

**CENTRO UNIVERSITÁRIO  
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PLÁSTICOS INSERVÍVEIS ORIUNDOS DE  
ELEMENTOS ELETRÔNICOS EM ARTEFATOS CIMENTÍCIOS**

João Pedro Cortez Vrenna

Presidente Prudente/SP  
2018

**CENTRO UNIVERSITÁRIO  
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PLÁSTICOS INSERVÍVEIS ORIUNDOS DE  
ELEMENTOS ELETRÔNICOS EM ARTEFATOS CIMENTÍCIOS**

João Pedro Cortez Vrenna

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial de Conclusão do Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis.

Presidente Prudente/SP  
2018

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PLÁSTICOS INSERVÍVEIS ORIUNDOS DE  
ELEMENTOS ELETRÔNICOS EM ARTEFATOS CIMENTÍCIOS**

Trabalho de Curso apresentado como requisito  
parcial para obtenção do Grau de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis

Orientador

Prof. Dr. Bruno do Vale Silva

Examinador

Prof. Me. Rodrigo Bohac Ferreira da Rosa

Examinador

Presidente Prudente, 22/11/2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me concedido saúde e força para superar os obstáculos encontrados no meio do caminho

A Instituição de Ensino Superior, seu corpo docente, administração e direção, que forneceram todo o suporte acadêmico necessário para a conclusão do curso

A todos os professores pelo conhecimento compartilhado, visando o crescimento não somente profissional, mas o crescimento como ser humano

Ao meu orientador prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis, pela sua orientação, confiança, apoio e empenho no decorrer do curso e na elaboração deste trabalho

Aos professores Dr. Bruno do Vale Silva e Me. Rodrigo Bohac Ferreira da Rosa, pelo paciente trabalho da revisão deste trabalho

Aos meus familiares que contribuíram com toda motivação, incentivo e apoio, que se fez necessário no decorrer do curso, e foram necessários para vencer toda a fadiga e cansaço

A todos os meus amigos, pelas horas compartilhadas de estudo

E a todos aqueles que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação

Muito obrigado a todos

## RESUMO

A evolução da sociedade moderna possibilita a melhora de sua qualidade por meio da criação de instrumentos que visam facilitar a comunicação entre os povos, a rapidez da divulgação de informações, a geração de novas formas de entretenimento, entre vários outros. Todavia, a esta evolução vincula-se a geração de novos resíduos, em grandes quantidades e alta periculosidade, os quais acarretam em valores de descarte e também sérios riscos a população, podendo causar diversas doenças, entre outros males. A fim de se direcionar aplicabilidade a um dos destes resíduos e assim minimizar os impactos ele causados, propôs-se neste projeto o desenvolvimento de compósitos utilizando-se resíduos poliméricos em fase sólida ou líquida, frutos de carcaças de equipamentos eletrônicos inservíveis, como substituinte parcial de um de seus componentes empregados na fabricação de elementos cerâmicos utilizados nos diferentes ramos de construção civil. Foram desenvolvidas diferentes proporções em massa da relação brita/polímero e em outro caso, água/resíduo. Após a fabricação, os compósitos foram caracterizados por meio de análises térmicas e mecânicas a fim de se avaliar as propriedades resistência a compressão possíveis aplicações aos artefatos. Visou-se também o estudo da melhor mistura do material, para que possa analisar a interação entre os componentes da mistura e assim correlacionar tal propriedade com os resultados verificados via análise mecânica.

**Palavras-chave:** Resíduo. Eletrônico. Meio-Ambiente. Compósito. Agregado.

## ABSTRACT

The evolution of modern society makes possible the improvement of your quality by creating instruments that aim to facilitate communication between people, the speed of information dissemination, the generation of new forms of entertainment, among many others. However, this evolution is linked to the generation of new waste, in large quantities and high dangerousness, which entail to discard values and also serious risks to the population, which may cause various diseases, among other evils. In order to address applicability to one of these residues and so minimize the impacts it caused, the project proposed the development of composites using polymeric waste in solid or liquid phase, fruits of carcasses of unserviceable electronic equipment, as partial substituent of one of the components used in the manufacture of ceramic elements used in the different branches of civil construction. Have been developed different mass proportions of the gravel/polymer and in another case, water/residue. After the manufacture, the composites were characterized by means of thermal and mechanical analysis in order to evaluate the compression resistance properties possible applications to the artifacts. Aimed at the study of the best mix of the material, so that it can analyze the interaction between the components of the mixture and thus correlate this property with the results verified through the mechanical analysis.

**Keywords:** Waste. Electronic. Environment. Composite. Added.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<b>FIGURA 1</b> - Problemática do descarte inadequado.....	08
<b>FIGURA 2</b> - Processo de lixiviação.....	09
<b>TABELA 1</b> - Estudo do traço.....	14
<b>TABELA 2</b> - Quantidade dos materiais componentes do concreto.....	16
<b>FIGURA 3</b> - Realização dos corpos de prova cilíndricos.....	17
<b>FIGURA 4</b> - Capeamento dos corpos de prova.....	17
<b>FIGURA 5</b> - A esquerda, o modelo retratado de acordo com a dimensão da norma. A direita, modelo para produção de corpo de prova de argamassa na prática.....	18
<b>FIGURA 6</b> - Análise térmica do resíduo líquido oriundo do plástico.....	22
<b>FIGURA 7</b> - Vidro de relógio durante teste de inflamabilidade.....	23
<b>FIGURA 8</b> - Ensaio de miscibilidade.....	24
<b>FIGURA 9</b> - Ensaio de flexão de três pontos.....	26
<b>FIGURA 10</b> - Resultado com 0% de resíduo.....	26
<b>FIGURA 11</b> - Resultado com 5% de resíduo.....	27
<b>FIGURA 12</b> - Resultado com 10% de resíduo.....	27
<b>TABELA 3</b> – Valores de tensão e deformação máximas obtidas para cada CP, além do valor médio.....	28
<b>FIGURA 13</b> - Equipamento de ensaio mecânico de compressão.....	29
<b>TABELA 4</b> - Resultados do ensaio de compressão em corpos de provas de concreto.....	29
<b>FIGURA 14</b> – Ensaio de compressão de argamassa.....	30
<b>FIGURA 15</b> - Resultados de compressão.....	31
<b>TABELA 5</b> - Tensão dos corpos de prova.....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>08</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1	Lixo Eletrônico.....	12
2.2	Concreto e Argamassa.....	12
2.3	Aditivos.....	13
2.4	Destilação.....	13
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>14</b>
3.1	Estudo do Traço.....	14
3.2	Preparação das Amostras.....	15
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS.....</b>	<b>19</b>
4.1	Análise Térmica.....	19
4.2	Ensaio de Inflamabilidade.....	19
4.3	Ensaio de Miscibilidade.....	20
4.4	Determinação da Massa Específica.....	20
4.5	Ensaio de Flexão por Três Pontos.....	20
4.6	Ensaio Mecânico de Compressão.....	21
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
5.1	Análise Térmica.....	22
5.2	Ensaio de Inflamabilidade.....	23
5.3	Ensaio de Miscibilidade.....	24
5.4	Determinação da Massa Específica.....	24
5.5	Ensaio de Flexão por Três Pontos.....	25
5.6	Ensaio Mecânico de Compressão.....	28
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, em todo o mundo, com a expansão da nova era digital, milhares de computadores obsoletos são descartados, devido à substituição por computadores mais modernos e também por tablets, smartphones entre outros. (COELHO, 2011, s.p.)

