



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ARGAMASSAS  
INCORPORADAS COM PET MICRONIZADO**

**ALINNE LIRA DE ASSIS**

Orientador: Prof. Dr. José Bezerra da Silva.  
Co-orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Campina Grande-PB, junho de 2017.

**DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ARGAMASSAS  
INCORPORADAS COM PET MICRONIZADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, junho de 2017.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**ALINNE LIRA DE ASSIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal  
de Campina Grande como requisito  
para obtenção do grau de Bacharel  
em Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas

Orientador: Prof. Dr. José Bezerra da Silva.  
Co-orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

Junho de 2017

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ALINNE LIRA DE ASSIS**

## **DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ARGAMASSAS INCORPORADAS COM PET MICRONIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 19/06/2017  
perante a seguinte Comissão Julgadora:

---

Prof. Dr. José Bezerra da Silva  
Orientador

Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Profª. PhD. Ana Maria G. Duarte Mendonça  
Examinador Interno

Departamento de Engenharia Civil  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Profª. Msc. Loredanna Melyssa Costa de Souza  
Examinador Externo

Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Federal de Campina Grande

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitária, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A meus pais, por serem os maiores incentivadores desta conquista e por estarem sempre ao meu lado me apoiando em todos os momentos.

A minha irmã Alanna, pela amizade e parceria.

Ao meu amor Wilker, por todo amor, carinho e principalmente compreensão em todos momentos.

Ao meu querido orientador, professor José Bezerra da Silva, agradeço pelos ensinamentos.

A minha querida co-orientadora e professora Ana Maria, por toda dedicação e ensinamentos.

Aos meus queridos amigos Yana, Pedro, Fernando, João, Jordy e Marronney por compartilharem os momentos bons e também aqueles mais difíceis, no decorrer da graduação.

## **DEDICATÓRIA**

A meus pais Diassis e Aparecida, pois mesmo com todas as dificuldades eles estiveram ao meu lado, priorizando sempre a minha graduação, deixando de lado suas próprias vontades e se concentrando na minha formação. A eles eu dedico este trabalho e todo o meu amor.

*“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.”*

*Roberto Shinyashiki*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Critérios de um processo construtivo sustentável .....	20
Figura 2: Triple Bottom Line ou tripé da sustentabilidade.....	21
Figura 3: Ciclo de vida do projeto .....	22
Figura 4: Polímero de cadeia homogênea .....	23
Figura 5: Polímero de cadeia heterogênea .....	24
Figura 6: Polímero com estrutura amorfa .....	25
Figura 7: Polímero com estrutura cristalina .....	25
Figura 8: Estrutura molecular do PET .....	27
Figura 9: Símbolo de reciclagem do PET .....	28
Figura 10: Evolução da Reciclagem do PET no Brasil .....	29
Figura 11: Recicladores brasileiros com mais de 5 anos de atividade. ....	29
Figura 12: Modelo de aderência da argamassa sobre a base. ....	35
Figura 13: Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre hastes porosas.....	35
Figura 14: Fissuras causadas por retração plástica .....	38
Figura 15: Fissuras e descolamentos causados pela retração por secagem. ....	39
Figura 16: Agregado miúdo (areia quartzosa) .....	41
Figura 17: Curva Granulométrica do agregado miúdo .....	42
Figura 18: Cimento Portland CII-Z .....	44
Figura 19: PET micronizado .....	45
Figura 20: Cal hidratada .....	45
Figura 21: Fluxograma das etapas da pesquisa .....	46
Figura 22: Equipamento utilizado para realização de ensaios de análises térmicas ..	47

