem como principais propriedades a trabalhabilidade e a homogeneidade.

Produzir um concreto que atenda adequadamente a todas as características exigidas, só será possível com a utilização de materiais de qualidade, e sendo que fatores como o processo de mistura, lançamento e cura são fundamentais.

2.1.1 Resistência Do Concreto

De acordo com a NBR 6118 (2014), o concreto pode ser considerado estrutural, desde que o seu f_{ck} (resistência à compressão) esteja numa faixa entre 20 MPa à 90 MPa, porém, existe algumas condições e tipo de estrutura onde será aplicada. A NBR, que rege o procedimento para testar se o concreto será de uso estrutural ou não, é a NBR 12655 (2006), onde no mesmo lote de corpos de prova, o f_{ck} (resistência à compressão) não vai ser o mesmo por conta de variáveis envolvidas. Segundo Neville (1997), para obter a resistência à compressão do concreto, adota-se a idade de 28 dias como referência, não havendo uma explicação técnica para determinar a resistência, após 28 dias de idade. Então, partindo desse f_{ck} , é possível calcular o f_{cj} para essa amostragem de cp 's. Para o cálculo do f_{cj} , usa-se a equação (1)

$$f_{cj} = f_{ck} - 1,65 s_d \quad (1)$$

onde:

f_{cj} é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, em MPa;

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

s_d é o desvio-padrão da dosagem, em MPa.

Quando o desvio-padrão (S_d) do traço utilizado não é conhecido, adota-se uma das condições descritas na NBR 12655 (2006), que são de 4 MPa, 5,5 MPa e 7 MPa.

2.1.2 Características e Influências no concreto

Weidmann (2008) diz que a escolha errada dos agregados pode provocar patologias no concreto. Para Weidman (2008), é importante ter conhecimento das propriedades e aplicações dos agregados que serão trabalhados, tentando sempre achar a melhor relação entre custo e benefício, devendo analisar o custo total do produto (concreto ou argamassa). Passa a ser necessário ter conhecimento sobre a influência dos agregados no concreto, descrita na Tabela 1 (WEIDMANN, 2008).

Valverde (2001) fala que, o uso de agregados inadequados, pode causar rápida deterioração do concreto de cimento portland quando exposto a condições de temperaturas severas. Os fabricantes de agregados para ser usado na construção civil, devem se preocupar com o controle de qualidade, de modo que o agregado cumpra com o propósito projetado, por exemplo, um prédio que foi projetado para durar 70 anos. Os agregados devem possuir certos aspectos necessários que são ditados pelos processos construtivos, devem ter propriedades que permitam ser manuseados de modo satisfatório durante: transporte e estocagem; mistura dos agregados com o ligante ou outros agregados; colocação da mistura e compactação ou cura da mistura (VALVERDE, 2001).

Tabela 1. Propriedades do concreto e suas influências

PROPRIEDADES DO CONCRETO	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DO AGREGADO
Resistência mecânica	Resistência mecânica e sanidade Textura superficial Limpeza Forma dos grãos Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade Forma dos grãos Textura superficial Limpeza Dimensão máxima
Módulo de elasticidade	Granulometria Módulo de elasticidade Coeficiente de poisson
Resistência à derrapagem	Tendência ao polimento (abrasão) Textura superficial
Economia	Forma dos grãos Textura superficial Granulometria Dimensão máxima Beneficiamento requerido Disponibilidade

Fonte: WEIDMAN(2008).

2.1.3 Traço Do Concreto

De acordo com Helene & Tutikian (2011), o traço do concreto é a melhor proporção entre os materiais constituintes do concreto (cimento, areia, brita e água) e é expressa em massa ou em volume. Algumas propriedades que devem ser consideradas ao buscar novos tipos de traço são: resistência mecânica do concreto, trabalhabilidade, durabilidade, deformabilidade e a sustentabilidade (HELENE; TUTIKIAN, 2011).

O traço do concreto pode variar em função da necessidade ou do material usado, em substituição ao agregado graúdo ou miúdo ou de adição de material mantendo o traço padrão.

No artigo de Modro et al. (2009), foi substituído os agregados em frações por PET, onde utilizaram o traço 1:0,5:2,0:2,0:0,5:0,65:0,01 (cimento, pedrisco, pó de

pedra, areia média, areia fina, água e aditivo plastificante, respectivamente) (MODRO et al., 2009).

Já Cardoso (2018), substituiu uma fração do agregado miúdo por borracha, foi utilizado o traço 1:2:3 (cimento, areia, brita, respectivamente). Outro trabalho com traço 1:2:3, porém, ao invés de substituir algum agregado, Silva (2018) adicionou até 15% de embalagem cartonada no concreto (CARDOSO, 2018; SILVA, 2018).

2.2 CIMENTO

O cimento teve origem no Egito, sendo utilizado nas pirâmides e era feito a base de gesso calcinado. Na Roma e Grécia antigas, o cimento era a base de hidratação de cinzas vulcânicas. Começou a ser pesquisado pelo inglês John Smeanton em 1756, na tentativa de achar um aglomerante para construção do farol de Eddystone. Em 1796, James Parker patenteou o cimento chamado de Cimento Romano (HELENE; ANDRADE, 2010).

Em 1824, Joseph Aspdin, desenvolveu o cimento. O processo constituía da queima do calcário e argila moída e misturada em altas temperaturas até a retirada do CO₂, sendo novamente moído (HELENE; ANDRADE, 2010).

No Brasil, a primeira fábrica de cimento foi a Portland Perus, em 1926 e em 1936 foi criada a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Apenas em 1957 foi ter uma concorrente com a inauguração da fábrica Cimento Santa Rita. Desde o princípio da fabricação de cimento no Brasil, com a evolução da tecnologia de produção e da evolução do próprio cimento, a produção de 200 ton./dia em 1936 saltou para 5.000 ton./dia e até 2013 já estava em mais de 70.000 ton/dia (SIQUEIRA, 2001).

Nos dias atuais, o cimento evoluiu a tal ponto, que é possível seu uso em plataformas petrolíferas até a arranha-céus a mais de 600 m de altura, graças a novas técnicas de produção do cimento, agregados e aditivos.

2.2.1 Cimento Portland

É um material com propriedades aglutinantes, que sobre ação da água, junta os agregados formando o concreto. Como nos agregados, tanto tamanho quanto a granulometria dos grãos, são fatores que devem ser considerados, pois tem influência na resistência inicial e final do concreto (SILVA; LIBORIO, 2005).

Atualmente, são produzidos onze tipos de cimento no Brasil, para as mais diversas finalidades, dependendo do produto final desejado (laje, revestimento, etc.) e de suas características (trabalhabilidade, resistência, durabilidade, etc.). São eles: CP-I, CP-I-S, CP-II (E, F, Z), CP-III, CP-IV, CP-V/ARI, RS, CP-BC e CP-B, existindo variações de aditivos. A Tabela 2 mostra a resistência e os aditivos para cada tipo de cimento e logo abaixo algumas características de cada cimento (ABCP, 2002).

Os CP-I e CP-I-S, são os tipos mais comuns com adição de gesso, porém o I-S, tem menor permeabilidade. O CP-II tem três derivações, que são CP-II-E (escória de alto-forno), CP-II-Z (pozolana) e de CP-II-F (filer). O primeiro (E), é utilizado em local que sofra com ataques por sulfatos, o segundo (Z), utilizado em obras marítimas e o último (F), tem maior aplicação, desde revestimento até pavimentos de concreto (ABCP, 2002).

O CP-III tem larga utilização, pode ser usado em barragens ou revestimento, por exemplo. Já o CP-IV, que tem adição de pozolana, tem maior durabilidade e impermeabilidade em relação ao CP comum (ABCP, 2002).

O CP-V, também pode ser encontrado na nomenclatura ARI (Alta Resistência Inicial), é parecido com o CP-I, se diferenciando pelo método de dosagem e produção do clínquer. Em apenas um dia já pode atingir 26 MPa de resistência, utilizado quando se precisa de desforma rápida. O CP-RS (Resistente a Sulfatos) é utilizado quando o concreto for destinado à meios sulfatados, por exemplo, rede de esgotos (ABCP, 2002).

O CP-BC (Baixo Calor de Hidratação), são os cimentos que apresentam baixa evolução do calor, o que evita fissuras. Por último, temos o CP-B (Cimento Portland Branco), que pode ser utilizado para fins arquitetônicos, mantendo as características estruturais dos outros tipos de cimentos e como cimento não estrutural, por exemplo, rejunte (ABCP, 2002).

O cimento Portland pode ser dividido de acordo com sua resistência, podendo ser de 25MPa, 32MPa e 40MPa. O primeiro era usado, principalmente, na indústria, hoje, só produzido sobre encomenda. O Quadro 1, mostra as especificidades físicas e mecânicas dos cimentos.

Quadro 1. Especificidades físicas e mecânicas do cimento Portland

Tipo de cimento portland	Classe	Finura		Tempo de pega		Expansabilidade		Resistência à compressão		
		Resíduos na peneira 75 mm (%)	Área específica(m ² /kg)	Início (h)	Fim (h)	A frio (mm)	A quente (mm)	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	91 dias (MPa)
CP I	25		≥240					≥15,0	≥25,0	
CP I-S	32	≤12,0	≥260	≥1	≤10	≤5	≤5	≥20,0	≥32,0	
	40	≤10,0	≥280					≥25,0	≥40,0	-
CP II-E	25		≥240					≥15,0	≥25,0	
CP II-Z	32	≤12,0	≥260	≥1	≤10	≤5	≤5	≥20,0	≥32,0	
CP II-F	40	≤10,0	≥280					≥25,0	≥40,0	-
CP III	25							≥15,0	≥25,0	≥32,0
	32			≥1	≤12	≤5	≤5	≥20,0	≥32,0	≥40,0
	40	≤8,0	-					≥23,0	≥40,0	≥48,0
CP IV	25			≥1	≤12	≤5	≤5	≥15,0	≥25,0	≥32,0
	32	≤8,0	-					≥20,0	≥32,0	≥40,0
CP V-ARI		≤6,0	≥300	≥1	≤10	≤5	≤5	≥34,0	-	-

Fonte: Adaptado de ABCP (2002)

Tabela 2. Resistência e os aditivos para cada tipo de cimento

Cimento	Resistência (MPa)			Aditivo		
	25	32	40	E	F	Z
CP-I	X					
CP-I-S	X					1-5%
CP-II	X	X	X	6-34%	6-10%	6-14%
CP-III	X	X	X	35-70%		
CP-IV	X	X				15-50%
CPV/ARI						
CP-RS	X	X	X			
CP-BC	X	X	X			
CP-B	X	X	X			

Fonte:Autor (2019)

2.3 AGREGADOS

Pelas definições da NBR 7211 (2009), agregados miúdos, são areia de origem natural ou britadas, cujos grãos passando por peneiras de 4,8 mm e retidas em peneira de 0,075 mm. Enquanto agregados graúdos, pedregulho ou brita proveniente de rocha estável, os grãos passam pela peneira de 152 mm e ficam retidas nas peneiras de 4,8 mm.

No início da elaboração do cimento, o agregado era adicionado com a mistura do cimento, areia e água, para deixar ele mais barato. Hoje em dia, o agregado ganhou mais importância, representando até oitenta por cento do peso e influenciando na retração, resistência e densidade, e a forma dos grãos podem ajudar em algumas características do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

O agregado miúdo é um material de relativa importância na fabricação do concreto, segundo mais utilizado, e pode ter influência direta nas características do concreto, por exemplo resistência à compressão ou trabalhabilidade (OLIVO et al., 2017).

Os agregados também podem ser naturais ou artificiais, sendo que, o segundo ganha esse nome por sofrer interferência do homem, que modifica o tamanho do grão de acordo com desejado. Por exemplo, areias extraídas de rios ou barrancos ou britamento de rochas, tais como calcário quartzito e arenito. Mas no Brasil, a brita tem uso predominante, por apresentar melhor resistência mecânica e durabilidade, sendo empregada em larga escala, o concreto com pedra britada retirada de granito ou basalto (OLIVEIRA, 2006; WEIDMANN, 2008; KAZMIERCZAK e ARNOLD, 2009).

Outro fator que define o agregado é quanto sua massa específica, onde se divide em leve (argila expandida, pedra-pomes, vermiculita), normais (pedras britadas, areia, seixos) e pesadas (hematita, magnetita, barita) (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Parte dos trabalhos em congressos ou eventos de construção civil, é dedicado para agregados graúdos, pois eles podem afetar o concreto, dependendo da sua qualidade. De acordo com Pompeu (2011), os agregados devem ter algumas características, tais como, ser resistentes, duráveis e com partículas livre de

substâncias ou camadas de argila. Antigamente, considerado material estático, através de estudos, foi dado importância como um dos principais responsáveis pelo desempenho do concreto (BORGES et al., 2017).

2.4 PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO – PCI

De acordo com Veit (2005), as primeiras pesquisas com sucatas PCI, ocorreram em 1969 pela U.S. Bureau Of Mines, agência do governo americano, onde realizava estudos para reaproveitamento das sucatas militares.

As PCI's de Fenolite (FR-2), eram feitas a base de resina fenólica, papel picado ou serragem de madeira. As PCI's de fibras (FR-4), são compostas por metais, cerâmicos e polímeros, podem ser ricas ou pobres, dependendo da quantidade e qualidade dos componentes e em quais equipamentos será utilizado (OTTONELLI, 2015).

O tipo das placas de circuito impresso pode variar da idade e da época produzida, contendo polímeros (30% em média), óxidos refratários (30% em média), metais base (40% em média) e metais preciosos, por volta de 1655 g/tonelada, 840 g/tonelada de ouro e 40 g/tonelada de paládio (VEIT, 2005).

São utilizados em todos aparelhos elétricos e eletrônicos, dependendo do uso e necessidade, pode ser feita de Fenolite (FR-2), fibra de vidro/resina epóxi (FR-4), fibra de vidro/teflon, poliimida ou poliéster. Dependendo do material utilizado, tem como vantagens, o custo baixo, boa resistência térmica, ou mecânica entre outros (ANDRADE, 2002; AMARAL, 2015).

2.5 CARACTERIZAÇÃO DE PCI

A PCI é feita a partir de um substrato (fenolite ou epóxi por exemplo), depois coberta com uma fina camada de lâmina de cobre, prata, níquel ou ligas à base de ouro e tem as trilhas (pistas ou filetes) que são feitas para a condução da eletricidade até os componentes que serão montados. As placas podem ser de face simples, face dupla ou multi face, Amaral (2015), ou pode ser chamada de multicamadas, de acordo com Esfandyari (2015), que acrescenta ainda placas rígidas e flexíveis (AMARAL, 2015; ESFANDYARI, 2015).

Amaral (2015), dá o exemplo de placa feita de fenolite (FR-2), que era feita à base de celulose, é mais barata, porém absorve umidade com facilidade, o que prejudica as características isolantes e facilita o empenamento (AMARAL, 2015).