Essa substituição acarreta em um descarte, que também está associado ao alto custo de reparos dos equipamentos, sendo em muitos casos, mais vantajoso a compra de outro aparelho, com mais funções e prazo de garantia. (RODRIGUES, 2007, p.32)

Encontrado de forma abundante, este lixo eletrônico possui uma ampla produção nacional, segundo uma pesquisa da Escola de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas, realizada em 2014, que mostra que o Brasil já tem 136 milhões de computadores em uso, e de acordo com um relatório divulgado pela PNUMA em 2010, o país tende a crescer em 400% na produção de lixo eletrônico por parte de computadores. (MACIEL, 2014, s.p.)

A Figura 1 representa a problemática da grande geração dos resíduos eletrônicos, juntamente com seu descarte sendo realizado de forma inadequada.

**FIGURA 1** - Problemática do descarte inadequado



Fonte: Universidade da ONU

Estima-se que cerca de 97 mil toneladas métricas de computadores e 17,2 mil toneladas de impressoras são descartadas por ano no Brasil, do total de 366 milhões de toneladas de lixo gerado anualmente, de acordo com o Programa da ONU para o Meio Ambiente. (PNUMA, 2009, p.43)

Segundo a ONU, o Brasil não possui nenhum tipo de plano para reduzir ou cessar o problema de lixo eletrônico, o que gera uma grande preocupação, pois se supõe que cada brasileiro descarta cerca de 0,5 kg por pessoa/ano. (PORTAL EXAME, 2010, s.p.)

Devido ao fato de que a maioria de seus componentes são classificados, de acordo com a ABNT NBR 10004/2004, como resíduo classe I - perigosos, não podem ser descartados em qualquer região, necessitando de um transporte para aterro sanitário, resultando então em um alto custo de descarte. (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004, p.03)

Além dos problemas econômicos envolvidos, destacam-se os sérios problemas ambientais vinculados à disposição irregular; pois uma vez rejeitado de forma inadequada, este material poderá acarretar sérios danos a fauna e flora, devido a lixiviação de elementos nocivos presentes em sua estrutura, como mostra a Figura 2. (MOI, et al, 2012, p.41)

**FIGURA 2 -** Processo de lixiviação



Fonte: meioambiente.culturamix.com

Dentre os danos causados a saúde humana, podemos citar os vinculados ao mercúrio, que pode causar danos cerebrais e ao fígado; e o chumbo, que por sua vez pode causar náuseas, perda de coordenação e memória, e em casos extremos, ao coma e a morte. (CERRI, 2012, s.p.)

Destaca-se neste projeto, o trabalho desenvolvido por Rodrigues, que realizou estudos sobre o fluxo domiciliar de geração e destinação de resíduos elétricos e eletrônicos no município de São Paulo - SP. (RODRIGUES, 2012)

Visando um direcionamento aplicativo a estes resíduos, centros de pesquisa buscam formas de reutilizá-lo como matéria prima na fabricação de outros artefatos. Dentre estas pesquisas, destaca-se também, a realizada por Saron, et al., a qual visa à caracterização de copolímeros reciclados e poliestireno de alto impacto de equipamentos de informática de resíduos no Brasil. (HIRAYAMA e SARON, 2015)

Diante de toda problemática envolvida no descarte inadequado do resíduo eletrônico, este trabalho teve como foco, o reaproveitamento do plástico proveniente de lixo eletrônico.

Em suas formas de utilização como matéria prima, verificou-se a possibilidade submetê-lo ao processo de pirólise e destilação, a fim de obter uma fração líquida, que por sua vez apresenta-se ainda desconhecida. Contudo, esse líquido provoca grande interesse de estudo nas diferentes áreas de ciência dos materiais, sendo que uma destas refere-se a sua possível utilização como aditivo na fabricação de compósitos de matriz cerâmica ou polimérica, possibilitando a criação de novos materiais a serem utilizados no âmbito industrial e tecnológico.

Diante do dito acima, visou-se neste trabalho realizar processos químicos neste plástico, e a sua caracterização, de modo a ser utilizado como matéria prima para produção de elementos cimentícios convencionais. Acreditou-se que este subproduto poderia comportar-se como possível aditivo, assim havendo a necessidade de verificar a sua influência nas propriedades do produto final, para que desta forma se possa produzir elementos a serem utilizados na construção civil.

Entre as amostras geradas, destacou-se também a possível utilização desses plásticos oriundos de equipamentos eletrônicos na fabricação de elementos cerâmicos, onde o resíduo poderá ser enquadrado como agregado graúdo no desenvolvimento destes.

Ressalta-se também à importância ambiental vinculada, pois este novo material poderá minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte inadequado destes resíduos, que até então contaminam recursos hídricos e seres vivos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico serão apresentados os embasamentos teóricos necessários para o melhor entendimento do trabalho.

### 2.1 Lixo Eletrônico

Equipamentos eletrônicos descartados compõem uma nova gama de resíduos, denominados de lixo eletrônico. São eles:

Televisores, rádios, telefones celulares, eletrodomésticos portáteis, todos equipamentos de microinformática, vídeos, filmadoras, ferramentas elétricas, DVD'S, lâmpadas fluorescentes, brinquedos eletrônicos e milhares de outros produtos concebidos para facilitar a vida moderna e que atualmente são praticamente descartáveis uma vez que ficam tecnologicamente ultrapassados em prazos de tempo cada vez mais curtos ou então devido à inviabilidade econômica de conserto, em comparação com aparelhos novos. (RODRIGUES, 2009, apud D'ARRUIZ e CATANEO, 2009, p.03)

Um dos problemas vinculados a este resíduo se refere à sua composição, onde de acordo com o Programa Ambiental das Nações Unidas, o computador é formado por metais ferrosos (32%), plástico (23%), metais não ferrosos (18%), vidro (15%) e placas eletrônicas (12%). (PNUMA – Programa da ONU para o meio ambiente, 2009 p.07)

### 2.2 Concreto e Argamassa

O concreto é produzido com a mistura de três materiais, sendo eles o cimento, agregados (miúdos e graúdos) e água. A mistura desses ingredientes deve ser realizada de forma que se produza o concreto fresco, onde as superfícies das partículas de agregados sejam totalmente revestidas pela pasta de cimento, e como consequência, possuindo propriedades uniformes. (NEVILLE, 2016)

Já a argamassa, é uma mistura semelhante ao concreto, com exceção de não conter agregados graúdos. Possui propriedades de aderência, endurecimento, e pode ser dosada em obras ou produzidas em instalação industrial. (CAMPORA, 2012)

## 2.3 Aditivos

Os aditivos químicos são, nada mais do que substâncias adicionadas de forma proposital ao concreto, utilizando suas características para melhorar ou reforçar as propriedades do concreto, facilitando o preparo e a utilização. (DA FONSECA, 2010, p.106)

De acordo com Figueiredo et al (2004), concretos especiais podem ser definidos como: “Concretos com características particulares devido à evolução tecnológica: melhorando as deficiências do concreto convencional ou incorporando propriedades não inerentes a este material”.

A norma ABNT NBR 11768/2011 diz respeito a “Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos” e trata todas as classificações dos aditivos, de acordo com as características apresentadas. Ela define como aditivos para concreto: “Produto adicionado durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo de concreto colorido”.

## 2.4 Destilação

A destilação nada mais é do que um processo químico baseado nas diferenças de pontos de ebulição entre as substâncias que compõe a mistura; ela pode ser simples ou fracionada. (FOGAÇA, 2018)

A simples pode ser exemplificada como a mistura da água e do sal, onde a mistura é colocada em um recipiente, e posteriormente é aquecida e evapora; esse vapor é coletado por um condensador, que solidifica esse gás novamente, transformando num produto destilado.