Figura 23: Determinação da massa específica do agregado miúdo - Frasco Chapman .....	48
Figura 24: Execução do ensaio de determinação da massa unitária no estado solto..	49
Figura 25: Moldagem corpos de prova .....	51
Figura 26: Imersão dos corpos de prova .....	51
Figura 27: Secagem dos corpos de prova em estufa .....	52
Figura 28: Distribuição granulométrica por difração a laser da cal hidratada. ....	53
Figura 29: Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para o Politereftalato de etileno triturado. ....	53
Figura 30: Análise termodiferencial e termogravimétrica do PET triturado. ....	54
Figura 31: Espectroscopia de infravermelho do Politereftalato de etileno .....	55
Figura 32: Absorção de água para a argamassa aos 7 dias .....	56
Figura 33: Absorção de água para a argamassa aos 14 dias .....	57
Figura 34: Absorção de água para a argamassa aos 28 dias .....	58
Figura 35: Absorção de água para as argamassas nas idades de 7, 14 e 28 dias .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formas de recolhimento do PET para reciclagem .....	29
Tabela 2: Tipos de argamassas e suas funções .....	32
Tabela 3: Tipos Caracterização física do agregado miúdo.....	41
Tabela 4: Composição Granulométrica do agregado miúdo.....	42
Tabela 5: Resultados da Caracterização física do Cimento .....	44
Tabela 6: Composição química da Cal Hidratada .....	52
Tabela 7: Absorção por imersão aos 7 dias .....	56
Tabela 8: Absorção por imersão aos 14 dias .....	57
Tabela 9: Absorção por imersão aos 28 dias .....	58
Tabela 10: Absorção de água para as argamassas nas idades de 7, 14 e 28 dias .....	59

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma alternativa de reutilização de garrafas de poli-tereftalato de etileno (PET) na substituição do agregado miúdo das argamassas de revestimento, podendo auxiliar na redução dos custos e no aumento dos índices de reciclagem desse material diminuindo assim o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado do mesmo. Já que as garrafas PET tem demonstrado bastante resistência mecânica e térmica, o que as tornam fortes candidatas para ser utilizadas no ramo da construção civil. Devido ao alto crescimento da população de consumo e também pela dificuldade de decomposição deste material, a utilização desses resíduos como matéria-prima tem sido adotada como solução para os graves impactos ambientais, principalmente em áreas urbanas e marinhas. Este trabalho tem como objetivo determinar a absorção por imersão em água de argamassas incorporadas com teores de 10% e 15% de PET micronizado, através da moldagem de corpos de prova para cada teor. Assim se faz necessário definir as alterações que essa incorporação acarretará na absorção de água dessas argamassas. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se um aumento na absorção de água por parte dos corpos de prova a medida em que se aumentou o teor de PET, indicando que a utilização do PET micronizado na composição de argamassas ocasiona uma maior permeabilidade com um possível aumento no índice de vazios do material, proporcionando assim uma maior captação de água por meio da sua superfície

**Palavras-chave:** Impacto ambiental; Reciclagem; Propriedades; Material Alternativo.

## ABSTRACT

The present work presents an alternative of reuse of polyethylene terephthalate (PET) bottles in the replacement of the small aggregate of mortars, which can help reduce costs and increase the recycling rates of this material, thus reducing the environmental impact caused by the disposal. The same. Since PET bottles have shown a lot of mechanical and thermal resistance, which makes them strong candidates for use in the construction industry. Due to the high growth of the consumption population and also the difficulty of decomposing this material, the use of this waste as raw material has been adopted as a solution to the serious environmental impacts, especially in urban and marine areas. This work aims to determine the absorption by water immersion of incorporated mortar with contents of 10% and 15% of micronized PET, through the molding of specimens for each content. Thus it is necessary to define the changes that this incorporation will entail in the water absorption of these mortars. According to the results obtained, there was an increase in the water absorption by the specimens as the PET content increased, indicating that the use of micronized PET in the mortar composition causes a greater permeability with a possible increase in the void index of the material, thus providing a greater uptake of water through its surface.

**Key words:** Environmental impact; Recycling; Properties; Alternative Material.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS .....	17
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos .....	17
3. JUSTIFICATIVA.....	18
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	19
4.1 Sustentabilidade na Construção Civil .....	19
4.2 Polímeros.....	22
4.2.1 Classificação dos polímeros .....	23
a. Quanto a ocorrência: .....	23
b. Quanto a natureza da cadeia.....	23
c. Quanto ao Comportamento Mecânico: .....	24
d. Quanto ao Comportamento Térmico:.....	24
e. Quanto ao Grau de Organização Molecular:.....	24
4.2.2 Vantagens e Desvantagens dos polímeros.....	25
4.3 PET e Reciclagem .....	27
4.4 Uso de fibras na Construção Civil .....	30
4.5 Utilização de Produtos Reciclados de PET na Construção Civil .....	30
4.6 Importância das Argamassas na Construção Civil .....	31
4.6.1 Propriedades da argamassa no estado fresco.....	33
a. Trabalhabilidade .....	33
b. Aderência inicial.....	34
c. Retenção de água .....	36
d. Teor de ar incorporado .....	36
4.6.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido.....	36
b. Módulo de elasticidade de argamassas .....	37
c. Retração.....	38