Com a tecnologia muito avançada, os eletrônicos são programados para realizarem cada vez mais funções, o que exige deles projetos mais sofisticados. Naia (2014) diz que, os materiais utilizados para fazer a PCI, precisam suportar altas temperaturas, seja em função de um equipamento de uso muito específico ou por exemplo, o processador de um computador que demande alta velocidade. Deve ter baixa absorção de água de modo que não danifique os componentes e nem ocorra o surgimento de sais a fim de interromper a corrente elétrica, apresentar boa estabilidade dimensional, que devido à altas temperaturas e muitos pontos de solda por exemplo, pode gerar tensões ocorrendo trincas (NAIA, 2014).

Outro ponto destacado por Naia (2014) é a resistência à propagação de chamas, onde o substrato utilizado para fabricar a PCI, deve apresentar baixa inflamabilidade e alta resistência à propagação de chamas, isso porque durante a vida útil do equipamento, pode ocorrer um aumento de temperatura por curto-circuito, por não ter ventilação natural suficiente ou por causa da ventilação forçada não estar funcionando de acordo com o especificado (NAIA, 2014).

2.6 RECICLAGEM

Um dos maiores problemas que se encontra nas cidades é o acúmulo de lixo, que muitos autores passaram a chamar de resíduos sólidos urbanos (RSU). Mesmo após a lei 12.305/2010, muitas cidades não têm onde depositar o lixo corretamente ou um plano para tratar ou mesmo reciclar. Em um plano realizado na cidade de Goiânia-GO, onde houve adesão da população local e conscientização nas escolas, houve cinco pontos positivos para a cidade. No lado ambiental, econômico, social, cultural e educacional (MENEZES; OLIVEIRA; NASCIMENTO, 2017).

De acordo com Nalini (2008), vidro é um material 100% reciclável, que utiliza menos energia reciclando o próprio vidro do que fazer o material do zero, emitindo menos CO₂. Com uma tonelada de vidro reciclado, evita-se o uso de 1300 kg de areia já que, sua decomposição pode variar de 100 a 500 anos. No caso do papel,

outro material 100% reciclável, para cada tonelada reciclada são poupadas 20 árvores, e sua decomposição é mais rápida, variando de 1 a 3 meses.

Ainda de acordo com Nalini (2008), entre os metais, o mais conhecido por todos na reciclagem, o alumínio, utilizado em larga escala nas latas de refrigerante, é 100% reciclável. O processo de reciclar economiza até 95% da energia que seria gasta para se extrair alumínio da sua matéria-prima. Cada tonelada reciclada, é menos 5 toneladas do minério utilizada. O plástico, é muito utilizado como, sacolas de mercado, embalagens entre outros, é 100% reciclável, pode ter até quatro níveis de reciclagem, dependendo da pureza do material, porém, quando abandonado, leva até 450 anos para se decompor (NALINI, 2008).

Na Tabela 3 é apresentado alguns materiais e quanto tempo fica na natureza até sua total degradação. Na Figura 1, demonstra como é uma lixeira apropriada para o depósito de materiais recicláveis citados anteriormente (CULTURAMIX.COM, 2019).

Tabela 3. Tempo de degradação de alguns materiais

Material	Tempo de Degradação
Aço	Mais de 100 anos
Embalagens Longa Vida	Até 100 anos (alumínio)
Embalagens PET	Mais de 100 anos
Papel e Papelão	Cerca de 6 meses
Sacos e sacolas plásticas	Mais de 100 anos
Vidros	Indeterminado

Fonte: Adaptado de (SILVA E HIRAMA, 2009).

Figura 1. Lixeira para coleta de material reciclável



Fonte: RÁDIO E TELEVISÃO RECORD S.A, (2019)

2.6.1 Reciclagem de PCI

Antes da criação da Lei 12.305, pouco se sabia sobre lixo eletrônico, e as poucas leis existentes, por exemplo, a Resolução CONAMA 257/1999, dava enfoque em como tratar pilhas e baterias e a Resolução CONAMA 401/08, onde dá enfoque para o limites máximos de mercúrio, chumbo entre outros. De acordo com Del Grossi (2011), de 1999-2010, não era cobrado das empresas a responsabilidade de logística reversa, eliminando o REEE em locais impróprios (DEL GROSSI, 2011).

Quando se falava sobre responsabilidades compartilhadas, sobre aterros ou logística reversa, sempre se tratando de resíduo sólido urbano ou industrial, quase nunca se incluía o REEE na estatística.

De acordo com Veit (2005), um sistema de gerenciamento mais eficiente, locais pré-definidos para descarte, participação do governo entre outros, poderia ajudar a diminuir o volume de lixo eletrônico nas cidades. Porém, o processamento das placas, exigem processos mecânicos, químicos e térmicos, o que não existe no Brasil (VEIT, 2005).

De acordo com Ottonelli (2015), existem três etapas para reciclagem das PCI: pré-tratamento, onde ocorre a caracterização e a desmontagem de materiais danosos; a separação, por tamanho, densidade, características magnéticas e outros; ou por processo químico ou físico. Já na indústria, a tecnologia adotada para a

reciclagem das PCI, são métodos não térmicos e os métodos térmicos. Ottonelli (2015), afirma também, que, por ter uma diversidade, é difícil generalizar a composição REEE, que pode dividir-se em 5 classes: metais ferrosos, metais não-ferrosos, vidros plásticos e outros (OTTONELLI, 2015).

Premur (2016), detalha que a reciclagem passa pelo processo de degradação de tamanho, triagem, métodos de concentração eletrostática e magnética ou gravitacional e, depois, como complementação, pode passar por um ou mais processos: pirrometalúrgicos, pirolíticos, hidrometalúrgicos, vácuo-metalúrgicos ou biometalúrgicos (PREMUR, 2016).

Após a criação da lei 12.305, que se começou a ter mais conhecimento sobre o lixo eletrônico, chamando a atenção do público e da mídia, que passaram a dar mais importância a como tratar, onde tratar e o porquê não está sendo feito a logística reversa. Ainda assim, o sistema de reciclagem para lixo eletrônico é minúsculo, uma em SC e duas em SP, e muitas vezes, o lixo eletrônico é enviado para grandes centros europeus, onde a reciclagem está anos a frente do Brasil. A Tabela 4, mostra os componentes essenciais de uma PCI.

Tabela 4. Principais componentes da PCI

Componentes de uma PCI	Quantidades médias	
	Metais	Valores médios
Metais	Cu	14%
	Fe	6%
	Ni	2%
	Zn	2%
	Sn	2%
	Ag	0,30%
	Au	0,04%
	Pd	0,02%
Plástico		19,00%
Bromo		4,00%
Mat. Cerâmicos, vidros e óxidos		49,00%

Fonte: VEIT(2010)

Premur (2016), afirma que, assim como nas PCI'S existe metais valiosos, existe também compostos que utilizam, arsênio, chumbo, mercúrio, bromo entre outros. Por conter esses metais, que estão inclusos na proporção de 30% do peso

da placa, seria esse o maior motivo para reciclagem das PCI'S, os outros 70% ficaria entre plásticos, cerâmicas e fibras de vidro, que mesmo não tendo um valor comercial alto, deve ser reciclado por conter retardadores à base desses metais pesados. Não são indicados para exploração de valor calórico e não podem ser jogados em aterros(PREMUR, 2016).

2.7 LEIS AMBIENTAIS

Antes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a Lei nº 12.305 entrar em vigor no Brasil, de acordo com Brollo (2001), tiveram diversas iniciativas bem sucedidas, tais como POLÍTICA NACIONAL DO SANEAMENTO, em 1967, lei federal nº 5318 ou POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, em 1981, Lei federal nº 6938 (BROLLO, 2001). Também em 1981, foi criado Ministério de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente Em 1988, foi criada a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605) (PECCATIELLO, 2011).

Mesmo após a PNRS entrar em vigor, muitas cidades estão com suas Leis Orgânicas desatualizadas, por exemplo a Lei Orgânica do Município do Rio de Janeiro, onde faz menção à reciclagem, coleta ou transporte, para resíduos urbanos, patológicos entre outros ou implementar usinas de processamento ou reprocessamento. Já no município de Volta Redonda, não tem nada referente a resíduos sólidos (Lei Orgânica do município do Rio de Janeiro, 2010; Lei Orgânica do município de Volta Redonda, 1990). De acordo com Silva, Leite e Dechandt (2014), até 2014, nenhuma cidade dispunha de recursos técnicos e financeiros para investir em logística reversa (SILVA, LEITE, DECHANDT, 2014).

2.8 TIPOS DE PRODUTOS ELETROELETRÔNICOS

Os Equipamentos Eletro-Eletrônicos são separados em quatro classificações, que são: Linha verde, marrom, branca e azul, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Equipamentos Eletro-Eletrônicos

Linha	Verde	Marrom	Branca	Azul
Produto	- Desktops - Notebooks - Impressoras - Aparelhos Celulares	-Televisor tubo/monitor -Televisor plasma/LCD - DVD/VHS -Produtos de Áudio	- Geladeiras - Refrigeradores e congeladores - Fogões - Lava-roupas -Ar-condicionado	- Batedeiras - Liquidificadores - Ferro Elétrico -Furadeiras
Vida útil do produto	- Curta (2-5 anos)	-Média (5-13 anos)	-Longa (10-15 anos)	Longa(10-12 anos)
Porte do produto	- Pequeno porte (0,09 a 30 Kg)	- Médio porte (1 a 35 Kg)	-Grande porte (30 a 70 Kg)	- Pequeno (0,5 a 5 Kg)
Material de uso predominante	- Plástico e metais	- Plástico e vidro	- Metais	- Plástico

Fonte: Adaptado de ABDI(2013)

No relatório publicado em 2017 pela ABINEE, é possível observar a preocupação da entidade com relação ao meio ambiente, mesmo diante dos ótimos resultados de vendas do setor. A mineração é fundamental para o crescimento e produção dos EEE, porém, as empresas já demonstram preocupação com alguns materiais que sofrem com a escassez, casos do gálio, índio, ouro, cobre e outros. Devido a essa escassez, as empresas hoje, investem em novos projetos buscando a reinserção desses materiais na cadeia produtiva.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Foram utilizados PCI, coletado em lojas de informática e escolas da cidade de Volta Redonda, cimento, água, areia e brita fornecidos pelo Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

3.1.1 Cimento

Foi utilizado o cimento CP-III 40 RS de 40 MPa, embalagem de 50 kg da marca CSN, disponível no Laboratório do Unifoa. A Tabela 6 mostra as características físicas e composição do cimento.

Tabela 6. Características físicas e composição do cimento CPIII

TIPO DE CIMENTO	CLINQUER E GESSO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO-FOTNO	MATERIAL CARBONÁTICO
CP III	25 - 65%	35 - 70%	0 - 5 %

Principais características físicas do cimento CP III

TIPO DE CIMENTO	Classe	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO				FINURA Resíduo na Peneira 75 µm	TEMPO DE PEGA		EXPANSIBILIDADE	
		MPa 3 dias	MPa 7 dias	MPa 28 dias	MPa 91 dias		Início (horas)	Fim (horas)	À frio (mm)	À quente (mm)
CP III	40	≥ 12	≥ 23	≥ 40	≥ 48	≤ 8,0	≥ 1	≤ 12	≤ 5	≤ 5
	32	≥ 10	≥ 20	≥ 32	≥ 40					

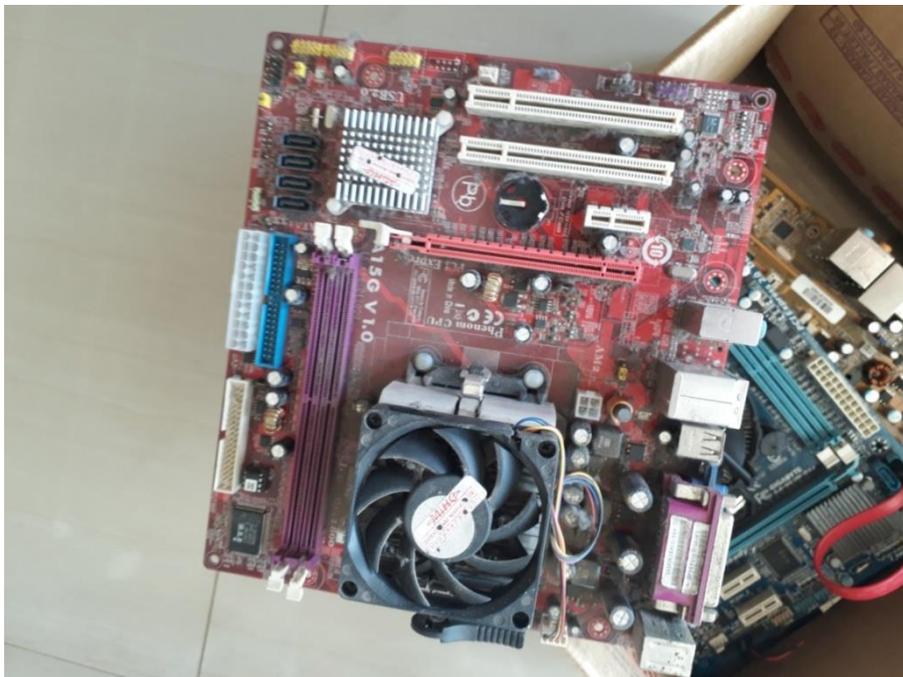
Fonte: CSN (2018)

3.1.2 Placas de Circuito Impresso

Com maior disponibilidade para descarte, as PCI's de computador (Figura 2) foram as mais coletadas para este trabalho, abrangendo algumas placas de televisores, geladeira, máquina de lavar e forno micro-ondas. As PCI's de computador foram fornecidas pela escola ICT/Fasf e Kadoshi Informatica,

localizados na cidade de Volta Redonda/RJ. As placas retiradas dos computadores são do tipo fibra de vidro/epóxi (FR-4).

Figura 2. Placa de circuito impresso



Fonte: AUTOR(2018)

3.1.3 Areia

Areia utilizada neste trabalho tem tamanho médio de 0,42 mm a 1,2 mm e foi gentilmente fornecida pelo UnilFOA, unidade de Três Poços.

3.1.4 Brita

A brita utilizada neste trabalho foi usada a brita 2 (\varnothing variando de 12,5 mm a 25 mm) e contendo na sua composição brita 1 (\varnothing variando de 4,8 mm a 12,5 mm) e foi gentilmente fornecida pelo UniFOA, unidade de Três Poços.