A fracionada já é relacionada a misturas de materiais líquidos com líquidos, um modelo mais complexo que não se aplica nesse estudo, o qual será empregado o processo de destilação simples, pois será analisado o comportamento do plástico mediante aquecimento através da interação sólido-líquido, o que é uma técnica pouco explorada no ramo da pesquisa.

### 3 METODOLOGIA

Neste tópico será apresentado os métodos referentes a preparação dos corpos de prova, bem como os estudos necessários para isso.

#### 3.1 Estudo do Traço

Para escolha do traço, que se trata da indicação de quantidade dos materiais que constituem o concreto (VARELA, Marcio), correspondendo a proporção em massa de cimento Portland, areia, e, neste estudo, brita/resíduo respectivamente, foi realizado um estudo que envolve o ensaio mecânico de compressão, para caracterização dos mesmos. Neste estudo, foi proposto o traço 1:2:3, e 1:2,6:2,4 com diferentes fatores a/c, baseado em pesquisa bibliográfica e conversa com profissionais da área. A Tabela 1 representa os resultados obtidos nesses ensaios:

**TABELA 1 - Estudo do traço**

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Traço</b>	<b>Fator água/cimento</b>	<b>Força (kN)</b>	<b>Tensão (MPa)</b>
CP-1	1:2:3	0,8	83.33	10.62
CP-2	1:2:3	0,8	62.74	7.99
CP-3	1:2,6:2,4	0,6	111.95	14.26
CP-4	1:2,6:2,4	0,6	166.61	21.22
CP-5	1:2,6:2,4	0,8	83.94	10.69
CP-6	1:2,6:2,4	0,8	81.67	10.40

Fonte: O autor, 2018

Como retratado pela Tabela 1, foi identificado que o traço de interesse para este estudo, foi o que suportou uma melhor capacidade de carga, que neste caso, foi o 1:2,6:2,4, com o fator a/c=0,6.

### 3.2 Preparação das Amostras

Dos resíduos utilizados, optou-se pelo do ABS (Acrilonitrilo-butadieno-estireno) e do HIPS (High Impact Polystyrene, ou Poliestireno de Alto Impacto), utilizados em utensílios domésticos, brinquedos, telefones, capacetes de segurança, tudo isso devido as suas propriedades, que são resistência ao impacto e a rigidez (HIRAYAMA, Denise, p. 38 - 40). Tais materiais foram fornecidos pelo projeto “e-lixo”, que visa direcionar de forma ambientalmente correta, o resíduo eletrônico. Este projeto pertence ao Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo, sob coordenação do professor Raphael Garcia.

Para fabricação das amostras, primeiramente foi realizado a trituração e o peneiramento dos resíduos plásticos, visando a obtenção de uma granulometria com dimensão máxima de 19 mm, para ser utilizado na substituição do agregado graúdo. Este procedimento foi realizado em um britador tipo impacto (*Impact Crusher*), pertencente ao laboratório de difração de RAIO-X da Faculdade de Ciências e Tecnologia - UNESP de Presidente Prudente- SP, sob responsabilidade do Prof. Dr. Silvio Rainho Teixeira.

Em sua fase sólida, posteriormente foi realizada a mistura manual, em diferentes proporções em massa (50/50), de brita 1 com o resíduo triturado, gerando-se elemento denominado neste trabalho de brita/resíduo. Após a obtenção de brita/resíduo, foi iniciado o processo de geração das amostras. As amostras foram desenvolvidas de acordo com o traço:

$$1:5 \rightarrow 1 : 2,6 : 2,4 \rightarrow a/c = 0,6$$

Para a determinação da quantidade dos materiais componentes do concreto, foi utilizado a Equação 1, onde inicialmente fornece a quantidade de cimento por m<sup>3</sup>, e através dela, calculou-se o restante dos outros materiais do concreto. A equação se baseia na massa específica do concreto, e nos valores do traço para areia, brita e água/cimento.

$$Cimento = \frac{ME}{1 + a + b + a/c}$$

(Eq. 1)



$$Cimento = \frac{2400}{1 + 2,6 + 2,4 + 0,6} = 363,64 \text{ kg/m}^3$$

A partir da identificação da quantidade de cimento por um m<sup>3</sup> de concreto, foi utilizado uma regra de três para calcular quanto de cimento é necessário para o volume de um corpo de prova cilíndrico com dimensões de 10cm de diâmetro e 20cm de altura.

$$\frac{1m^3}{1,57 \times 10^{-3}m^3} = \frac{363,64 \text{ kg}}{x \text{ kg}}$$

$$x = 0,57091kg \sim 570,91g$$

(Eq. 2)

Com a quantidade de cimento por corpo de prova já determinada, calculou-se o restante dos materiais para a composição de um corpo de prova de concreto, e o resultado dos cálculos foram dispostos na Tabela 2, em gramas.

**TABELA 2** - Quantidade dos materiais componentes do concreto

<b>Quantidade dos materiais (g)</b>	
Cimento	570,91
Agregado graúdo	1484,36
Agregado miúdo	1370,18
Água	342,54

Fonte: O autor, 2018

A mistura dos materiais procedeu de forma manual, utilizando-se uma espátula metálica, que em seguida foi adicionada água, buscando o fator água/cimento já identificado no traço, que por sua vez foi comprovado pelo ensaio de *Slump Test* – abatimento de tronco de cone, obedecendo-se a norma técnica ABNT NBR NM 67/1998; cada mistura foi disposta em formas cilíndricas de 10cm de diâmetro e 20cm de altura (ABNT NBR 5738/2015 Versão Corrigida: 2016), retratado na Figura 3, e submetida a secagem de forma individual, em temperatura ambiente.

**FIGURA 3 - Realização dos corpos de prova cilíndricos**



Fonte: O Autor, 2018

Após a realização dos corpos de prova, verificou-se irregularidade na superfície dos corpos de prova, e então foram realizados os capeamentos (revestimento do topo) dos corpos de prova, com pasta de cimento, com espessura inferior a 3mm, conforme a norma ABNT NBR 5738/2015 Versão Corrigida: 2016, retratados pela Figura 4.

**FIGURA 4 - Capeamento dos corpos de prova**



Fonte: O autor, 2018

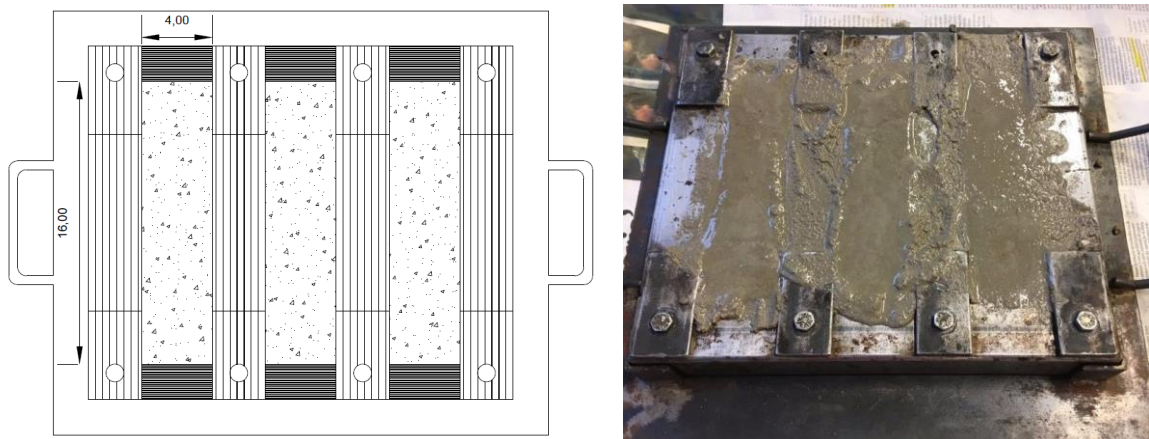
Em relação a fração líquida, o produto oriundo da decantação de plásticos inservíveis foi doado pelo senhor João Vitor de Barros, o qual desenvolve pesquisas informais que são de grande valia para o trabalho em questão.