d. Densidade, absorção de água e porosidade.....	39
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	41
5.1 Materiais .....	41
5.2 Métodos .....	46
5.2.1 Seleção de Materiais .....	46
5.2.2 Caracterização dos Materiais .....	47
5.2.2.1 Caracterização Química, Física e Mineralógica do Politereftalato De Etileno – PET .....	47
5.2.2.2 Caracterização Física dos Agregados e do Cimento .....	47
5.3 Estudo da Dosagem dos Materiais.....	50
5.4 Moldagem dos corpos de prova: Determinação da Absorção de Água das Argamassas Incorporadas com PET Micronizado.....	50
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
6.1 Caracterização da Cal.....	52
6.2 Caracterização do Politereftalato de Etileno – PET micronizado .....	53
6.3 Ensaio de absorção de água por imersão .....	55
7. CONCLUSÕES.....	60
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	61
9. REFERÊNCIAS .....	62

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 13281 (2005): “argamassa é a mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

São utilizadas na construção civil para assentamento de tijolos, blocos cerâmicos, azulejos, ladrilhos, cerâmicas e tacos, impermeabilização de superfícies, revestimento e regularização de paredes, pisos e tetos e acabamento de superfícies.

O PET – poli (etileno tereftalato) ou poli (tereftalato de etileno) –, é um polímero desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Winfield e Dickson. Este polímero, obtido com alto peso molecular foi reconhecido na época como tendo potencial para aplicações como fibra e, somente na década de 60, com o filme de PET biorientado, passou a ter grande aceitação para acondicionamento de alimentos. Em 1973, o processo de injeção e sopro com biorientação, desenvolvido pela Du Pont, introduziu o PET na aplicação como garrafa, o que revolucionou o mercado de embalagens, principalmente o de bebidas carbonatadas. Ele chegou ao Brasil apenas em 1989. (FORMIGONI e CAMPOS, 2012).

Tendo como concorrentes diretas as garrafas de vidro, não houve resistência para que a indústria de refrigerantes trocasse suas embalagens para o PET, pois suas características como material transformaram-se nas vantagens relacionadas abaixo (FORMIGONI e CAMPOS, 2012):

- Excelente estabilidade dimensional;
- Fácil conformação, versatilidade de design e cores;
- Fácil processamento, levando a alta produtividade e rendimento;
- Custos competitivos;
- Alta resistência ao impacto, segurança no manuseio e eliminação de perda no transporte;

- Alta resistência a pressão interna;
- Peso reduzido, levando a redução no preço do frete;
- Totalmente reciclável (100%).

O alto crescimento da população de consumo tem aumentado a diversidade de materiais descartáveis e a redução da vida útil dos produtos. A fim de reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado desse material, buscam-se novas alternativas para reutilização destas embalagens como a apresentada nesse trabalho, utilizando resíduo na produção de argamassa convencional, através da substituição parcial de agregado miúdo natural (areia natural) por agregado reciclado de PET micronizado. O objetivo é avaliar a influência da substituição parcial de 10% e 15% de agregado reciclado de PET na absorção de água da argamassa, comparando os resultados da substituição com argamassa produzida com 100% de areia natural, nas idades de 7, 14 e 28 dias.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este projeto tem como objetivo principal, determinar a absorção de argamassas incorporadas de partículas de PET micronizado.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Estabelecer um traço com substituição do agregado miúdo por PET triturado;
- Determinar a absorção de água de argamassas incorporadas de partículas de PET micronizado nos teores de 10% e 15%.
- Minimizar os efeitos nocivos ao meio ambiente devido à disposição inadequada do resíduo de PET.

### **3. JUSTIFICATIVA**

O alto crescimento da população de consumo tem aumentado a diversidade de materiais descartáveis e a redução da vida útil dos produtos. Grande parte desses materiais não é biodegradável, e acabam sendo destinados a lixões e aterros sanitários, ou até mesmo descartados em locais impróprios, o que causa grave impacto ambiental, principalmente em áreas urbanas e marinhas.