3.1.5 Água

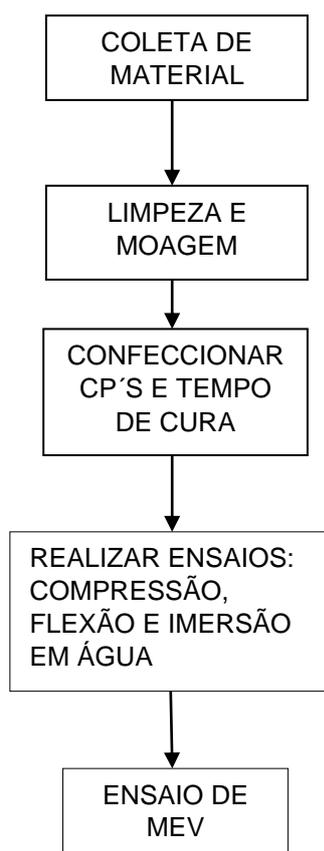
A água usada para a mistura é potável, fornecida pela rede de abastecimento do SAAE de Volta Redonda/RJ.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Aspectos gerais

O atual trabalho, irá analisar através da substituição de PCI, no agregado graúdo, a fim de manter suas características físicas semelhantes do cimento usado no corpo de prova de controle. Para checar, foram realizados ensaios de compressão, flexão e imersão em água. Serão utilizados quatro conjuntos de corpos de prova (três) para o teste de compressão em quatro idades distintas (7, 14, 21 e 28 dias) e quatro corpos de prova (dois) para o teste de flexão e imersão em água para idade de 28 dias. O fluxograma (Figura 3) detalha a estrutura da dissertação.

Figura 3. Fluxograma do trabalho



Fonte: AUTOR (2019).

3.2.2 Moagem das PCI

Na fase de retirada dos componentes, algumas peças plásticas estavam ressecadas, uma vez que estavam armazenadas há muito tempo, não sendo possível a extração completa. Os pontos de solda na placa não foram removidos por não ter máquina para retirar.

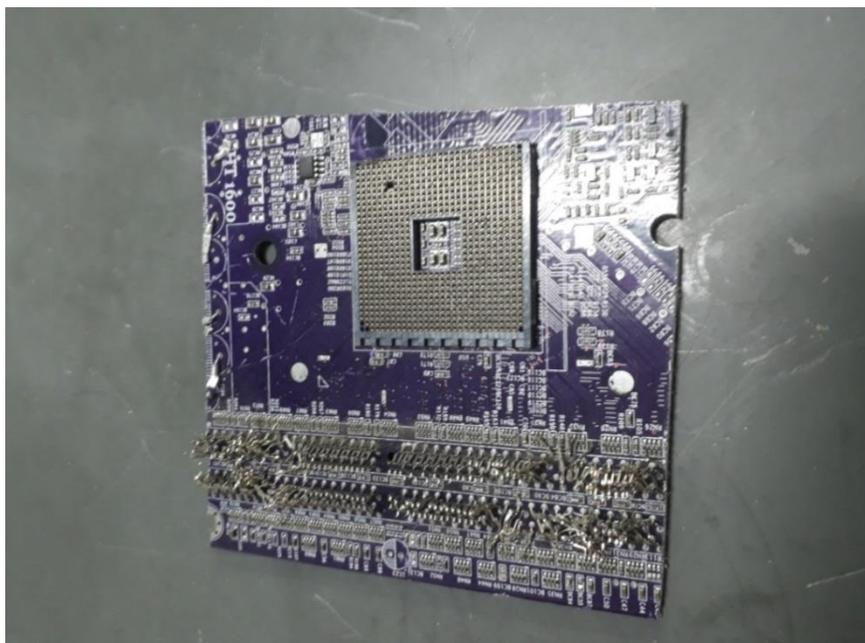
Para poder aproveitar o máximo de placas e não gerar mais resíduos, foi incluso as partes plásticas e metais restantes no momento de passar pelo moinho de facas, marca Plastimax, modelo PM 200 (Figura 4) no Laboratório do UniFOA. As Figuras 5 e 6 apresentam alguns componentes não retirados e que foram inclusos na hora de confeccionar os CP's.

Figura 4. Moinho de facas, Laboratório UNIFOA



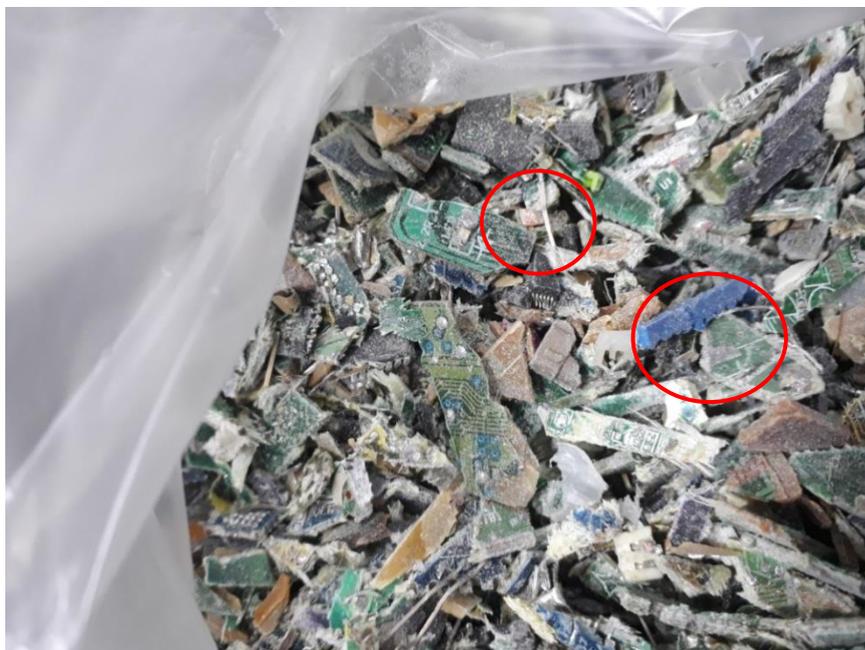
Fonte: AUTOR (2018).

Figura 5.Componente não extraído



Fonte: AUTOR, 2018.

Figura 6. Componentes misturados na placa, plástico e metais não extraídos em destaque



Fonte: AUTOR(2018).

3.2.3 Análise Granulométrica

O objetivo deste teste, tem como finalidade obter o tamanho granulométrico médio e assim, garantir que estarão de acordo com a norma NBR NM 248 (2003),

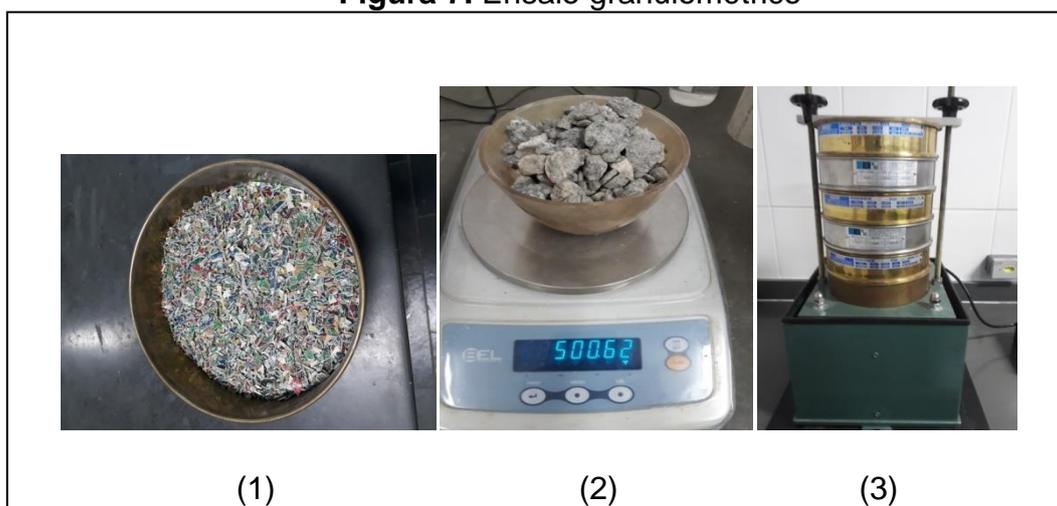
que determinam que o tamanho da partícula deve ser de 4,8 mm a 0,075 mm no caso da areia e de 100,0 mm a 4,8 mm no caso da brita. Esta análise foi realizada no Laboratório do UniFOA, unidade de Três Poços.

Foi realizado os seguintes procedimentos:

- 1- O material foi separado no peso conforme a norma, exceção da brita, pois a peneira não comportou o volume, então foi usado 500 g ;
- 2- Foi pesado os materiais na balança marca Bel, modelo Mark 5200 capacidade máxima de 5,2 kg utilizando apenas 500 g de cada material;
- 3- Por fim, já com as peneiras montadas no agitador de peneiras Solotest Lab1000, foi depositado o material na peneira (25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 850 μm , 600 μm , 425 μm , 300 μm e 150 μm), e ficou pelo tempo de 10 minutos, a uma frequência máxima de 15 Hz para cada material.

Na Figura 7, detalha a ordem utilizada na análise da granulometria dos materiais. Primeiro, (1) houve a separação do material, (2) logo em seguida houve a pesagem do material e por último (3), as peneiras no agitador de peneiras para separar o material de acordo com a sua granulometria.

Figura 7. Ensaio granulométrico



Fonte: AUTOR, 2018

3.2.4 Preparação dos corpos de prova

Para a preparação dos corpos de prova, foi utilizado o Laboratório do UniFOA, unidade de Três Poços e foi usado o traço 1:2:3, na ordem, cimento, areia, brita e a água sendo adicionada de acordo com a necessidade. A quantidade de corpos de prova e a proporção para cada mistura foi evidenciada nas tabelas 7 e 8.

Para os corpos de prova padrão, foram usados 7 litros de cimento, 14 litros de areia, 21 litros de brita (1 e 2) e foi misturado na betoneira Marca Menegotti, de 150 litros e modelo Premium e a água foi sendo acrescida de acordo com a necessidade. Para os CP's que foram usados PCI, foi substituído a Brita em (10, 20 e 30%). Os CP's utilizados para o ensaio de resistência à compressão, foram rompidos com 7, 14, 21 e 28 dias, para os CP's utilizados para Imersão em Água e Tração na Flexão, foram ensaiados após 28 dias de idade.

As formas utilizadas para confecção dos CP's, são de metal, lisas, revestidas com uma fina camada de óleo e com dispositivos de abertura facilitando na hora de moldar, com dimensão de 10 x 20 cm. Os CP's foram preenchidos em duas etapas, sendo que, entre elas, desferindo 12 golpes com uma haste para melhor compactar o concreto no molde e utilizando uma colher de pedreiro para o último acabamento, conforme a NBR 5738 (2003) recomenda. Na Figura 8, demonstra os CP's.

Para a confecção dos CP's do ensaio de flexão houve uma diferença na hora de fazer o concreto, que foi feito manualmente, devido ao pequeno volume necessário para preencher os moldes de madeira naval, cujas medidas são de 350 mm x 100 mm x 100 mm. Neste caso, foi feito apenas dois CP's por conjunto, sendo estes usados apenas na idade de 28 dias. A quantidade de material usada em cada proporção está na Tabela 9. Na Figura 9 mostra os CP's em produção. Os CP's foram preenchidos em duas etapas, sendo que, entre elas, desferindo 12 golpes com uma haste para melhor compactar o concreto no molde e utilizando uma colher de pedreiro para o último acabamento, conforme a NBR 5738 (2003) recomenda.

Após a moldagem dos CP's, deve-se esperar 24 horas e 48 horas em temperatura ambiente, para corpo-de-prova cilíndrico e para corpo-de-prova prismático respectivamente, para ser desmoldados e assim ser identificados baseado no item 8.2.2 da NBR 5738 (2003). Após identificação, os corpos de prova

ficaram imersos em um tanque com água a temperatura de $(23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C})$ até o dia do ensaio de cada idade (7, 14, 21 e 28 dias) no teste de compressão e para o ensaio de flexão apenas na idade de 28 dias.

Tabela 7. Confecção dos corpos de prova

Confecção do corpo de prova						
Ensaio	Formado do corpo de prova	Concreto Puro	10%	20%	30%	Norma
Resistência à tração na flexão	Prismático	2	2	2	2	NBR 5738/2003
Resistência À compressão	Cilíndrico	12	12	12	12	NBR 5738/2003
Imersão em água	Cilíndrico	2	2	2	2	NBR 9778/2009

Fonte: AUTOR, (2018).

Tabela 8. Proporção de material usado para cada porcentagem de CP para resistência à compressão e imersão em água

%	Material (litros)					
	Areia	Água	Brita 1	PCI	Cimento	Data
0	14	4	21	-	7	07/03/2019
10	14	4	18,9	2,1	7	24/10/2018
20	14	3,9	16,8	4,2	7	18/09/2018
30	14	4,2	14,7	6,3	7	07/03/2019

Fonte: AUTOR, (2018).

Figura 8. Corpo de prova, 20% de PCI



Fonte: AUTOR, (2018).

Tabela 9. Proporção de material usado para cada porcentagem de CP para de ensaio de flexão

%	Material (litros)					Data
	Areia	Água	Brita	PCI	Cimento	
0	4,0	1,0	6,0	-	2,0	28/03/2019
10	4,0	1,0	5,4	0,6	2,0	28/03/2019
20	4,0	1,0	4,8	1,2	2,0	28/03/2019
30	4,0	1,0	4,2	1,8	2,0	28/03/2019

Fonte: AUTOR, (2019).

Figura 9. Corpos de prova para ensaio de flexão

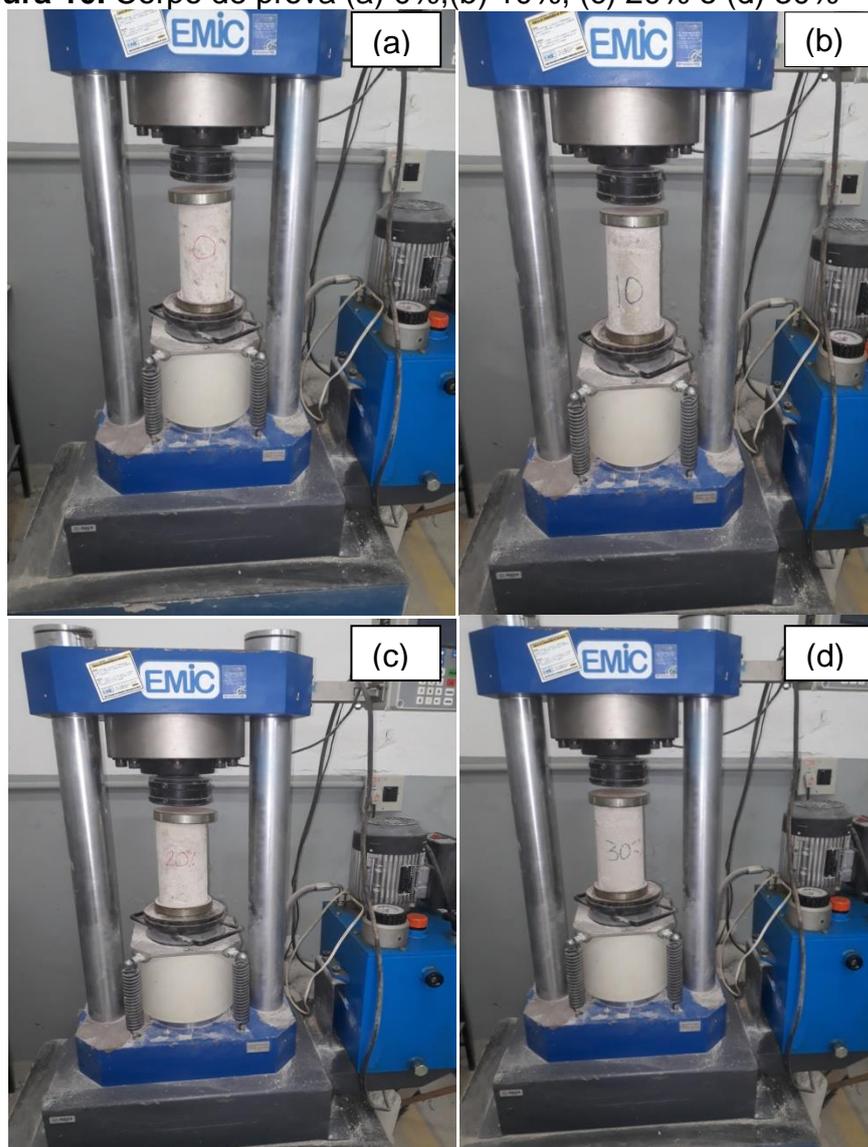


Fonte: AUTOR, (2019).