Para fins de otimização de processo e de economia dos materiais, os corpos de prova do resíduo líquido foram preparados como argamassas, dispostos em formas prismáticas com dimensões de 4cmx4cmx16cm (ABNT NBR 13279/2005), sendo que juntamente a estes materiais foi adicionado 0%, 5% e 10% em relação ao fator água/cimento, como substituinte parcial da água, o líquido oriundo da decantação de plásticos inservíveis, a fim de investigar sua influência nas propriedades do produto final.

Com base em pesquisa bibliográfica de BARGA, Leonardo et al, 2018, e conversa com profissionais da área, o traço de argamassa utilizado foi de 1:3, onde 1 é a quantidade de cimento e 3 é a quantidade de areia, com o fator  $a/c=0,92$ .

Na fase líquida, a produção das amostras foi baseada na norma ABNT NBR 13279/2005. Após a obtenção e caracterização do resíduo, deu-se início a produção, sendo corpos de provas prismáticos, retratados pela Figura 5.

**FIGURA 5** - A esquerda, o modelo retratado de acordo com a dimensão da norma. A direita, modelo para produção de corpo de prova de argamassa na prática



Fonte: O autor, 2018

Concluída as etapas anteriores, transcorridas 24h, ambos os corpos de prova foram desenformados e colocados para cura em imersão, em hidróxido de cálcio, durante 28 dias, como prescrito pela norma ABNT NBR 5738/2015 Versão Corrigida: 2016. Após esse período, os mesmos foram submetidos a ensaios mecânicos de flexão de 3 pontos e compressão.

## **4 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS**

Neste item serão apresentados os métodos utilizados na caracterização mecânica e morfológica dos materiais e das amostras produzidas.

### **4.1 Análise Térmica**

A miscibilidade de componentes de uma mistura de materiais é estudada pelas medidas de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), e é evidenciada pelo deslocamento da transição vítrea (TG) e da temperatura de fusão cristalina (TM). Esta técnica, além de permitir estudar a existência de interações dos componentes da mistura, também possibilita o estudo do processo de cura (ligações cruzadas) dos elastômeros.

Medidas da perda de massa pela evaporação e degradação de um material são obtidas pela análise termogravimétrica (TG). Esta técnica também indica a estabilidade térmica do material, propriedade de suma importância para o estudo dos materiais produzidos.

As análises foram realizadas em um Equipamento SDT Q600 da marca TA Instruments, com a faixa de temperatura de 40 a 800°C, em um cadinho de alumina (recipiente onde se encontra a amostra em análise), atmosfera de ar (100 mL/min) e rampa de 5°C/min (taxa de aquecimento). Este equipamento pertence ao laboratório de Laboratório de Difração de Raios X, da faculdade de ciências e tecnologia - UNESP de Presidente Prudente - SP, sob responsabilidade do Prof. Doutor Silvio Rainho Teixeira.

### **4.2 Ensaio de Inflamabilidade**

Para este ensaio, o resíduo líquido é disposto sobre um vidro de relógio, onde é colocado um pavio de papel para dar início a queima do resíduo, e quando o papel é totalmente queimado, observa-se se o resíduo por si só consegue ser alimentado pela sua chama, concluindo então se é ou não um resíduo inflamável. Por questões de segurança, este ensaio foi realizado dentro de uma capela de exaustão de gases, pertencente ao Centro Universitário Toledo, situado na cidade de Presidente Prudente - SP.

### 4.3 Ensaio de Miscibilidade

No ensaio de miscibilidade, foi averiguado se o resíduo líquido interage ou não com a água. Neste ensaio, foi adicionado em quantidades arbitrárias água e resíduo na mesma proporção, no mesmo recipiente, onde foram submetidos a uma agitação manual por 60 segundos. Após esse tempo, foi então observado a interação resíduo-água.

### 4.4 Determinação da Massa Específica

Massa específica ( $\rho$ ) é uma propriedade física que resulta da relação de massa ( $m$ ) de uma substância pelo volume ( $v$ ) que ela ocupa, onde o resultado é expressado através da unidade  $\text{kg/m}^3$ . Para fluídos com massa específica uniforme, temos a equação:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

(Eq. 3)

Para a identificação do volume da substância, a mesma será colocada dentro de um béquer e medida; e para a obtenção da massa, esse mesmo béquer será disposto em uma balança analítica da marca SHIMADZU modelo ATY224, pertencente ao Centro Universitário Toledo, situado na cidade de Presidente Prudente - SP.

### 4.5 Ensaio de Flexão por Três Pontos

Este ensaio consiste em analisar as propriedades mecânicas do material, bem como sua resistência a tração e a sua deformação. A amostra com dimensões de  $4\text{cm} \times 4\text{cm} \times 16\text{cm}$  é posicionada no equipamento e então o mesmo reproduz uma carga  $P$ , que está sendo medida através de um *software*, no centro da amostra, que se encontra bi apoiada. Este equipamento também fornece o deslocamento e a tensão no material, e o ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios, modelo EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, marca

INSTRON/EMIC, de acordo com a norma ABNT NBR 13279/2005, que diz respeito a “Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão”.

#### **4.6 Ensaio Mecânico de Compressão**

Na fase sólida do resíduo, as propriedades mecânicas das amostras foram avaliadas pelo teste de compressão de acordo com norma ABNT NBR 5739/2018. Através desta técnica se poderá avaliar as propriedades mecânicas do novo material, como a resistência à compressão axial, possibilitando averiguar a influência do resíduo polimérico em relação a apresentada pelos elementos cerâmicos utilizados difundidos na construção civil. Os estudos foram realizados em uma máquina universal de ensaios, modelo EMIC PCE100C, marca INSTRON/EMIC, pertencente ao Centro Universitário Toledo, situado na cidade de Presidente Prudente - SP.

Já na fase líquida do resíduo, as amostras foram submetidas a ensaio de compressão na máquina universal de ensaios, modelo EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, marca INSTRON/EMIC, onde o resíduo possuía dimensões cúbicas de 40cm, seguindo a norma ABNT NBR 13279/2005.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