As garrafas PET tem demonstrado bastante resistência mecânica e térmica, o que as tornam fortes candidatas para ser utilizadas no ramo da construção civil como um tipo de matéria-prima alternativa, diminuindo os custos na gestão de resíduos e preservando o meio ambiente.

A utilização de agregados reciclados para produção de argamassas e concretos apresentam vantagens técnicas, ambientais, econômicas e sociais. Assim a utilização do PET micronizado em argamassa, possibilitará a preservação dos recursos naturais, redução do custo das argamassas e do consumo de energia e a redução do impacto ambiental causado pela disposição inadequada do resíduo, buscando dessa forma atender os requisitos da sustentabilidade.

## 4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Sustentabilidade na Construção Civil

Segundo o Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção (CIB, 2017) construção sustentável é: “o processo holístico para restabelecer e manter a harmonia entre os ambientes natural e construído e criar estabelecimentos que confirmem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica”.

Segundo Araújo (2008) desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades.

*Edificação sustentável é aquela que pode manter moderadamente ou melhorar a qualidade de vida e harmonizar-se com o clima, a tradição, a cultura e o ambiente na região, ao mesmo tempo em que conserva a energia e os recursos, recicla materiais e reduz as substâncias perigosas dentro da capacidade dos ecossistemas locais e globais, ao longo do ciclo de vida do edifício. (ISO/TC 59/SC3 N 459 apud ARAÚJO, 2008).*

Uma gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos deve priorizar sempre a redução da geração de resíduos na fonte. No entanto, quando não houver essa possibilidade, deve-se buscar a reutilização ou a reciclagem. E quando não for possível reciclá-los é que esses resíduos devem ser incinerados (com recuperação de energia) ou aterrados (CORRÊA, 2009).

Para uma edificação ser sustentável é necessário buscar soluções que priorizem o baixo impacto ao meio ambiente, desde a concepção do projeto, a especificação dos materiais, a construção e operação/manutenção da edificação.

A incorporação de práticas de sustentabilidade na construção é uma tendência crescente no mercado e diferentes agentes – tais como governos, consumidores, investidores e associações – alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas em suas atividades.

Para tanto, o setor da construção precisa se engajar cada vez mais. As empresas devem mudar sua forma de produzir e gerir suas obras, buscando soluções que sejam economicamente relevantes e viáveis para o empreendimento.

A utilização de resíduos é uma das formas de melhorar a oferta de materiais de construção, tornando possível à redução do valor dos insumos e gerando benefícios sociais por meio da política habitacional. Estes benefícios podem surgir devido aos incentivos dados à produção de habitações de baixa renda, empregando-se produtos de desempenho comprovado (CORRÊA, 2009).

Para Corrêa (2009) qualquer empreendimento humano para ser sustentável deve atender de modo equilibrado, a quatro requisitos básicos: Adequação ambiental; Viabilidade econômica; Justiça social; Aceitação cultural.

Segundo Corrêa (2009) a minimização de resíduos é uma das principais maneiras de se reduzir o impacto ambiental. Através de processos ao longo do ciclo de vida da construção, desde a racionalização do processo construtivo, componentes reusados e/ou renováveis, até o fim do seu ciclo de vida. O desenvolvimento desse processo objetiva ampliar os benefícios ambientais conseguidos com cada um dos critérios mostrados na Figura 1.

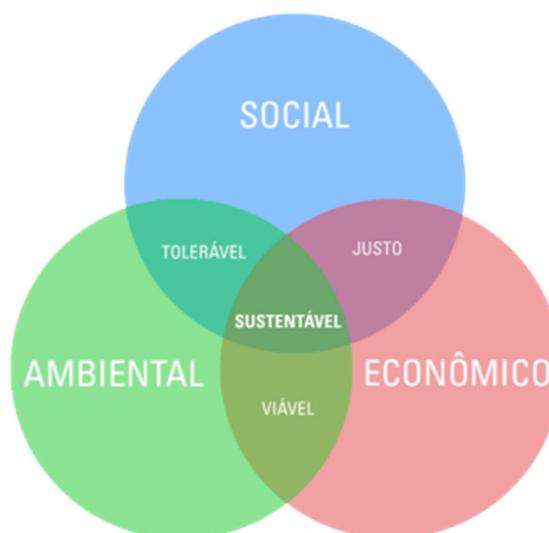
**Figura 1** – Critérios de um processo construtivo sustentável



**Fonte:** CORRÊA, 2009.

O empreendimento sustentável mantém uma relação mais harmônica com o meio ambiente em que está inserido e tem reflexos positivos nos grupos humanos que deles dependem ou com os quais são obrigados a conviver. Assim, só podemos considerar sustentável o empreendimento que envolve os aspectos econômicos, sociais e ambientais de forma equilibrada. Esse tripé é conhecido como Triple Bottom Line, mostrado na figura 2.