3.2.5 Ensaio de Resistência à compressão

Realizou-se os ensaios de compressão no Laboratório do UniFOA, com base na NBR 5739 (2007). Utilizando a prensa EMIC, modelo PC 150C, com capacidade máxima de 100 MPa e célula de carga de 15.000 toneladas, com base de neoprene tanto em cima como embaixo do corpo de prova, para se obter uma melhor distribuição de carga no CP até se romper, utilizando sempre como taxa de carregamento de 0,7 MPa/s. Na norma NBR 5739 (2007), recomenda velocidade de carregamento entre 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s. Foi realizado o mesmo procedimento para os três CP's das 4 composições diferentes (padrão, 10%, 20% e 30%), conforme Figura10 (a, b, c, d).

Figura 10. Corpo de prova (a) 0%, (b) 10%, (c) 20% e (d) 30%



Fonte: AUTOR, (2018).

A fórmula da tensão de ruptura é dada pela equação 2

$$Fck = \left(\frac{F}{A}\right) \times 10 \quad (2)$$

Onde:

Fck = Tensão de ruptura (MPa)

F = Força aplicada (kN)

A = Área da seção (cm²)

3.2.6 Ensaio de Resistência à tração na flexão

O ensaio de tração na flexão pode ser utilizado para muitos fins, sendo um dos mais utilizados para testar a capacidade de pisos ou vigas por exemplo. Neste trabalho foram confeccionados corpos de prova prismáticos nas dimensões de 100 mm x 100 mm x 350 mm, apoiado nas extremidades, com duas cargas concentradas nos terços dos vãos (Figura 11) conforme (NBR 12142, 2010).

O ensaio foi realizado no Laboratório do UniFOA, com base na NBR 12142 (2010), foi utilizado a prensa EMIC, modelo PC150, com capacidade máxima de 100 MPa e célula de carga de 15.000 toneladas. A taxa de carregamento estipulado pela norma NBR 12142 (2010), fica entre o intervalo de 0,9 MPa/s a 1,2 MPa/s. Para este ensaio, optou-se por usar a taxa mais baixa, de 0,9 MPa/s. Foram feitas as marcações, na parte inferior do corpo de prova, onde foi apoiado nas extremidades. Depois foi feito as marcações centrais, onde foi aplicado a força, conforme figura a seguir. O mesmo procedimento foi feito para os 2 CPs dos 4 conjuntos. Para os CP's curados submersos em água ou em câmara úmida, a realização do ensaio deve ser feito imediatamente, após retirados do local de cura. Caso não seja possível realizar o ensaio imediatamente, os corpos de prova devem ser cobertos com pano úmido até o momento do ensaio.

A norma estabelece que, se durante o ensaio o rompimento ocorra no terço médio do cp, deve ser utilizado a equação 3.

$$F_{rt} = \frac{(F * l)}{(b * d^2)} \quad (3)$$

Onde:

F_{rt} é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em Newton (N);

l é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Se, durante o ensaio, a ruptura não for no terço médio, a uma distância que não seja superior a 5% de l , usar a equação 4 para determinar resistência à tração na flexão:

$$F_{rt} = \frac{(3 \cdot F \cdot a)}{(b \cdot d^2)} \quad (4)$$

Onde:

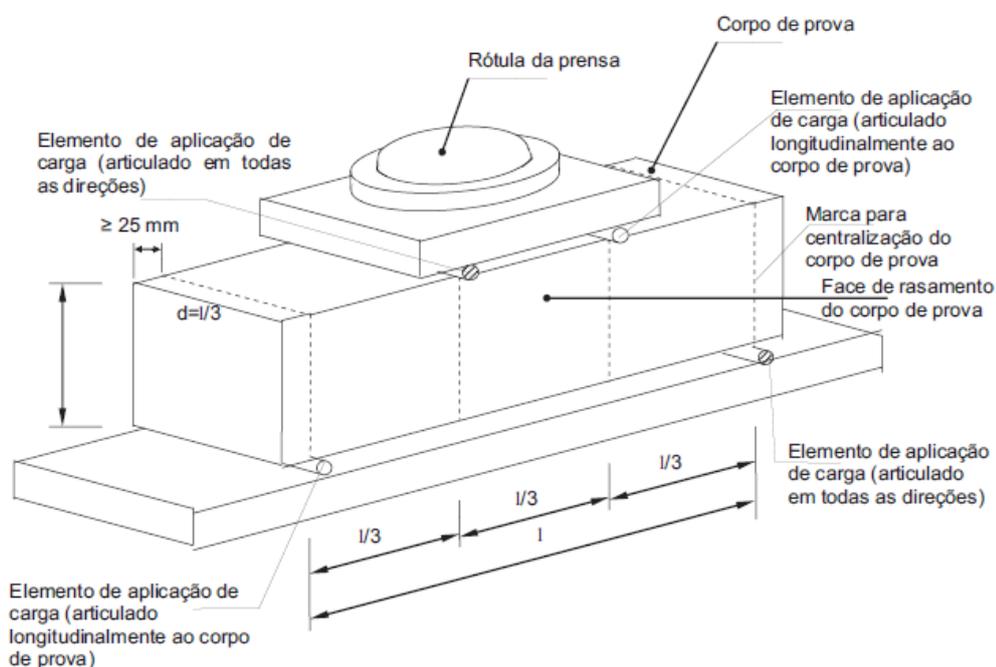
F_{rt} é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em Newton (N);

a é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

Figura 11. Esquema para realização do ensaio



FONTE: NBR 12142,(2010)

A Figura 12 apresenta o corpo de prova com 20% de PCI, onde foi verificado o rompimento no terço médio.

Figura 12. Corpo de prova rompido no terço médio



Fonte:AUTOR, (2019).

3.2.7 Absorção de água e Índice de vazio

O ensaio de absorção de água e índice de vazio, foi baseado na NBR NM 45 (2006). Foram utilizados dois corpos de prova para cada composição (10%, 20% 30%) e dois para controle. Para realizar os ensaios foram adotados os passos seguintes:

1 - Secagem das amostras ocorreu na estufa da marca Odontobrás modelo EL - 1,5, em uma temperatura mantida a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, pelo tempo de 72 h e em seguida realizou-se a pesagem de cada amostra seca na balança de precisão, marca Welmy modelo BCW 6/15/30.

2 - Nessa etapa, ocorreu a saturação das amostras em um recipiente com água, a uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, pelo período de 72 h, ficando 4 h com 1/3 do seu volume imerso e depois mais 4 h com 2/3 imerso. Após isso, estar completamente imerso pelas 64 h restantes, conforme figura 13.

3 - Realizar a pesagem das amostras saturadas, imersa em água a 23°C , obtendo seu peso.

Figura 13. Amostra de 10% imersa



Fonte: AUTOR, (2018).

Para determinar os valores finais dos ensaios de absorção de água e índice de vazio, são utilizadas as equações 5 e 6, respectivamente:

$$A_{ag} = \left[\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right] \times 100 \quad (5)$$

$$I_v = \left[\frac{(M_{sat} - M_s)}{(M_{sat} - M_i)} \right] \times 100 \quad (6)$$

Onde,

M_s = Massa da amostra seca em estufa (g)

M_i = Massa da amostra saturada, imersa em água (g)

M_{sat} = Massa da amostra saturada em água a temperatura de 23 °C (g)

I_v = Índice de vazio

A_{ag} = Índice de absorção de água

3.2.8 Análise no MEV

O MEV utilizado foi da marca HITACHI modelo TM 3000, com detector de elétrons secundários e tensão do tubo de 15kV, o equipamento está localizado no Laboratório do UniFOA. Podendo fazer ampliações de até 30000X, é essencial para observar sobre as características físicas e morfológicas das amostras.

Para este trabalho foram utilizados aumentos de 50X, 100X, 500X, 1000X e 1500X com tensão do tubo de 15kV. As imagens foram feitas de amostras retiradas dos cps do ensaio de flexão, na região da fratura e próxima a superfície.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 GRANULOMETRIA

4.1.1 Areia

Os valores apresentados na tabela 10, são referentes a média de 3 testes de granulometria para areia, com peso de 500 g cada. Durante o processo, houve perda de material, como pode ser visto na coluna material e percentual acumulado, que foi de aproximadamente 1,31%. Com acúmulo de 84% do material testado ficou na faixa de 0,85 mm a 0,60 mm, baseado na NBR NM 248, (2003), a areia é caracterizada como sendo areia média.

Tabela 10. Análise granulométrica da areia

Malha	Peneira	Peneira + Material	Material	Percentual	Percentual acumulado
4,75 mm	439,00 g	439,00 g	-	-	-
2,36 mm	390,02 g	392,06 g	2,04 g	0,00%	0,00%
0,85 mm	387,68 g	645,08 g	257,40 g	51,48%	51,48%
0,60mm	333,97 g	500,61 g	166,64 g	33,33%	84,81%
0,43 mm	363,08 g	407,09 g	44,01 g	8,80%	93,61%
0,30 mm	348,21 g	364,20 g	15,99 g	3,20%	96,81%
0,15 mm	347,85 g	357,25 g	9,4 g	1,88%	98,69%
Fundo	397,62	398,37	0,75 g	0,00%	98,69%

Fonte: AUTOR, (2019).

4.1.2 Brita

Como já foi dito antes, no caso da brita, foi utilizado também 500 g para os 3 testes de granulometria, devido a peneira não suportar o volume necessário para o teste como exige a norma. Pela Tabela 11, pode se verificar que mais de 86% do material se concentra entre 12,5 mm a 19 mm, o que caracteriza a brita como brita 2.

Tabela 11. Análise granulométrica da brita

Malha	Peneira	Peneira + Material	Material	Percentual	Percentual acumulado
25 mm	414,57 g	-	-	-	-
19 mm	395,78 g	526,93 g	131,19 g	26,24%	26,24%
12,5 mm	432,57 g	734,11 g	301,54 g	60,31%	86,55%
9,50 mm	405,74 g	441,04 g	35,30 g	7,06%	93,61%

Tabela 11. Análise granulométrica da brita

6,30 mm	411,84 g	429,67 g	17,83 g	3,57%	97,17%
4,75 mm	571,47 g	583,34 g	11,87 g	2,37%	99,55%
2,36 mm	392,92 g	393,86 g	0,94 g	0,19%	99,73%
Fundo	410,51 g	410,51 g	0,31 g	0,06%	99,80%

4.1.3 Placa de Circuito Impresso

Os testes realizados para o PCI foram para observar em que faixa tem maior concentração, sendo que não tem normatização específica para este caso. Foi feito então a mesma metodologia usada nos outros casos, de fazer 3 ensaios e tirar a média, conforme tabela 12.

A maior concentração está na faixa de 4,75 mm a 6,3 mm. Pela norma NBR NM 248, (2003), seria qualificado como pedregulho pequeno.

Tabela 12. Análise granulométrica do PCI

Malha	Peneira	Peneira + Material	Material	Percentual	Percentual acumulado
19,00 mm	414,57 g	-	-	-	-
12,50 mm	395,78 g	-	-	-	-
9,50 mm	405,69 g	410,32 g	4,63 g	0,93 %	0,93 %
6,30 mm	411,79 g	486,25 g	74,46 g	14,89%	15,82%
4,75 mm	547,55 g	671,08 g	323,53 g	64,71 %	80,52%
2,36 mm	392,88 g	458,86 g	65,95 g	13,19%	93,71%
0,85 mm	387,57 g	394,66 g	7,09 g	1,42 %	95,13%
Fundo	410,43 g	410,58g	0,13 g	0,03 %	95,16%

Fonte: AUTOR, 2019

4.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados apresentados nas Tabelas (13, 14, 15 e 16) e nas Figuras (14, 15, 16 e 17), foi separado de acordo com a idade do corpo de prova ensaiado (7, 14, 21 e 28 dias) e tendo como parâmetro, os corpos de prova padrão.

4.2.1 Resultados para sete dias

Foi possível observar, que a partir do corpo de prova padrão, a amostra contendo 20% de PCI, teve uma perda de apenas 8,63% de resistência em relação a amostra padrão, ficando com 15,49 MPa de média. As amostras de 10% e 30%,

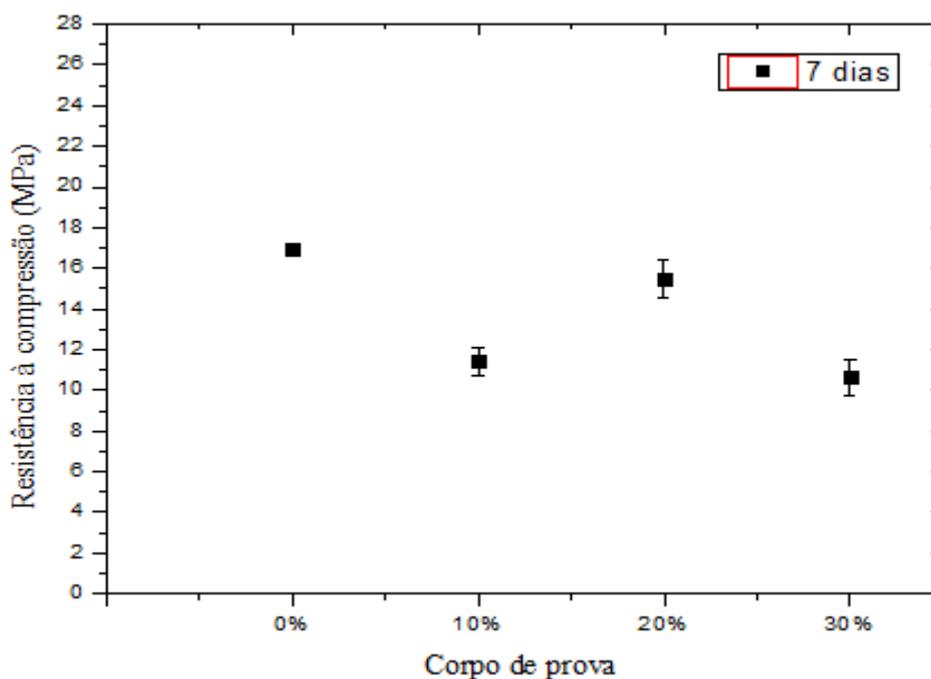
com médias de 11,44 MPa e 10,65 MPa, respectivamente, tiveram uma perda de 32,54% e 37,16% de resistência em relação a amostra padrão. A Tabela 13, mostra o resultado de cada corpo de prova ensaiado, na idade de 7 dias. A Figura 14, mostra o resultado médio de cada composição para idade de 7 dias. Resultados obtidos nesse estudo, são semelhantes aos obtidos por Nagajothi e Kala (2015), mesmo tendo utilizado o PCI no lugar da areia.