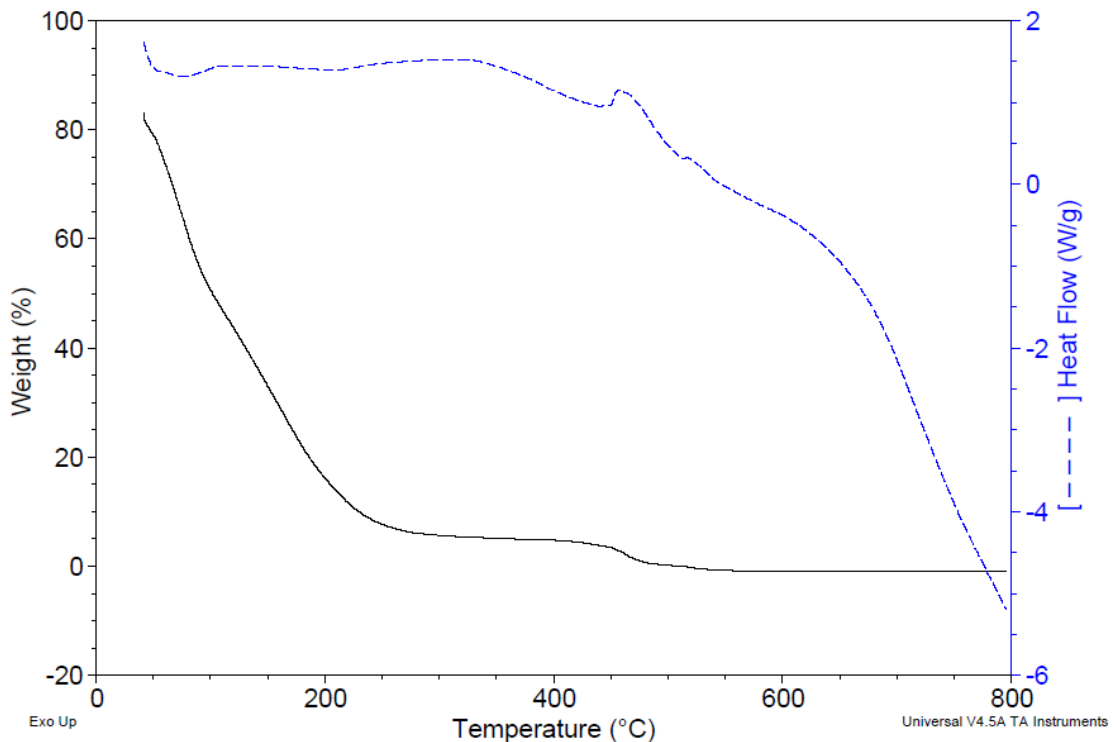
Neste tópico serão apresentados todos os resultados obtidos a partir dos ensaios de caracterização dos materiais.

### 5.1 Análise Térmica

Este ensaio foi realizado na fase líquida do resíduo, para se obter uma melhor caracterização do mesmo, a partir de sua variação de massa mediante aquecimento, e suas reações endotérmicas e exotérmicas.

O equipamento em questão fornece, com uma única amostra, o resultado de duas técnicas diferentes, sendo elas o TG e o DSC, devido a ambas serem análises térmicas do material. A linha preta representa a Análise Termogravimétrica, enquanto a linha pontilhada azul representa a Calorimetria Exploratória Diferencial. A Figura 6, representa esses dois resultados obtidos após a análise.

**FIGURA 6** - Análise térmica do resíduo líquido oriundo do plástico



Fonte: O autor, 2018

A amostra foi submetida até a temperatura de 800°C, onde, através do TG, se observou a degradação total do material, a qual ocorreu a temperaturas inferiores a 250 °C. Nota-se também que o processo ocorre somente em um estágio de perda, o que vem a corroborar a pureza do material utilizado, todavia tal estágio se dá ao longo de uma faixa de temperatura, o que pode indicar que o mesmo apresenta elementos em sua composição com diferentes temperaturas de degradação.

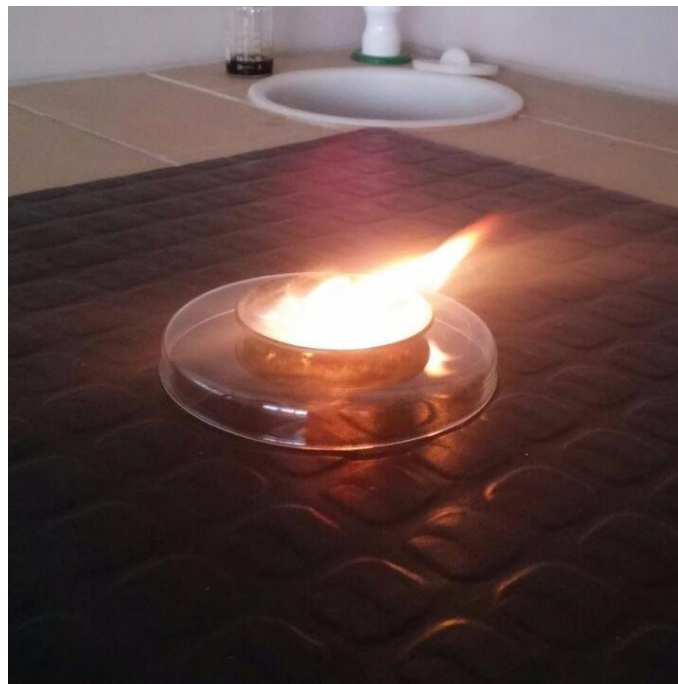
## 5.2 Ensaio de Inflamabilidade

Este ensaio foi realizado na fase líquida do resíduo, e com os resultados obtidos, apresentou características e propriedades que comprovam que o resíduo é altamente inflamável.

Ao término da queima do papel utilizado como pavio, o resíduo continuou reproduzindo o fogo por um longo período, até atingir a própria queima por completo, como retrata a Figura 7.

Este ensaio também comprova o que foi visto anteriormente na análise térmica pelo TG, onde o resíduo perdeu massa quando submetido a altas temperaturas.

**FIGURA 7** - Vidro de relógio durante teste de inflamabilidade



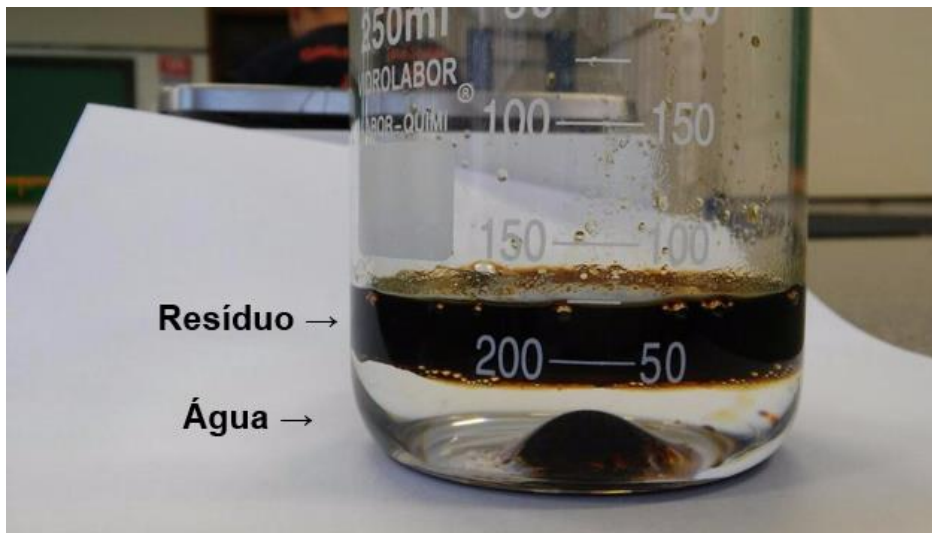
Fonte: O autor, 2018



### 5.3 Ensaio de Miscibilidade

O ensaio foi realizado em laboratório, onde após a realização da técnica, foi averiguado a interação dos elementos em estudo. A Figura 8 retrata o béquer após a agitação e o período de espera.

**FIGURA 8** - Ensaio de miscibilidade



Fonte: O autor, 2018

De acordo com a Figura 8, é possível identificar perfeitamente o resíduo e a água, separadamente, constatando então que o resíduo é hidrofóbico; além disso, podemos constatar também que o resíduo, por estar situado sobre a água, apresenta uma densidade menor que a mesma, como visto anteriormente através dos cálculos.

Ainda na Figura 8, é possível perceber também que o resíduo apresenta partículas mais densas do que a própria água, onde o acúmulo desses resíduos se deu na parte mais inferior do béquer.