**Figura 2** – Triple Bottom Line ou tripé da sustentabilidade



**Fonte:** <http://certificacaoiso.com.br/sustentabilidade-na-construcao-civil-com-pbqp-h/>

Pensando na ideia de sustentabilidade, demonstrando estarem de acordo com práticas sustentáveis, diversas empresas vêm recorrendo a normas que estabeleçam regras de aprimoramento dos Sistemas de Gestão Ambiental. Nesse sentido a ISO 14001 é uma ferramenta criada para auxiliar empresas a identificar, priorizar e gerenciar seus riscos ambientais como parte de suas práticas usuais. Essa norma faz com que a empresa dê uma maior atenção às questões mais relevantes de seu negócio, exigindo que as empresas se comprometam com a prevenção da poluição e com melhorias contínuas, como parte do ciclo normal de gestão empresarial (RIEKSTI, 2010).

A norma ISO 14001 baseia-se no ciclo PDCA “conjunto de ações ordenadas interligadas entre si, dispostas graficamente em um círculo em que

cada quadrante corresponde a uma fase do processo de planejamento”, como mostrado na Figura 3 (Mattos, 2010).

**Figura 3** – Ciclo de vida do projeto



Fonte: <http://gestaouan.blogspot.com.br/2014/02/ciclo-pdca.html>

## 4.2 Polímeros

Segundo Canevarolo (2006), polímero é uma macromolécula composta por unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria-prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. Dependendo do tipo do monômero (estrutura química), do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, poderemos dividir os polímeros em três grandes classes: Plásticos, Borrachas e Fibras.

A estrutura do estado sólido em polímeros consiste no modo como as cadeias moleculares estão empacotadas formando a massa sólida. Este pode ser desordenado, formando a fase amorfa; ou ordenado, regular e repetitivo, definindo a fase cristalina. Assim, a cristalinidade em polímeros consiste no alinhamento de segmentos de cadeias em um arranjo tridimensionalmente perfeito (CANEVAROLO, 2006).

### 4.2.1 Classificação dos polímeros

Kantoviscki (2011) classifica os polímeros com relação a diversas características, tais como:

**a.** Quanto a ocorrência:

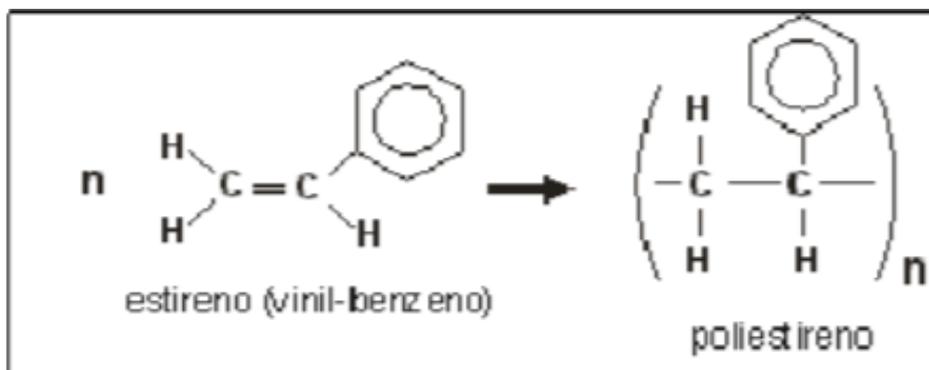
Naturais: polímeros que já existem normalmente na natureza. Exemplos: celulose, amido, látex natural, fibras naturais (algodão, seda, juta, etc.), âmbar.

Sintéticos: fabricados pelo homem, a partir de moléculas simples. Exemplos: polietileno, fibras sintéticas (náilon, poliéster, rayon, etc); polipropileno; poliamidas; acrílico.

**b.** Quanto a natureza da cadeia.

Polímero de cadeia homogênea: Quando o esqueleto da cadeia é formado apenas por átomos de carbono, conforme mostrado na Figura 4.