Tabela 13. Resultados do ensaio de compressão para sete dias

7 dias					
%	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0	16,92	16,77	17,17	16,95	0,20
10	11,13	12,21	10,97	11,44	0,67
20	15,33	16,48	14,66	15,49	0,92
30	11,43	9,67	10,86	10,65	0,89

Fonte: AUTOR, (2019).

Figura 14. Resultado do ensaio de compressão com sete dias



Fonte: AUTOR, (2019).

4.2.2 Resultado para 14 dias

Em relação a amostra padrão de 7 dias, a amostra de 14 dias teve um ganho de 15,7% na resistência à compressão, passando para 20,11 MPa de média. Para

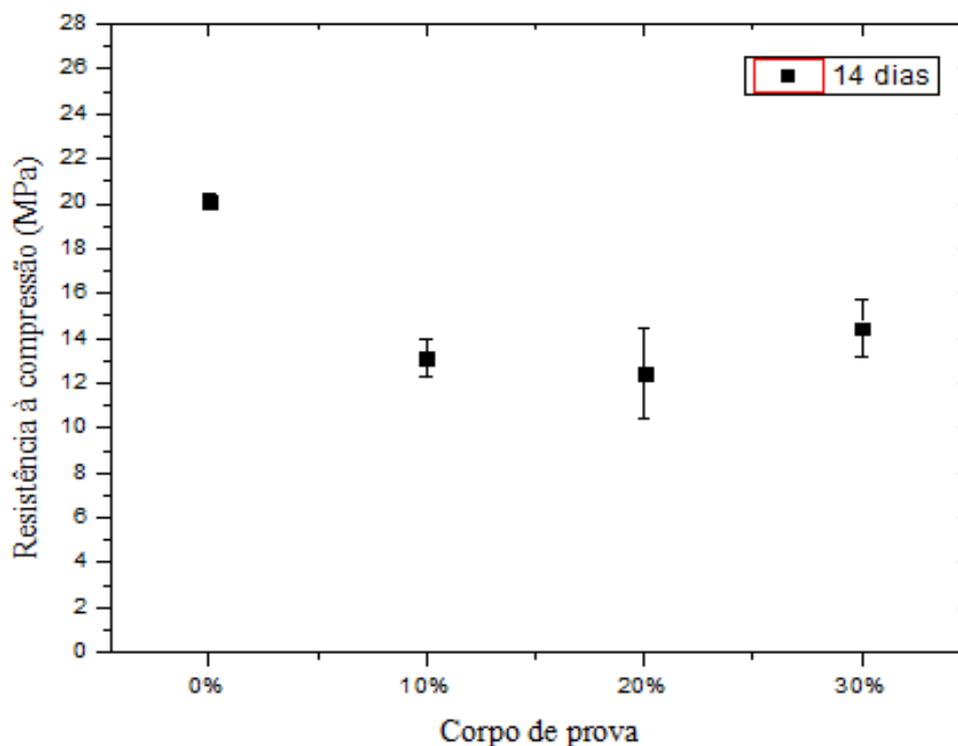
amostra com 10% de PCI, se manteve estável em relação a padrão, com perda de 34,75% de tensão, enquanto a de 30% houve uma ligeira melhora, subindo para 28,1%. Porém, a amostra de 20%, teve uma perda considerável de 38% da tensão em relação ao corpo de prova padrão. Uma hipótese, pode ter acontecido por conta do formato e tamanho das partículas do PCI, como citado por Ferrari et al., (2018). Outra hipótese, pode ter sido por conta de nesse conjunto de CPS, ter mais cimento ou areia por exemplo (PARAGUASSU, 2017). A Tabela 14, mostra o resultado de cada corpo de prova ensaiado, na idade de 14 dias. A figura 15, mostra o resultado médio de cada composição para idade de 14 dias.

Tabela 14. Resultados do ensaio de compressão para 14 dias

14 dias					
%	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0	20,44	19,88	20,02	20,11	0,29
10	12,14	13,62	13,61	13,12	0,85
20	10,98	14,8	11,58	12,45	2,05
30	13,19	15,77	14,38	14,45	1,29

Fonte:AUTOR, (2019).

Figura 15. Resultado do ensaio de compressão com 14 dias

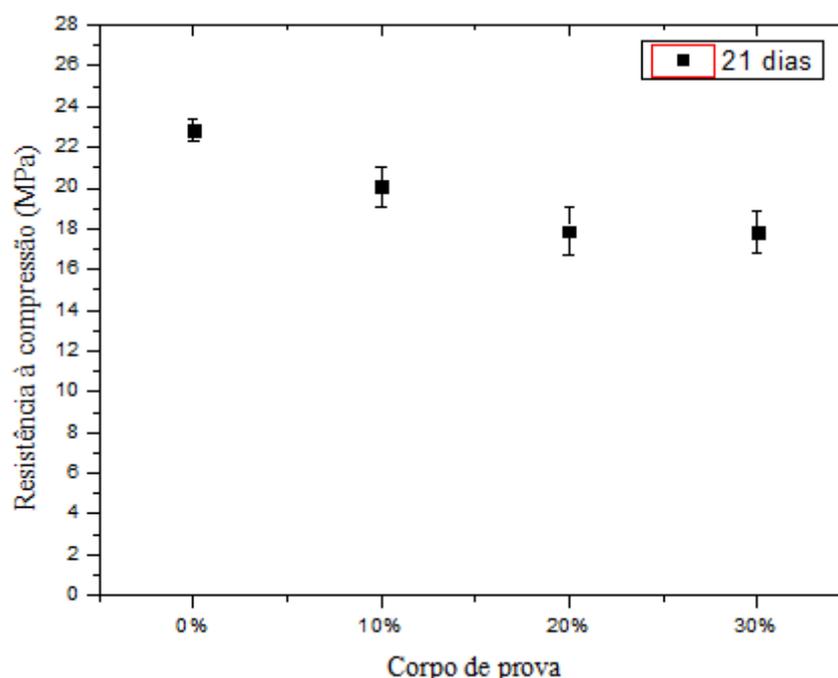


Fonte: AUTOR, 2019

4.2.3 Resultado para 21 dias

Para as amostras de 21 dias, a amostra padrão teve um aumento de aproximadamente 12% em relação a amostra de 14 dias, atingindo 22,85 MPa de média. As amostra de 10%, 20% e 30% tiveram aumento de 34,67%, 30,36% e 19,15% respectivamente em relação as amostras de 14 dias, atingindo 20,09 MPa, 17,88 MPa e 17,87 MPa respectivamente. Destaque para as amostras de 20% e 30% por apresentarem praticamente a mesma resistência à compressão e à amostra de 10% de PCI com a diferença média de apenas 12,08% em relação a amostra padrão. A Tabela 15, mostra o resultado de cada corpo de prova ensaiado, na idade de 21 dias. A Figura 16, mostra o resultado médio de cada composição para idade de 21 dias. Resultados obtidos nesse estudo, são semelhantes aos obtidos por Nagajothi e Kala (2015), mesmo tendo utilizado o PCI no lugar da areia.

Figura 16. Resultado do ensaio de compressão com 21 dias



Fonte: AUTOR, (2019).

Tabela 15. Resultados do ensaio de compressão para 21 dias

21 dias					
%	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0	23,45	22,77	22,33	22,85	0,56
10	20,5	18,98	20,79	20,09	0,97
20	17,23	19,21	17,21	17,88	1,14
30	16,88	18,92	17,81	17,87	1,02

Fonte: AUTOR, (2019).

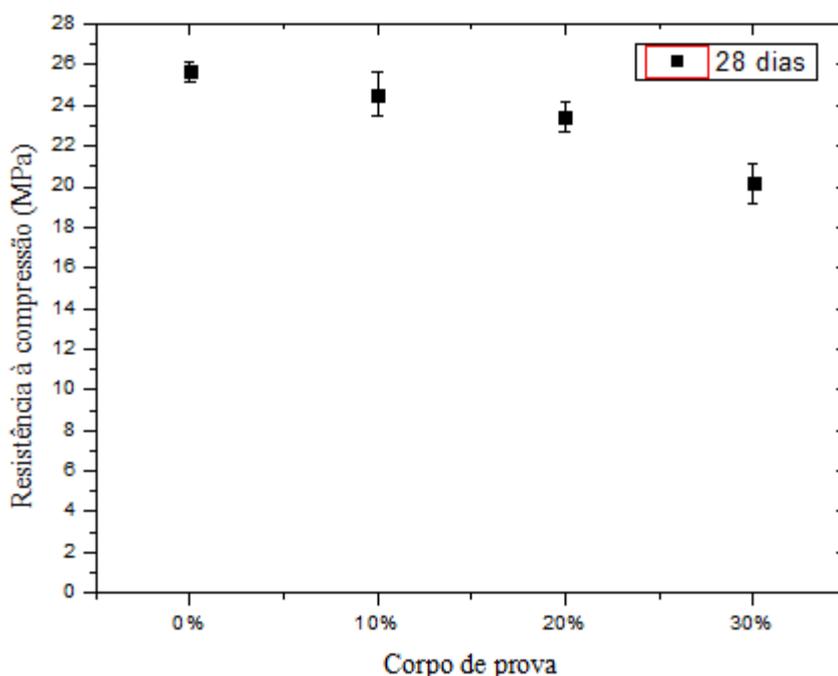
4.2.4 Resultado para 28 dias

A amostra padrão atingiu a média de 25,67 MPa, o que equivale a 10,97% a mais que o cp de 21 dias, enquanto os cps de 10% e 20% demonstraram valores bem próximos da amostra padrão, com média de 24,53 MPa e 23,45 MPa respectivamente, superando expectativas. A amostra de 30% de pci teve uma boa performance, atingindo 78,66% do valor padrão, o que equivale a média de 20,19 MPa. A tabela 16, exhibe o resultado dos corpos de prova ensaiados, na idade de 28 dias. A figura 17, mostra o resultado médio de cada composição para idade de 28 dias. Resultados obtidos nesse estudo, são semelhantes aos obtidos por Nagajothi e Kala (2015), mesmo tendo utilizado o PCI no lugar da areia.

Tabela 16. Resultados do ensaio de compressão para 28 dias

28 dias					
%	CP1 (MPa)	CP2 (MPa)	CP3 (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0	25,17	26,11	25,72	25,67	0,47
10	23,88	23,94	25,77	24,53	1,07
20	23,17	24,32	22,87	23,45	0,76
30	19,12	20,44	21,01	20,19	0,96

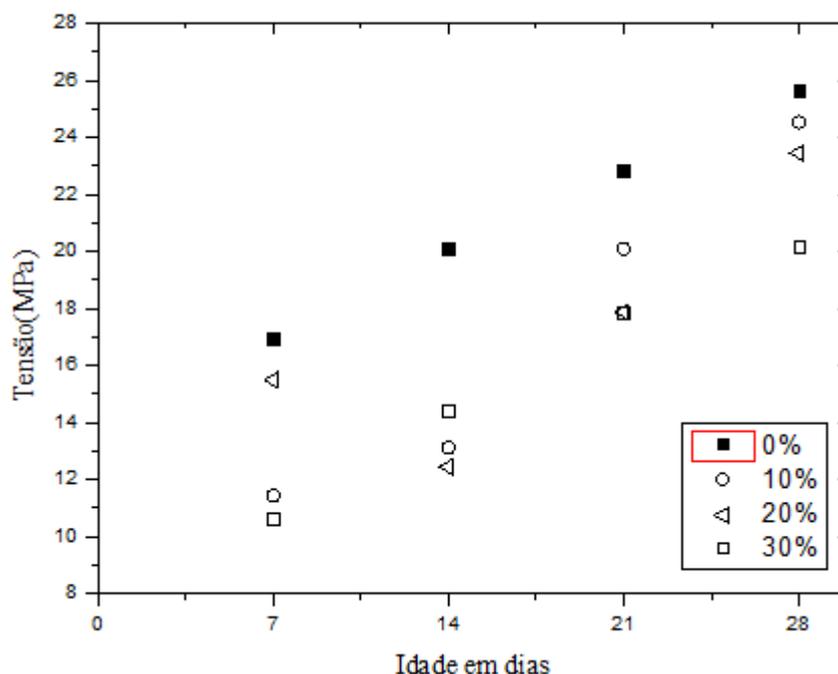
Fonte: AUTOR, (2019)

Figura 17. Resultado do ensaio de compressão com 28 dias

Fonte:AUTOR, (2019)

4.2.5 Tensão (MPa) x Idade dos cps

A Figura 18 mostra um comparativo com todas as composições, expressas em dias, em relação a tensão. Pode-se destacar, a composição de 10% de PCI, que aos 28 dias atingiu o equivalente a 95% da tensão total da amostra padrão e a composição de 20% que atingiu 91,3% da tensão total. (OLOFINNADE; EDE; NDAMBUKI, 2017; THORNEYCROFT; ORR; SAVOIKAR; BALL, 2017), dizem que, tanto a forma e tamanho das partículas do PCI, assim como a superfície mais lisa do PCI podem ser a explicação para a perda de resistência. (THORNEYCROFT; ORR; SAVOIKAR; BALL, 2018), complementa falando que as PCI's podem agir como defeito na estrutura interna do concreto. (WANG; ADAWAY, 2015), diz que quanto menor o tamanho das partículas melhor seria a interação entre pasta e da PCI.

Figura 18. Evolução da Tensão (MPa) x Dias

Fonte:AUTOR, (2019)

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

Ensaio muito utilizado para verificar, por exemplo, os efeitos que o concreto sofrerá ao ser usado como piso ou viga. Pela literatura, esse ensaio resiste em média até 10% do valor da resistência à compressão.

Na Tabela 17, foi possível observar que, para o cimento com 30% de PCI ocorreu um aumento de resistência à tração na flexão, ficando fora da faixa esperada para este tipo de ensaio. Após pesquisas na literatura, foi levantada a hipótese para essa inesperada melhora, o fator água/cimento e uma mistura mais homogênea dos materiais (ANNA, 2013).