### 5.4 Determinação da Massa Específica

A determinação foi realizada em laboratório, onde o resíduo foi medido em um béquer, para determinação exata de seu volume; posteriormente, esse mesmo resíduo foi pesado em uma balança analítica, para se obter a massa dessa mesma amostra.

Após a obtenção desses dados, os valores foram dispostos na equação descrita na metodologia deste trabalho, onde teve-se o valor correspondente a massa específica do material.

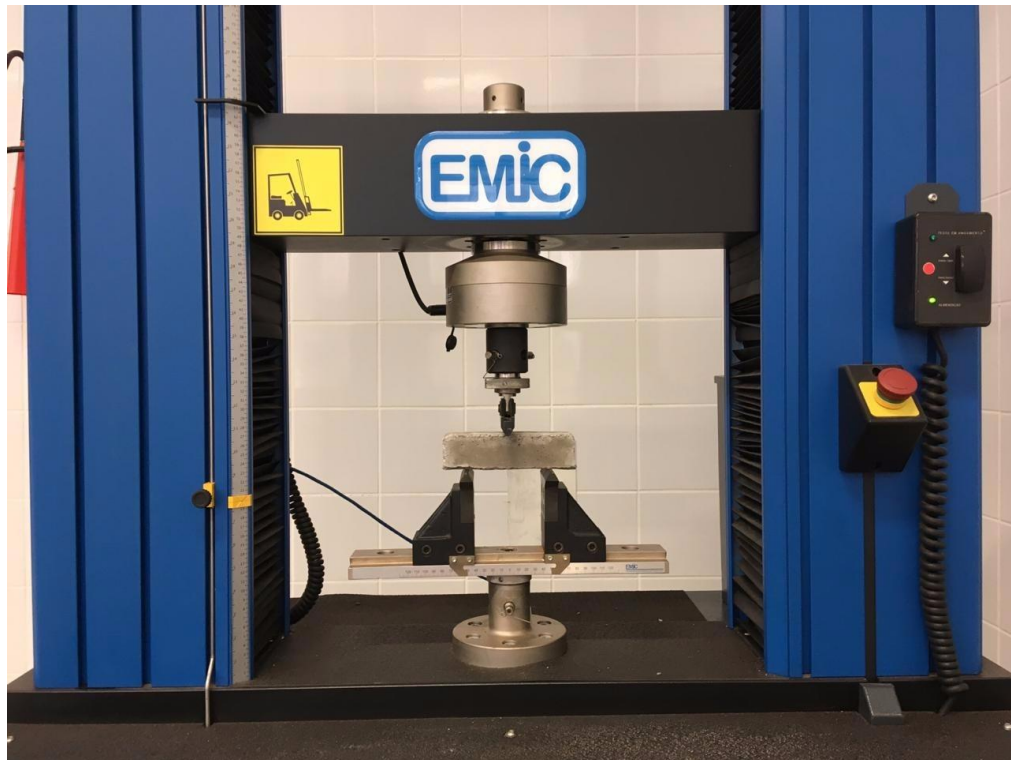
$$\rho = \frac{8,8109g}{10mL} = 0,88109 g/mL = 881,90 kg/m^3 \quad (\text{Eq. 3})$$

Com os cálculos realizados, conclui-se que o resíduo possui uma massa específica igual a 881,90 kg/m<sup>3</sup>, muito próximo quando comparado com o óleo SAE 30, que de acordo com o Apêndice E do portfólio da Mackenzie, é 888,89 kg/m<sup>3</sup>; essa proximidade pode ser explicada pelo fato de ambos os produtos serem provenientes do petróleo, e portanto, abre uma possível aplicação para o resíduo, que pode ser explorado amplamente em pesquisas futuras.

## 5.5 Ensaio de Flexão por Três Pontos

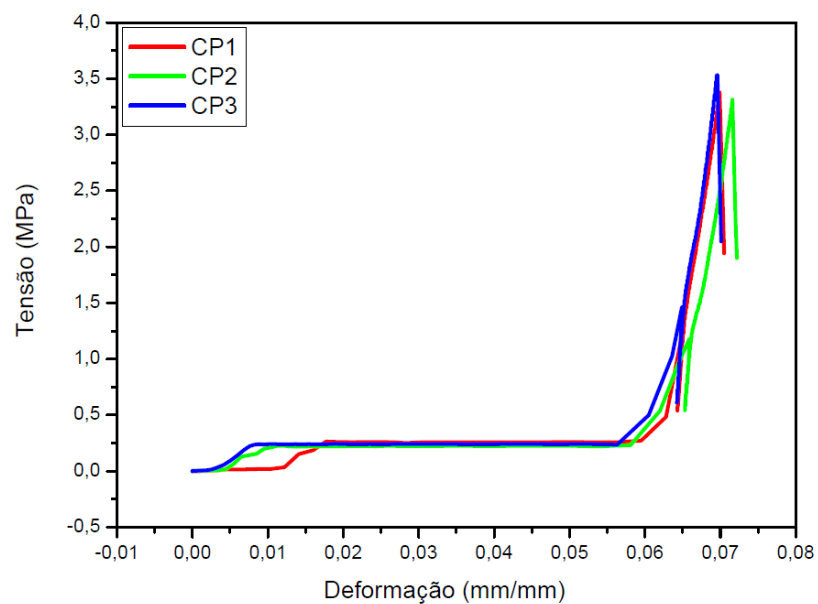
O ensaio foi realizado nos corpos de prova de argamassa, a partir de 28 dias de cura em hidróxido de cálcio. Com os resultados obtidos, foi possível retratar graficamente os deslocamentos do CP em função da tensão gerada mediante a carga aplicada.

A Figura 9 retrata o CP posicionado pronto para ser ensaiado. Com este ensaio, o corpo de prova é rompido próximo da metade da amostra, gerando dois fragmentos diferentes, onde os mesmos foram utilizados para realização do ensaio mecânico de compressão.

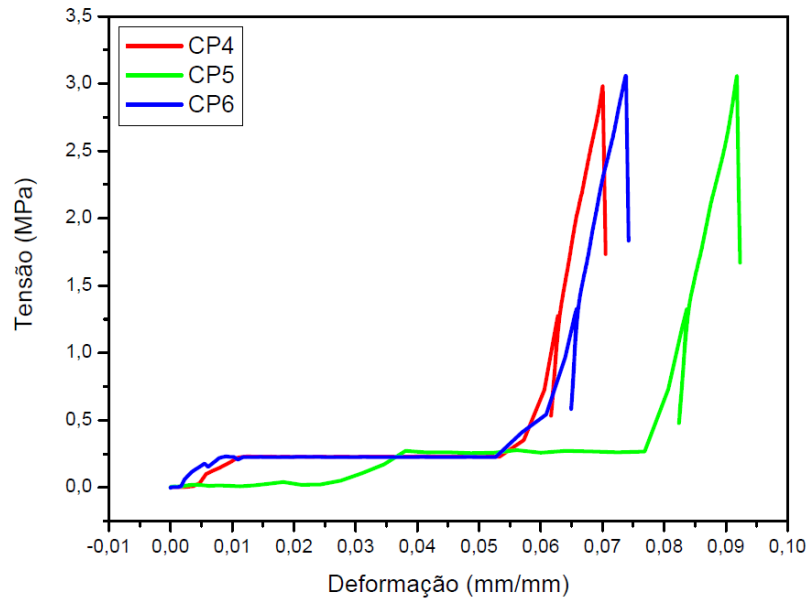
**FIGURA 9 - Ensaio de flexão de três pontos**