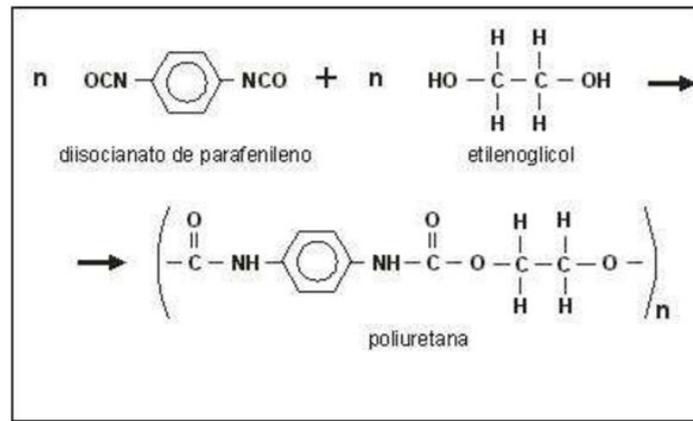
**Figura 4** – Polímero de cadeia homogênea



**Fonte:** KANTOVISCKI (2011).

Polímero de cadeia heterogênea: Quando no esqueleto da cadeia existem átomos diferentes de carbono (heteroátomos), conforme ilustra a Figura 5.

**Figura 5 – Polímero de cadeia heterogênea**



Fonte: KANTOVISCKI (2011).

**c. Quanto ao Comportamento Mecânico:**

Borrachas: apresentam módulos de elasticidade de 10 à 100 psi;

Plásticos: com módulos de elasticidade de 1.000 à 10.000 psi;

Fibras: com módulos de elasticidade de 100.000 à 1.000.000 psi.

**d. Quanto ao Comportamento Térmico:**

Termoplásticos: são moléculas constituídas de cadeias predominantemente lineares, eventualmente apresentando ramificações, que necessitam de calor para serem deformados. Estes materiais podem, teoricamente, ser fundidos diversas vezes e moldados em novas formas, sem que ocorra alteração significativa das suas propriedades.

Termofixos: são plásticos moldados para uma determinada forma permanente e depois endurecidos. Seu aquecimento promove decomposição do material antes de sua fusão. Logo, sua reciclagem é complicada.

**e. Quanto ao Grau de Organização Molecular:**

Amorfos: são caracterizados por um arranjo molecular desordenado, ou seja, não possuem uma organização estrutural entre as cadeias poliméricas, como ilustra a Figura 6.

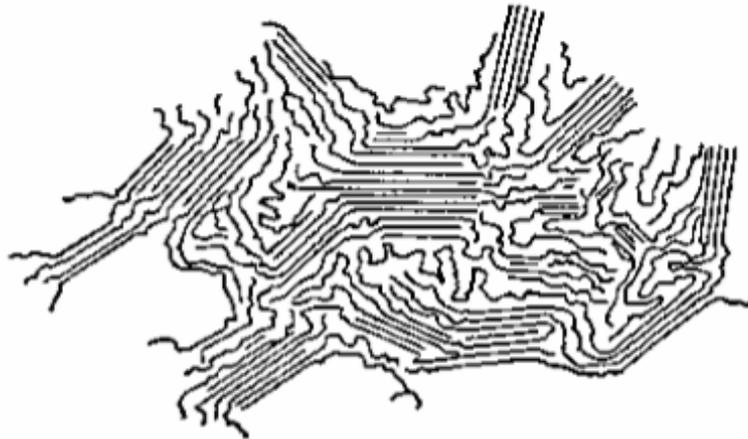
**Figura 6 – Polímero com estrutura amorfa**



**Fonte:** KANTOVISCKI (2011).

Cristalinos: são caracterizados pela capacidade das moléculas, ou de forma mais correta, dos segmentos das moléculas, formarem uma ordenação tridimensional, dando origem aos cristais, como mostra o exemplo da Figura 7.

**Figura 7 – Polímero com estrutura cristalina**



**Fonte:** KANTOVISCKI (2011).

#### **4.2.2 Vantagens e Desvantagens dos polímeros**

Segundo Soares Filho et. al (2011) o que determina as vantagens e desvantagens da utilização dos polímeros são as características básicas desse tipo de material.