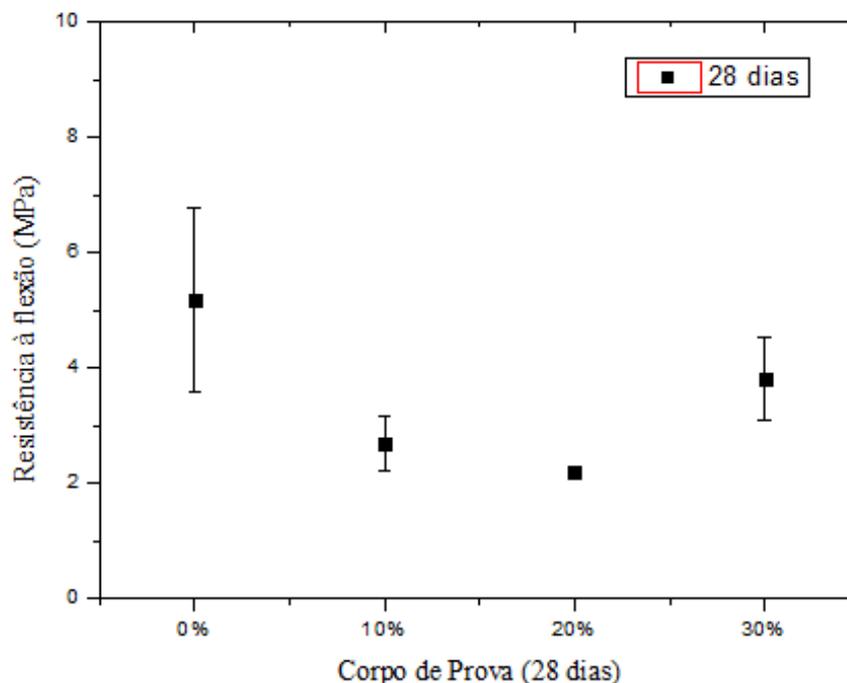
Em outra hipótese, o que pode ter acontecido, foi que o concreto absorveu a propriedades/característica da PCI, que tem boa resistência a flexão na tração (MAGNAGO, 2014; ANNA, 2013). Outra hipótese levantada na literatura por (OLOFINNADE; EDE; NDAMBUKI, 2017), diz que a força de ligação entre cimento e PCI são fracas, o que provoca a perda de resistência. Os valores semelhantes aos encontrados por Alagusankareswari, 2016 (ALAGUSANKARESWARI et al., 2016).

Tabela 17. Resultados do ensaio de tração na flexão para 28 dias

Corpo de prova prismático 10 x 10 x35 (cm)			Idade:	28 dias
Corpo de prova	Ruptura (kN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio padrão
0%	CP1	20,01	Meio	1,59
	CP2	12,62	Meio	
		Média	5,19	
Corpo de prova	Ruptura (kN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio padrão
10%	CP1	9,64	Meio	0,47
	CP2	7,20	Meio	
		Média	2,70	
Corpo de prova	Ruptura (kN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio padrão
20%	CP1	6,57	Meio	0,11
	CP2	6,90	Meio	
		Média	2,19	
Corpo de prova	Ruptura (kN)	Terço de Ruptura (mm)	Tensão (MPa)	Desvio padrão
30%	CP1	10,87	Meio	0,73
	CP2	13,70	Meio	
		Média	3,81	

Fonte: AUTOR, (2019).

Observando a Figura 19, percebe-se que devido a substituição de uma porcentagem de PCI em relação a amostra padrão, tem uma queda esperada de tensão, porém tem a diminuição do peso do cimento e redução de custo, dependendo do local a ser usado.

Figura 19. Resultado do ensaio de tração na flexão com 28 dias

Fonte: AUTOR, (2019).

4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Na tabela 18, apresenta os valores de M_s (massa seca) e M_{sat} (massa saturada) dos corpos de prova para cada composição e já apresenta o valor final do A_{ag} (Absorção de água) em porcentagem, através da equação (5), locada no item 5.3.3. Podemos observar que a composição padrão teve menor absorção de água tanto para o CP1 como CP2 e menor média. A composição com 30% de pci, tanto CP1 como CP2, foi a que absorveu mais água entre as amostras e teve maior média e desvio padrão.

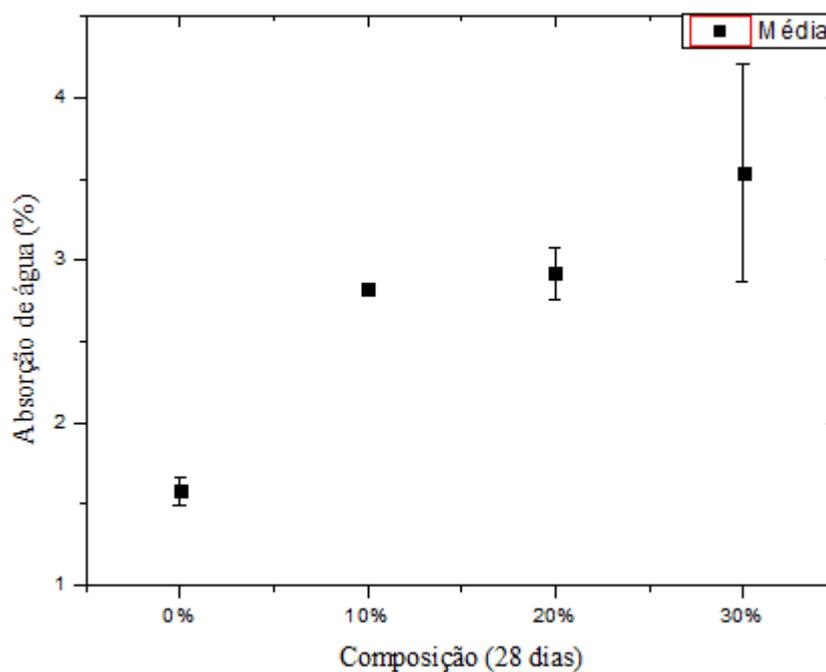
Os valores encontrados após os ensaios, estão abaixo do limite citado por Cardoso (2018), onde os concretos com índices abaixo de 10% de absorção de água, apresentam boa qualidade. Como observado na tabela 18, os valores ficaram bem abaixo da faixa de absorção de água estipulado. Nos resultados, foi verificado que houve um aumento no índice de absorção conforme aumenta a proporção de PCI. (FILHO, 2013), diz que, o fato das PCI's terem sido cortadas durante a limpeza e moagem, pode ter influenciado, pois, pode ter acumulado água nas lacunas superficiais internas das PCI's.

Tabela 18. Resultado da Absorção de água

Corpo de Prova	CP1			CP2			Absorção De água (%)
Comp.	Ms (Kg)	Msat (Kg)	Aag (%)	Ms (Kg)	Msat (Kg)	Aag (%)	(Média/Desv. Padrão)
0%	2,932	2,980	1,64	2,908	2,952	1,51	1,58±0,088
10%	3,050	3,136	2,82	3,040	3,126	2,83	2,82±0,007
20%	3,138	3,226	2,80	3,100	3,194	3,03	2,92±0,161
30%	3,066	3,160	3,07	3,088	3,212	4,02	3,54±0,672

Fonte: AUTOR, (2019).

A Figura 20, demonstra de forma prática o que está na tabela 17, onde o concreto padrão teve menor índice de absorção, enquanto a proporção de 30% teve além de maior absorção, também obteve maior desvio padrão. A proporção com 10% e 20% ficaram com apenas 4% entre elas.

Figura 20. Resultado da Absorção de água

Fonte: AUTOR, (2019).

4.5 ÍNDICE DE VAZIO

Na tabela 19, apresenta os valores de Ms (massa seca), Msat (massa saturada) e Mi (massa imersa) dos corpos de prova para cada composição e já apresenta o valor final do Iv (Índice de vazio) em porcentagem, através da equação (6), do item 5.3.3. Ao olhar a tabela, foi percebido que quanto maior foi a substituição do agregado por PCI, maior foi o índice de vazios, chegando a mais de duas vezes a amostra padrão. Um dos fatores que pode ter contribuído, possa ser ao formato das placas, pois na moagem não ficam uniformes em tamanho e formato.

Algumas hipóteses foram levantadas na literatura, uma delas seria pelo formato da PCI, por não ter uma forma definida, além de não ter preenchimento dos poros, acarretou no aumento de poros (IBRAHIM; JAMALUDDIN; KAMARUDDIN; ABIDIN, 2014). Outra hipótese encontrada na literatura, diz que, esse aumento dos poros pode ter sofrido a influência devido ao estado das PCI's, por motivo de armazenamento inadequado ou por tempo de fabricação (SOOD; PECHT, 2010).

(WANG; WANG; ZHANG, 2016), diz que a parte não-metálica da PCI tem função de arrastamento de ar, o que pode ocasionar o aumento de porosidade na argamassa. (THORNEYCROFT; ORR; SAVOIKAR; BALL, 2017), diz que, o tamanho da partícula pode aumentar o vazio do concreto, acarretando a queda de resistência.

Tabela 19. Resultado de Índice de vazio

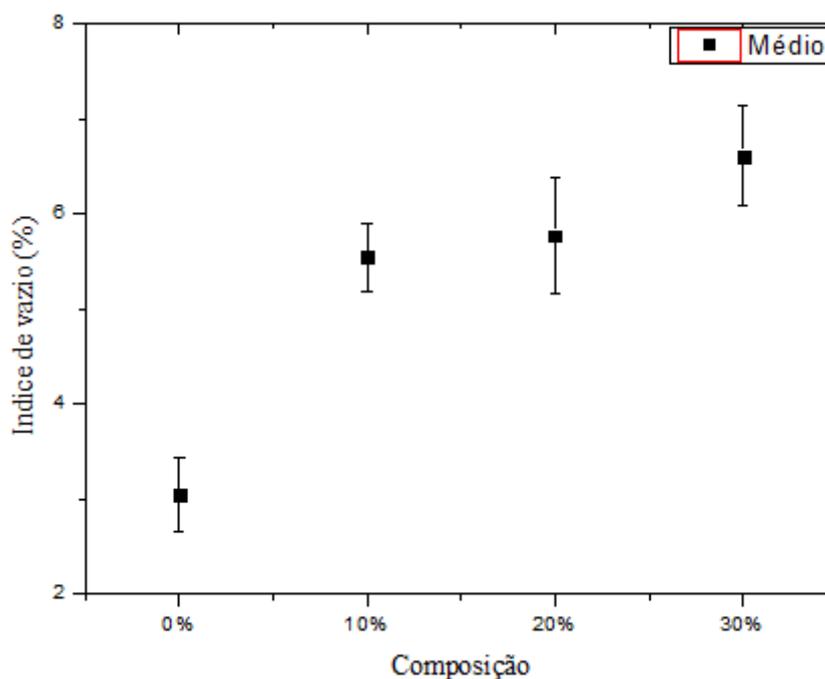
Corpo de Prova	CP1				CP2				Índice de Vazios (%) (Média/Desvio padrão)
	Comp.	Ms (Kg)	Msat (Kg)	Mi(Kg)	Iv(%)	Ms (Kg)	Msat (Kg)	Mi(Kg)	
0%	2,932	2,980	1,538	3,329	2,908	2,952	1,364	2,77	3,05±0,39
10%	3,050	3,136	1,652	5,795	3,040	3,126	1,500	5,29	5,54±0,36
20%	3,138	3,226	1,574	5,327	3,100	3,194	1,680	6,21	5,77±0,62
30%	3,066	3,160	1,654	6,242	3,088	3,212	1,436	6,98	6,61±0,52

Fonte: AUTOR, (2019).

Na Figura 21, melhora a percepção de que quanto maior a % de substituição do agregado, mais vazios se terá, devido às formas geométricas das placas moídas, o que pode afetar algumas propriedades importantes na construção civil. Como

ocorrido na absorção de água, a proporção de 10% e 20% estão sempre bem próximos em valores. (BALASUBRAMANIAM; THIRUGNANAM, 2015) teve resultados parecidos.

Figura 21. Resultado do Índice de vazio

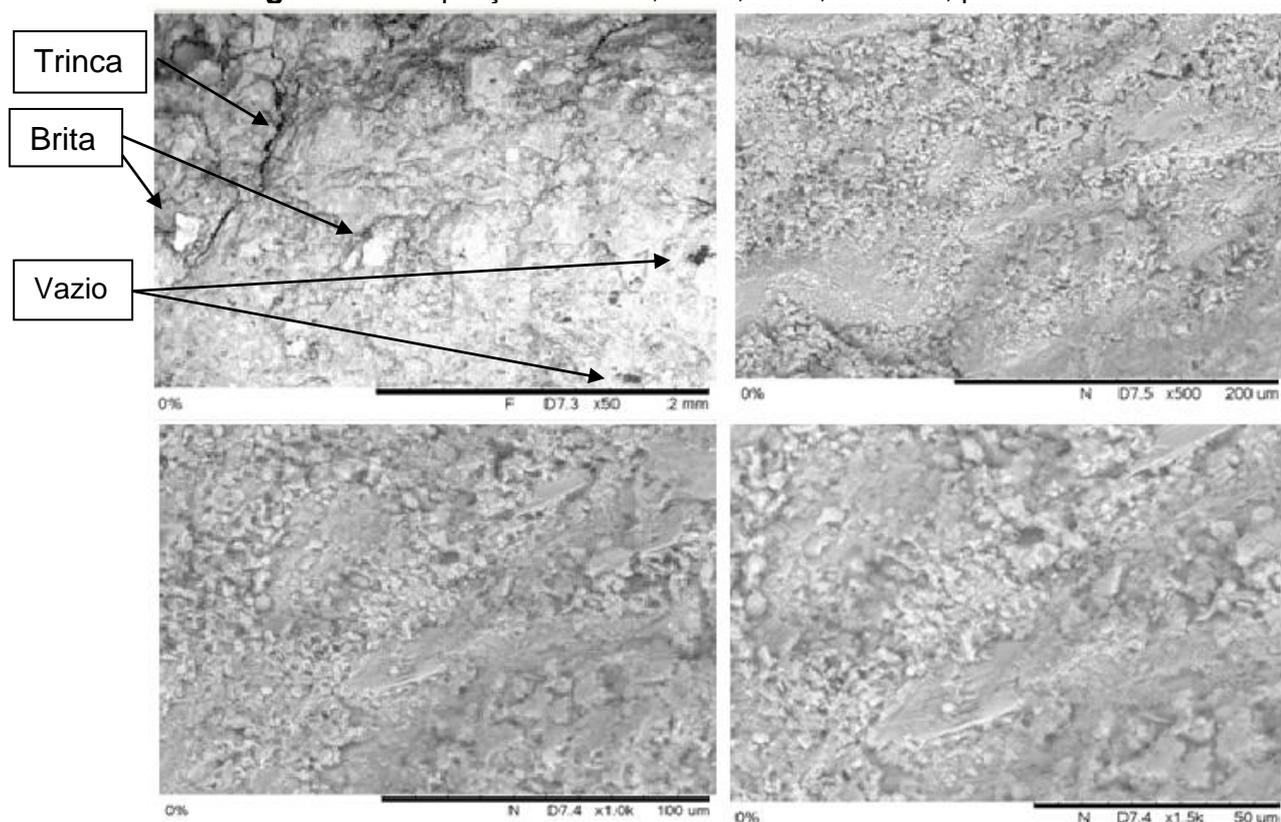


Fonte: AUTOR, (2019).