Fonte: O autor, 2018

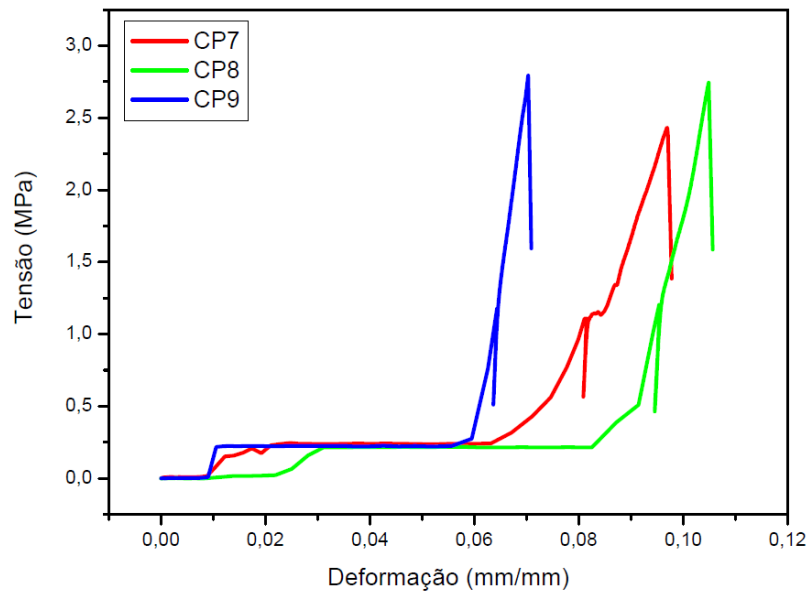
As amostras (triplicatas) foram ensaiadas de acordo com a porcentagem de resíduo inserida nelas, sendo 0%, 5% e 10%; as Figuras 10, 11 e 12 representam a resistência de cada porcentagem do resíduo.

**FIGURA 10 - Resultado com 0% de resíduo**

Fonte: O autor, 2018

**FIGURA 11 - Resultado com 5% de resíduo**

Fonte: O autor, 2018

**FIGURA 12 - Resultado com 10% de resíduo**

Fonte: O autor, 2018

A Tabela 3 representa de forma mais ampla os valores máximos obtidos com cada amostra, bem como sua deformação, também máxima. Posteriormente, os valores de tensão média, deformação e desvio padrão, todos a partir dos valores máximos de resultado.

**TABELA 3 –** Valores de tensão e deformação máximas obtidas para cada CP, além do valor médio

Amostras	Porcentagem de Resíduo	Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)	Média		
				Tensão (MPa)	Deformação (mm/mm)	Desvio Padrão (MPa)
CP 1	0%	3,376560	0,070510	3,407877	0,070950	0,113959
CP 2		3,312850	0,072200			
CP 3		3,534220	0,070140			
CP 4	5%	2,983700	0,070520	3,034190	0,079017	0,043729
CP 5		3,058920	0,092300			
CP 6		3,059950	0,074230			
CP 7	10%	2,432770	0,097820	2,656890	0,091473	0,195641
CP 8		2,744390	0,105670			
CP 9		2,793510	0,070930			

Fonte: O autor, 2018

Mediante os resultados obtidos, é possível afirmar que com a substituição da água pelo resíduo oriundo do plástico, houve uma queda de resistência a flexão, porém, um avanço na deformação gerada.

Esse fato está diretamente ligado as características poliméricas dos plásticos, que possibilita uma maior deformação pertencente ao seu regime elástico, já que o concreto convencional, por sua vez, não apresenta nenhuma característica polimérica, visto ser um material cerâmico.

A norma ABNT NBR 13281/2005 traz os parâmetros necessários para a argamassa, dizendo então que é necessário no mínimo uma resistência de 1,5MPa, enquadrando assim a argamassa aditivada com resíduo oriundo de plástico no quesito de resistência a flexão por 3 pontos.

## 5.6 Ensaio Mecânico de Compressão

Após realizados os capeamentos, os corpos de prova de concreto foram submetidos a ensaios mecânicos até a ruptura de acordo com a norma ABNT NBR 5739/2018.

Através desta técnica foi possível avaliar as propriedades mecânicas dos compósitos, averiguando-se a influência do resíduo polimérico em relação a apresentada pelos elementos cerâmicos utilizados difundidos na construção civil.

**FIGURA 13** - Equipamento de ensaio mecânico de compressão



Fonte: O autor, 2018

A partir desses ensaios, constatou-se que a inserção do resíduo, com o traço de 1:2,6:2,4, com o fator  $a/c = 0,6$ , apresentou os seguintes resultados:

**TABELA 4** - Resultados do ensaio de compressão em corpos de provas de concreto

Corpo de Prova	Porcentagem do Resíduo	Força (kN)	Tensão (MPa)
CP-1	0%	111.95	14.26
CP-2	0%	166.61	21.22
CP-3	50%	29.95	3.81
CP-4	50%	40.02	5.10

Fonte: O autor, 2018

A norma ABNT NBR 6136/2016 discorre sobre “Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural”, que são divididos em classe A e classe B.

O bloco de classe A aplica-se a alvenarias externas sem revestimento, onde o bloco deve possuir resistência característica à compressão maior do que 6 MPa, além de sua capacidade de vedação. O bloco de classe B aplica-se a alvenarias com revestimento, sujeita a ação de intempéries devendo possuir resistência característica à compressão de no mínimo 4,5 MPa.

Portanto, com os resultados obtidos, conclui-se que se torna possível o uso deste tipo de resíduo como substituição parcial de agregado graúdo apenas como blocos sem função estrutural, sendo para vedação e fechamento (classe B), já que apresentam uma resistência média de 4,45 MPa, inferior ao especificado pela norma.

Posteriormente, foi avaliada a resistência do mesmo, em sua fase líquida, como aditivo.

Os ensaios mecânicos acontecerem com as metades obtidas no ensaio de flexão de 3 pontos, como retratado pela norma vigente, e foram posicionados como retrata a Figura 14.

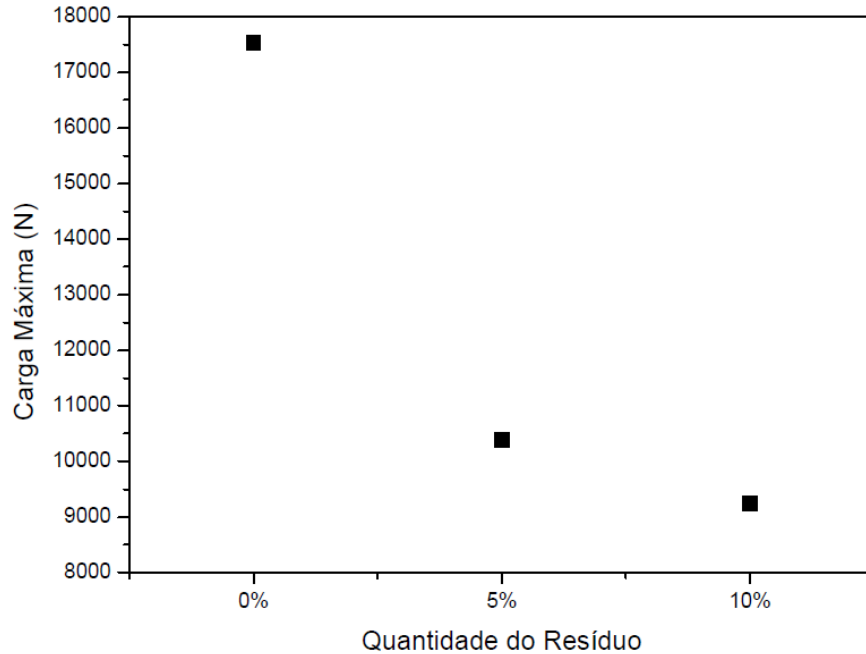
**FIGURA 14 -** Ensaio de compressão de argamassa



Fonte: O autor, 2018

Os resultados deste ensaio são apresentados na Figura 15.