4.6 MEV

As imagens a seguir (Figura 22) tem ampliação de 50X, 500X, 1000X e 1500X, para amostra de controle. Na imagem de 50X, pode ser observada, brita na cor mais clara, havendo também alguns vazios na cor preta e diversos relevos. Nas figuras, pode ser observado trincas, porém não apresenta elevada porosidade. As imagens de MEV foram feitas nas amostras do ensaio de flexão.

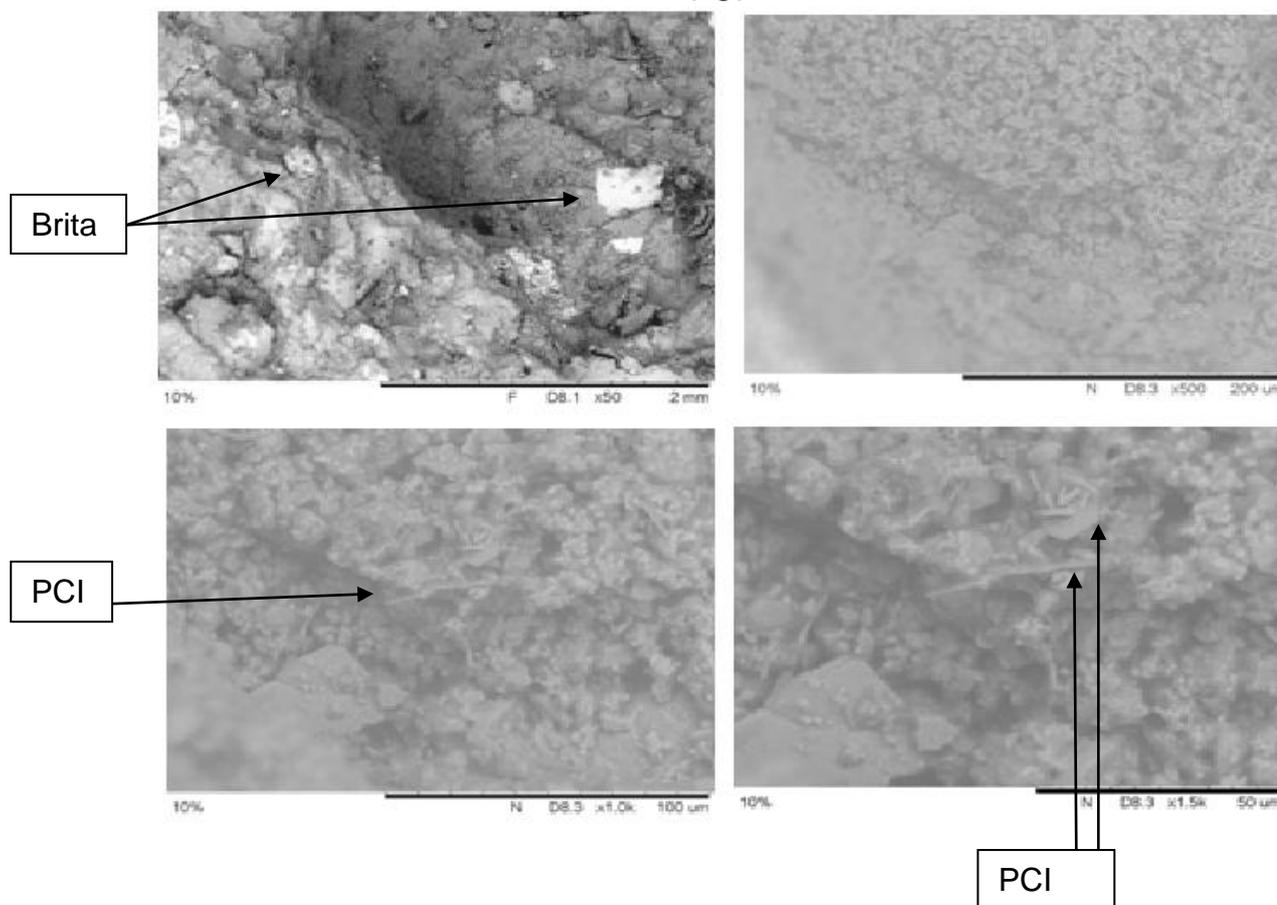
Figura 22. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra de controle



Fonte: AUTOR, (2019).

As imagens a seguir (Figura 23) tem ampliação de 50X, 500X, 1000X e 1500X, para amostra com 10% de PCI. Nas imagens do MEV com 10% de PCI, a imagem 50X, foi observada, a brita e alguns vazios, porém ainda não sendo possível identificar o PCI, que fica mais visível no aumento a partir de 1000X. Nas imagens, foi possível identificar, pontos isolados de PCI, aumentou um pouco a porosidade e algumas trincas.

Figura 23. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra com 10% de PCI

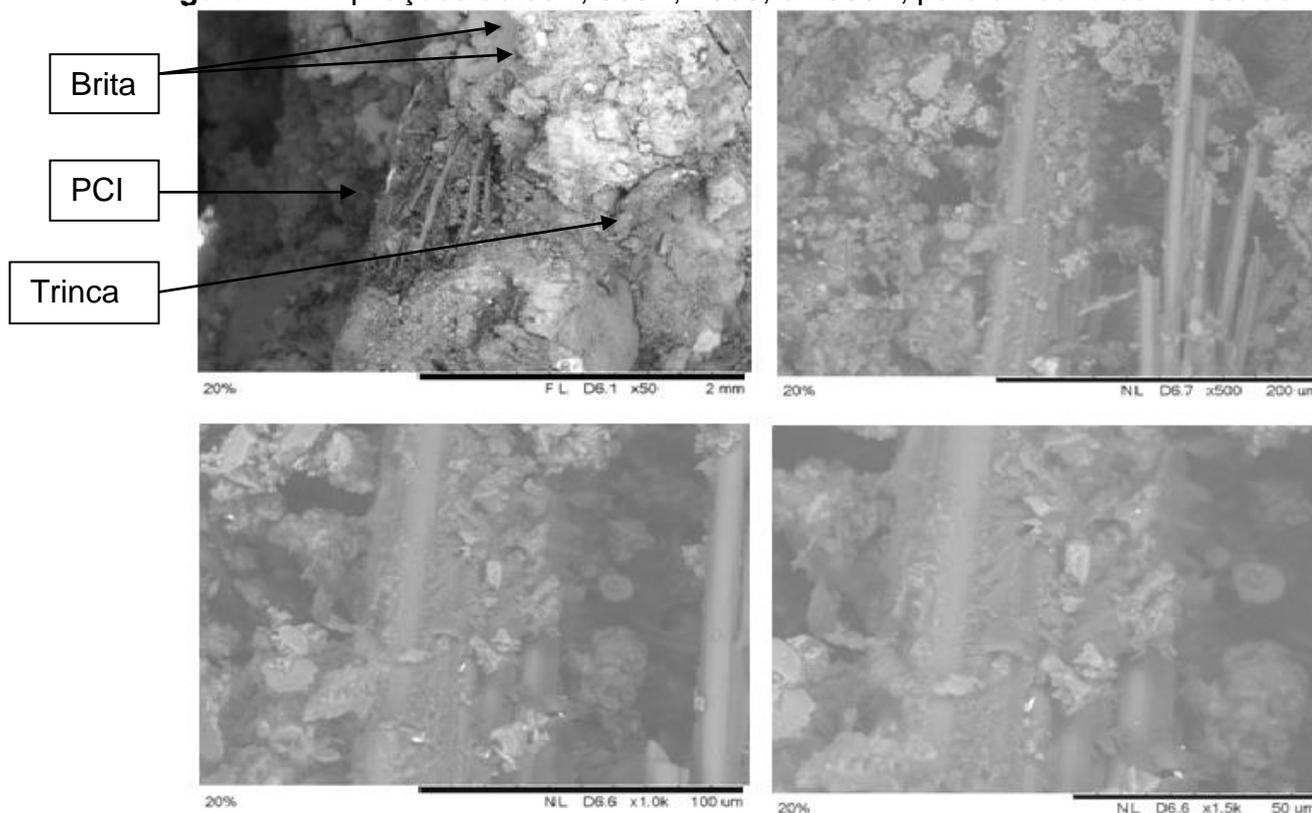


Fonte: AUTOR, (2019).

As imagens a seguir (Figura 24) tem ampliação de 50X, 500X, 1000X e 1500X, para amostra com 20% de PCI. Foi observado que, por ter uma superfície mais lisa que o agregado graúdo e forma fibrilar, resultou numa má formação de ligação entre a PCI e o concreto, podendo ser uma das causas do pior resultado no teste de flexão (OLOFINNADE et al, 2018).

Nas amostras de 20% de PCI, observa-se um aglomerado de PCI e maior quantidade de trincas, o que pode ter contribuído para a queda de resistência durante os testes de flexão, por não haver boa interação entre o cimento e o pci. Nas imagens, porém, não foi possível identificar áreas de porosidade na amostra.

Figura 24.Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra com 20% de PCI

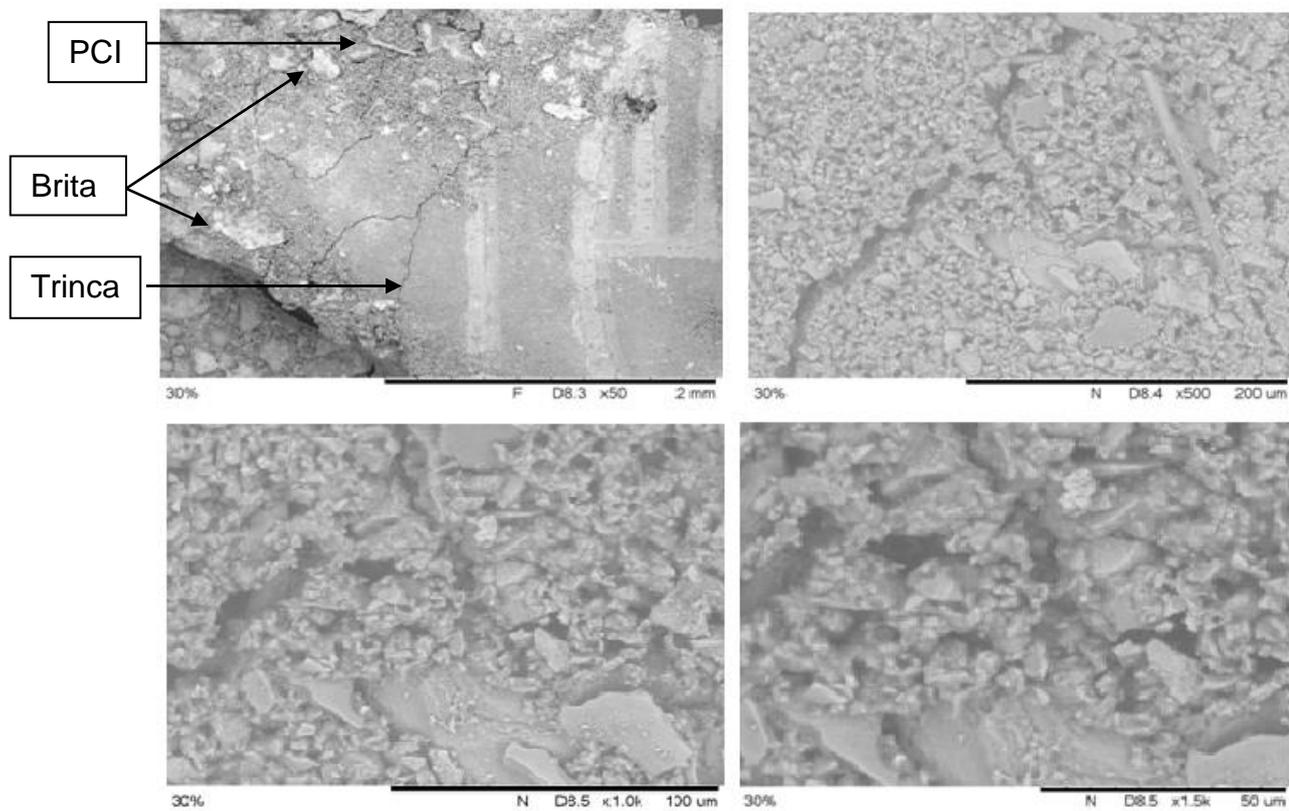


Fonte: AUTOR, (2019).

As imagens a seguir (Figura 25) tem ampliação de 50X, 500X, 1000X e 1500X, para amostra com 30% de PCI. Nas imagens do MEV com 30% de PCI, apresenta a mistura de forma homogênea, com uma melhor interação entre concreto/pci, o que aponta para o elevado valor da flexão. Foi perceptível o aumento de porosidade nessa amostra e o surgimento de algumas trincas.

A amostra de 30% de PCI, apresenta maior quantidade de porosidade, algumas trincas. Como o PCI não tem uma forma definida, é difícil a identificação do mesmo. Nesta amostra, já apresenta melhor interação entre o PCI e o cimento, o que pode ser um ponto que ajudou a ter bons valores nos ensaios de flexão. De acordo com Nacif et al., (2013), uma hipótese para esse aumento de resistência na tração em relação ao de 10 e 20%, pode ser, por exemplo no cp de 30% ter ficado com as PCI's de menor tamanho, resultando em menos poros conforme a imagem do MEV mostra no setor fotografado.

Figura 25. Ampliações de 50X, 500X, 1000, e 1500X, para amostra com 30% de PCI



Fonte: AUTOR, (2019)

5 CONCLUSÕES

Pelas normas NBR 6188/2014 e NBR 12655/2006, o concreto para ser considerado estrutural, tem que estar na faixa de (20 a 90 MPa de resistência). Para averiguar, utiliza o valor médio dos corpos de prova do ensaio de compressão, na idade de 28 dias e aplica-se um fator de segurança, que varia dependendo de como o concreto foi produzido e sua utilização. Aplicando o fator de segurança mais rigoroso, o concreto entra na classificação de concreto não estrutural, podendo ser usados com pavimentos para pedestres, por exemplo.

Diante dessas condições, conclui-se que:

Para os resultados do ensaio de compressão, o concreto com a proporção de 10% de PCI atingiu o valor de 24,53 MPa de resistência. Ou seja, atingiu o valor equivalente de 95% do concreto padrão. Essa perda de resistência, pode ter ocorrido em função do tamanho ou formas das partículas de PCI ou pela superfície mais lisa.

Para os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, o concreto com 30% de PCI foi o que obteve os melhores resultados entre os concretos com substituição parcial de PCI. Pode ter acontecido por causa de uma mistura mais homogênea ou pelo fato do concreto ter absorvido a flexibilidade da PCI.

Os resultados dos ensaios de absorção de água, ficaram bem acima do esperado, uma vez que a PCI tem baixa absorção de água. Essa elevação na absorção de água aconteceu, porque no momento em que a PCI foi cortada, as camadas internas ficaram expostas, gerando assim o acúmulo de água.

Os resultados dos ensaios de índice de vazios, é proporcional à quantidade de brita substituída. Isso acontece devido ao formato das PCI's, ficando com granulometrias diferentes, apresentando forma fibrilar ou formas geométricas.

Utilizando as PCI's no concreto, haverá criação de novos postos de trabalho, diversos materiais poderão retornar a cadeia de produção e evitará a poluição de rios e aterros com resíduos em locais inapropriados.

6 TRABALHOS FUTUROS

- 1 - Realizar o ensaio de desgaste por abrasão.
- 2 - Usar aditivo no concreto e verificar se houve melhora.
- 3 - Alterar a granulométrica da PCI e utilizar como agregado miúdo.
- 4 - Realizar novos ensaios com traços de concreto com PCI.
- 5 - Utilizar a carcaça dos aparelhos elétricos e eletrônicos, no lugar das PCI's.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABINEE - **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade**, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, 2017, 68 f.
- ABCP, **Guia Básico de utilização do cimento portland (BT-106)**., Associação Brasileira de Cimento Portland, 7^a. Ed. São Paulo [s.n.], 2002. 28 p.
- ALAGUSANKARESWARI, K.; SANDEEP, K. S.; VIGNESH, K. B.; NIYAS, K. A. H. An Experimental Study on E-Wast Concrete. **Indian Journal of Science and Technology**, Vol 9(2), January 2016. 5 f.
- AMARAL, M. P. D. **Desenvolvimento de um sistema para separação de componentes eletrônicos e elaboração de materiais para reciclagem**. 2015 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda, Rio de Janeiro, 2015.
- ANNA, A. S. **Characteristics of concrete building units containing crushed waste glass**. 2013 86 f. Dissertação (Mestrado em Master of Science) - North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, 2013.
- ANDRADE, R. **Caracterização e classificação de placas de circuito impresso de computadores como resíduos sólidos**. 2002 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.
- 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 7211/2009: Agregados para concreto - Especificação. Versão Corrigida**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778/2005: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Versão Corrigida.** Rio de Janeiro, 2009.

BALASUBRAMANIAN, T.; THIRUGNANAM, G.S. **Durability studies on botton ash concrete with manufactured sand as fine aggregate.** Jr. Of Industrial Pollution Control 31(1), pp 69-72, 2015.

BERTOLDI, L.; STAUDT, A. C. Caracterização de agregados graúdos disponíveis na região extremo oeste de Santa Catarina, utilizados na dosagem de concreto. **Anuário pesquisa e extensão UNOESC São Miguel do Oeste**, v. 11, 2016 11 f.

BORGES, M. J. S.; VALLE. F. A. F.; VAGETE, J. M. D. R.; SOUZA, J .A .M. **Comparação do agregado graúdo extraído das jazidas de Trairão - PA e Monte Alegre - PA, em Belém - PA.** CONTECC 2017 - Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Belém - PA, 74º SOEA - 2017, 4 f.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010. Secção 1.

BROLLO, M. J. VI - 078 - **Política e gestão ambiental em resíduos sólidos. Revisão e análise sobre a atual situação no Brasil.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2001, 27 f.

CARDOSO, R. C. **Produção e caracterização de compósitos de concreto com adição de material de pneu automotivo para confecção de pisos.** 2018, 66 f. Dissertação(Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda, Rio de Janeiro, 2018.

CULTURAMIX.COM. **Lixeiras para Coleta Seletiva.** Jun. 2019. Disponível em <<http://meioambiente.culturamix.com/lixo/lixo-para-coleta-seletiva>>. Acesso em 03 Jun. 2019. Todos os direitos reservados - 2019 Rádio e Televisão Record S.A.

DEL GROSSI, A. C. **Destinação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (reee) em Londrina - PR.** II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 2011, 11 f.

ESFANDYARI, A.; HARTE, S.; JAVIED, T.; FRANKE, J. **A Lean based overview on sustainability of printed circuit board production assembly.** 12 th Global Conference os Sustainable Manufacturing, 2015, 5 f.

ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S; MORAES, V. T.; CALDAS, M. P. K. **Caracterização de placas de circuito impresso por microscopia eletrônica de varredura visando recuperação de metais.** 71º Congresso Anual, 2016, 11 f.

FERRARI, J. R.; SILVA, R. V.; LOUZADA, D. M.; TINTI, I. C. **Reaproveitamento de placas de circuito impresso na produção de argamassas.** 23º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2018, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, Nov. 12 f.

FILHO, H. R. **Avaliação de compósitos cimentícios com adição de fibras curtas originadas de placas de circuito impresso.** 2013 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, Minas Gerais, 2013.

FORTI, C. P.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor 2017, quantities, flow and resources.** 116 f.

HELENE, P.; ANDRARE, T. **Concreto de Cimento Portland**, 2010 Cap. 29, 40 f. IBRACON, Todos direitos reservados.

HELENE, P.; TUTIKIAN, B. F. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**, 2011, Cap. 12, 38 f. IBRACON, Todos direitos reservados.

IBRAHIM, M. H.W.; JAMALUDDIN, N.; KAMARUDDIN, K.; ABIDIN, N. E. Z. **The effect of botton ash on fresh characteristic, compressive strength and water absorption of self-compacting concrete.** Applied Mechanics and Materials, vol. 660, pp 145-151, Oct/2014.

KAZMIERCZAK, C. S.; ARNOLD, D. C. M. **Influência da distribuição granulométrica do agregado miúdo e do teor de filer nas propriedades de argamassas com areia de britagem.** VIII SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Curitiba - PR - Brasil, Maio, 2009, 15 f.

LEAL JUNIOR, I. C.; GUIMARÃES, V. A.; NETTO, M. M. **Coleta seletiva de lixo reciclável em Angra dos Reis/RJ: Análise da evolução municipal e da participação popular.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS, vol. 6, n.2. Maio/Agosto 2017 p. 164-181.

LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO, 2010, 218 F.

LEI ORGÂNICA DO MUNICÍPIO DE VOLTA REDONDA, 1990, 103 F.

LETA, F. R.; MIRANDA, F. C.; BRANDÃO, P. V.; SOUZA, C. P.; VELLOSO, M. M. P. **Gerenciamento de resíduos - Uma análise econômica do potencial de reciclagem de computadores, considerando o caso da Universidade Federal Fluminense - UFF.** XI Congresso Ibero Americano de Engenharia Mecânica, La Plata, Argentina, 2013, 9 f.

MAGNAGO, R. O.; AMARAL, M. P.; MULINARI, D. R.; SANTOS, C. **Preparação e caracterização de compósitos obtidos a partir de rejeitos poliméricos oriundos de placas de equipamentos eletrônicos.** 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, MT - Brasil, 2014.

MENEZES, J. E.; OLIVEIRA, R. J.; NASCIMENTO, A. A. **A reciclagem do lixo urbano como fonte de renda, e a preservação dos recursos naturais e ambientais.** Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v.13, n.1, p. 22-37, jar/mar 2017.

MODRO, N. L. R.; MODRO, N. R.; MODRO, N. R.; OLIVEIRA, A. P. N. **Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET.** Revista Matéria, v.14, n. 1, pp. 725-736,2009.

NAGAJOTHI, P.G., KALA, F. **A Study on reusing waste printed circuit board powders and chips in cement mixes.** International Journal of Earth Sciences and Engineering, ISSN 0974-5904, Vol. 08, n 2, April, 2015, pp 460-464

NAIA, G. L. **Desenvolvimento de produto sustentável: aproveitamento de placas de circuito impresso descartadas como agregado na fabricação de blocos de alvenaria para construção civil.** 2014, 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2014.

NACIF, G. L.; PANZERA, T. H.; STRECKER, K.; CHRISTOFORO, A. L.; PAINE, K. **Investigations on cementitious composites based on rubber particle waste additions.** Materials Research, 16(2), pp 259-268, 2013.

NATUME, R. Y.; SANT'ANNA, F. S. P. **Resíduos Eletroeletrônicos: Um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova Lei de Política Nacional de Resíduos Sólidos.** 3rd International workshop advances in cleaner production, São Paulo - Brazil - May 18th - 20th - 2011. p.9.

NALINI, J. E. **Mercado de reciclagem do lixo no Brasil: Entraves ao Desenvolvimento.** 2008, 120 f. Dissertação (Mestrado em Economia Política) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo, 2008.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto.** 2^o ed. 2013.

OLOFINNADE, O. M.; EDE, A. N. E.; NDAMBUKI, J. M.; NGENE, B. U.; AKINWUMI, I. I.; OFUYATAN, O. **Strength and microstructure of eco-concrete produced using wast glass as partial and complete replacement for sand.** Cogent Engineering (2018), 5, pag 19.

OLOFINNADE, O.M.; EDE, A.N.; NDAMBUKI, J.M. **Sustainable greem environment through utilization of waste soda-lime glass for production of concrete.** JMES, 2017 vol. 8, Issue 4, pp. 1139-1152.

OLIVEIRA, M. J. E. **Agregado reciclado empregado na produção de concreto modificado com aditivo.** Exacta, vol. 4, núm. Esp, novembro-special, pp. 15-24, 2006.

OLIVEIRA, C. R.; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. **Collection and recycling of eletronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation.** Waste Management, 2012, pp. 1592-1610.

OLIVO, J. S.; PARANAIBA, N. S. C. T.; MARTINS, R. H. B.; AZEVEDO, F. F. **Agregados Miúdos: A importância no controle tecnológico do concreto.** Revista Conexão Eletrônica, Três Lagoas, MS, v. 14, n.1, pp. 2079-2086, 2017.

OTTONELLI CALGARO, C. **Avaliação da aplicação de CO₂ supercrítico na presença de cosolventes par aa reciclagem de placas de circuito impresso de celulares.** 2015, 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia, RS, 2015.

PACHECO, A. R.; FILHO, L. C. P. S.; GUIMARÃES, D. **Pisos industriais em concreto armado: determinação de teores ótimos de fibra de aço e polipropileno em ensaios mecânicos.** Anais do 53^o Congresso Brasileiro do Concreto - CBC 2011.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; SILVEIRA, F. F.; LUZ, E. G.; OLIVEIRA, R. B. **Comparação entre as massas de resíduos sólidos urbanos coletadas na cidade de São Paulo por meio de coleta seletiva e domiciliar.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS, vol. 3, n.3. Setembro/Dezembro 2014 p. 19-33 (2014).

PARAGUASSÚ, I. M. **Elaboração de endurecedor químico de superfície à base de silicato de sódio e silicato de lítio para aplicação em pavimentos de**

concreto. 2017, 89 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitario de Volta Redonda - UniFOA, RJ , 2017.

PECCATIELLO, A. F. O. **Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000)**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, n. 24, p. 71-82, julho/dez. 2011. Editora UFPR.

POMPEU NETO, B. B.; OLIVEIRA, D. R. C.; RAMOS, D. **Efeitos do tipo, tamanho e teor de agregado graúdo no módulo de deformação do concreto de alta resistência**. Revista Matéria, v.16, n. 2, pp 690-702, 2011.

PREMUR, V.; VUCINIC, A. A.; VUJEVIC, D.; BEDEKOVIC, G. **The possibility for environmental friendly recycling of printed circuit boards**. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, Volume 4, Issue 1, pp 14-22, 2016.

REZENDE, J. H.; CARBONI, M.; MURGEL, M. A. T.; CAPPS, A. L. A. P.; TEIXEIRA, H. L.; SIMÕES, G. T. C.; RUSSI, R. R.; LOURENÇO, B. L. R.; OLIVEIRA, C. A. **Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP)**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 18, n.1 jan/mar, pag. 1-8

ROCHA, A. C.; CERETTA, G. F.; CARVALHO, A. P. **Lixo eletrônico: um desafio para a festão ambiental**. Revista Technoeng, 2º Edição vol. I, Jul/Dez, pag. 35-49 2010.

SILVA, C. E. V. **Confecção de concreto com adição de embalagens cartonadas assépticas**. 2018, 63 f. Dissertação(Mestrado Profissional em Materiais) - Centro Universitário de Volta Redonda, Rio de Janeiro, 2018.

SILVA, F. G.; LIBORIO, J. B. L. **A importância da seleção de materiais para concretos de elementos estruturais submetidos à ação de cloretos**. 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado. São Carlos, 11 f., Novembro, 2005.

SILVA, G. H. S.; LEITE, C. E.; DECHANDT, S. G. **Logística Reversa: uma comparação de sua utilização no Brasil e na Suíça**. XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. 13 f. 22, 23 e 24 de Outubro, 2014.

SILVA, S. S.; HIMARA, A. M. **Coleta seletiva de lixo: uma análise da experiência do município de Mariná - PR**. Revista Tecnológica, v. 18, p. 11-24, 2009.

SIQUEIRA, E. **Companhia Brasileira de Cimento Portland Perus: contribuição para uma história da industria pioneira do ramo no Brasil (1926-1987)**. 2001, 230 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001.

SOOD, B.; PECHT, M. **Controlling Moisture in Printed Circuit Boards**. IPC Apex EXPO Proceedings, 10 f, 2010.

SPITZCOSKY, D. **ONU lança primeiro mapa global de lixo eletrônico**. Revista EXAME, 17 Dez, 2013. Disponível em:<<https://exame.abril.com.br/mundo/onu-lanca-primeiro-mapa-global-de-lixo-eletronico/>>Acesso em: 04 Jun. 2019.

THORNEYCROFT, J.; ORR, J.; SAVOIKAR, P.; BALL, R. J. **Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand.** Construction and Building Materials 161, pp. 63-69, 2017.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil.** Balanço Mineiro Brasileiro, 2001, 15 f.

VEIT, H. M. **Reciclagem de cobre de sucatas de placas de circuito impresso.** 2005, 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2005.

VIECILI, F. A. **Influência da utilização dos endurecedores superficiais comestícios na resistência à abrasão de pisos industriais de concreto.** 2004, 102 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2004.

WANG, Y.; ADAWAY, M. **Recycled glass as a partial replacement for fine aggregate in structural concrete - Effects on compressive strength.** Special Issue: Electronic Journal of Structural Engineering 14(1), pp. 116-122, 2015.

WANG, R.; WANG, P.; ZHANG, T. **Waste printed circuit boards nonmetallic powder as replacement for sand in cement mortar.** Materialy Budowlane, n 521, pp 59-62, 2016.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento portland.** 2008, 295 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, SC, 2008.