**FIGURA 15 - Resultados de compressão**



Fonte: O autor, 2018

Como cada amostra de flexão gerou 2 amostras de compressão, e são 3 amostras de flexão por porcentagem de resíduo (triplicata), o resultado plotado na Figura 15, foi o maior valor obtido dentre os 6 fragmentos em estudo, sendo eles 17530,80 N, 10394,88 N e 9239,36 N, respectivamente.

Com esse resultado, é possível afirmar que a inserção do resíduo propiciou uma queda abrupta da resistência mecânica, e que quanto mais resíduo é inserido na argamassa, menor é sua resistência, como retratado na Tabela 5.

**TABELA 5 - Tensão dos corpos de prova**

Força (N)	Área (m <sup>2</sup> )	Tensão (MPa)
17530,80	0,0016	10,96
10394,88		6,50
9239,36		5,77

Fonte: O autor, 2018



Porém, a ABNT NBR 15812-1/2010 diz que a resistência da argamassa de assentamento para alvenaria estrutural de blocos cerâmicos deve ser de no mínimo 1,5MPa, o que possibilita a inserção desse resíduo em argamassa de assentamento em alvenaria estrutural, em questão a sua resistência mecânica a compressão.

Com este fato, o uso deste aditivo na confecção de argamassa de assentamento se torna de maior interesse, visando o apelo ambiental quanto ao direcionamento de forma correta do lixo eletrônico.

## 6 CONCLUSÃO

Diante dos fatos expostos, é possível concluir que há uma grande problemática com a notável geração de lixo eletrônico, que só tende a crescer e se tornar um problema maior, visto que não há nenhum plano atualmente para cessar essa produção, diante das necessidades mundiais.

Com os resultados obtidos em sua fase sólida, verificou-se que não é plausível o uso desses elementos plásticos em elementos cimentícios como elementos estruturais, visto que não possui a resistência necessária para tal aplicação, conforme a norma. Porém, uma possível aplicação, seria a alvenaria de fechamento, visto que possui os requisitos para o mesmo.

Já na sua fase líquida, se observou uma queda de resistência mecânica após a inserção do resíduo; porém, o resíduo ainda se manteve acima do exigido pela norma, possibilitando a sua inserção no mesmo em argamassa. Em sua possível aplicação, contempla locais onde não há muita movimentação de pessoas, devido ao odor emitido pelo líquido; nem locais onde há risco de explosão, devido ao fato do resíduo ser inflamável; esse item pode ser estudado de forma mais aprofundada em pesquisas futuras, visando uma minimização ou uma solução para o problema relacionado ao odor e a inflamabilidade do líquido.

Com este projeto, é possível destinar de maneira ambientalmente correta o lixo eletrônico dando além de uma finalidade correta, uma possível aplicação para o ramo da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 10004/2004 - **Resíduos sólidos – Classificação**. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 11768/2011 - **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos**. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR NM 67/1998 - **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 5738/2015 Versão Corrigida: 2016 - **Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13279/2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão**. 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 5739/2018 – **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13281/2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 6136/2016 – **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural**. 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15812-1/2010 – **Alvenaria Estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 1: Projetos**. 2010

BARGA, Leonardo et al, “**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF RECYCLED MORTAR WITH TOTAL AND PARTIAL REPLACEMENT OF THE SAND BY CONSTRUCTION AND DEMOLITION RESIDUE**”, 2018.

CAMPORA, Fábio, “**Componentes: Argamassas e Equipamentos**”. Seminário Argamassa Projetada: Sistema de Revestimento Racionalizado, 2012

CERRI, Alberto, 2012, “**Mercúrio, cádmio e chumbo: os inimigos íntimos presentes nos eletrônicos**” Disponível em:< <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/428-mercurio-cadmio-e-chumbo-os-inimigos-intimos-presentes-nos-eletronicos.html>>. Acesso em 18 de mai. 2018.

COELHO L.C., Ph.D “**Logística reversa para o lixo eletrônico**”, 2011. Disponível em:< <https://www.logisticadescomplicada.com/logistica-reversa-para-o-lixo-eletronico/>>. Acesso em 11 de jan. 2018.

D'ARRUIZ, E.H. e CATANEO, P.F. **“E-LIXO – COMO DIMINUIR AS CONSEQUÊNCIAS CAUSADAS PELO LIXO ELETRÔNICO, EM BUSCA DE UMA INFORMÁTICA SUSTENTÁVEL”**, 2009. Disponível em:<<http://intertemas.toledoprudente.edu.br/revista/index.php/ETIC/article/viewFile/2141/2335>>. Acesso em 18 de mai. de 2018.

DA FONSECA, Gustavo Celso. **ADIÇÕES MINERAIS E AS DISPOSIÇÕES NORMATIVAS RELATIVAS À PRODUÇÃO DE CONCRETO NO BRASIL: UMA ABORDAGEM EPISTÊMICA**. 2010, 106p.

Editora Abril (2010). Revista Exame: **“Brasil produz muito lixo eletrônico, diz ONU”**. São Paulo, SP. Disponível em:<<http://exame.abril.com.br/mundo/noticias/brasil-emergente-mais-produz-lixo-eletronico-diz-onu-535153>>. Acesso em 11 de jul. 2016.

FOGAÇA, Jennifer. Manual da Química. **“DESTILAÇÃO”**. 2018. Disponível em <<https://manualdaquimica.uol.com.br/quimica-geral/destilacao.htm>> Acesso em 06 de nov. 2018.

GUIMARÃES, Laio. **CONCRETOS ESPECIAIS**. 2016. Disponível em <<https://civilizacaoengenhaira.wordpress.com/2016/03/30/concretos-especiais/>>; Acesso em 21 de agosto de 2018.

HIRAYAMA, Denise e SARON, Clodoaldo. **“Characterisation of recycled acrylonitrile-butadiene-styrene and high-impact polystyrene from waste computer equipment in Brazil. Waste Management and Research”**, 2015.

HIRAYAMA, Denise e SARON, Clodoaldo. **“Reciclagem do copolímero acrilonitrila-butadieno-estireno e do poliestireno de alto impacto oriundos de rejeitos de equipamentos elétricos e eletrônicos na forma de blendas poliméricas”**, 2015.

JUNIOR, José de Almeida Freitas. **ADITIVOS E ADIÇÕES MINERAIS PARA CONCRETO**. 2017

MACIEL, Camila. **“Brasil já tem 136 milhões de computadores em uso, aponta FGV”**, 2014. Disponível em:<<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-04/brasil-ja-tem-136-milhoes-de-computadores-em-uso-aponta-fgv>>. Acesso em 10 de jul. 2016.

MOI, P.C.P. et al., **“LIXO ELETRÔNICO: CONSEQUÊNCIAS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES”**, 2012

NEVILLE, A.M. **PROPRIEDADES DO CONCRETO**. 5. ed. Porto Alegre, Bookman Editora, 2016, 887p.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA. **Recycling – From E-Waste to Resources, Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies**. United Nations University, julho de 2009.

**RODRIGUES, A.C., “Fluxo domiciliar de geração e destinação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de São Paulo/SP: caracterização e subsídios para políticas públicas”, 2012.**

**RODRIGUES, A.C., “Impactos Sócio-ambientais dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: Estudo da Cadeia Pós-consumo no Brasil”, Santa Bárbara D’Oeste; 2007. 303 p. (Dissertação de Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e urbanismo da UNIMEP.**