##### **Vantagens:**

- Leves;

- alta resistência à corrosão;
- baixo custo;
- baixo coeficiente de atrito;
- baixa condutividade térmica;
- isolante elétrico;
- facilidade de fabricação e manuseio;
- recicláveis, na grande maioria;
- dispensa pintura;
- alguns são transparentes e translúcidos;
- absorção de vibrações.

#### **Desvantagens:**

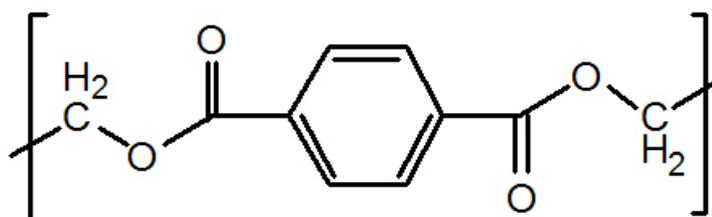
- baixa resistência à temperatura;
- baixa resistência mecânica;
- insegurança nas informações técnicas;
- pouca estabilidade dimensional;
- alto coeficiente de dilatação;
- são combustíveis, ou capazes de alimentar vagarosamente a combustão.

A principal desvantagem associada à utilização dos materiais poliméricos é o fato de demorarem muito tempo para se degradarem no meio ambiente. O que se faz necessário a reciclagem desses materiais. Porém, alguns polímeros não podem ser reciclados de forma direta, pois não existe uma forma de refundí-los ou depolimerizá-los. Quando não é possível a reciclagem pode-se queimá-lo, o que também acarreta também numa desvantagem pelo fato de a queima proporcionar a produção de gases tóxicos. Além do fato de que a reciclagem para a maioria dos termoplásticos não ser economicamente viável devido ao seu baixo preço. O PET, ao contrário, por ser amplamente consumido passa a ter um bom potencial econômico, mesmo sendo um produto barato (SOARES FILHO et al., 2011).

### 4.3 PET e Reciclagem

O Politereftalato de etileno é um poliéster, polímero termoplástico produzido através da polimerização que proporciona a união de monômeros para formar polímeros (VALT, 2009). A Figura 8 ilustra a estrutura molecular do PET.

**Figura 8** – Estrutura molecular do PET



Fonte: ABIPET (2012).

Segundo a ABIPET (2016), o PET chegou ao Brasil em 1988 e seguiu uma trajetória semelhante ao resto do mundo, sendo utilizado primeiramente na indústria têxtil. Apenas a partir de 1993 passou a ter forte expressão no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes. Atualmente o PET está presente nos mais diversos produtos.

O PET é transparente, inquebrável, impermeável e leve. Por conta de suas características, forma uma barreira capaz de reter gases e impedir a entrada de umidade, e isso é ideal para embalar bebidas, refrigerantes e outros alimentos. Como pode ser aquecido, também é utilizado na produção de bandejas para refeições pré-prontas, que podem ser levadas ao forno de microondas. Ele também é utilizado para embalar óleos, produtos de limpeza, cosméticos e produtos farmacêuticos. Possuindo ainda várias outras aplicações, como a produção de fibras para roupas e tapetes e plásticos de engenharia (ABIPET, 2012).

A reciclagem do PET proporciona vantagens nas dimensões ambiental, social e econômica. Através da diminuição da extração de matéria prima virgem não renovável, disposição em aterros e no consumo de energia, pois no processo de reciclagem é utilizada em média 30% da energia necessária para

produzir a resina virgem sem comprometer a qualidade do produto final (DUARTE, 2014). A Figura 9 mostra o símbolo de descarte seletivo e de reciclabilidade do PET presente nas embalagens.

**Figura 9** – Símbolo de reciclagem do PET



**Fonte:** ABIPET (2015)

A Tabela 1 apresenta as formas de recolhimento do PET para reciclagem no Brasil dos anos de 2010 a 2016, segundo a ABIPET.

**Tabela 1** – Formas de recolhimento do PET para reciclagem

<b>Formas de recolhimento</b>	<b>7º Censo (2010)</b>	<b>8º Censo (2011)</b>	<b>10º Censo (2016)</b>
Catadores	47%	47%	34%
Cooperativas	19%	19%	49%
Outros	34%	34%	17%

**Fonte:** Adaptado de ABIPET (2010, 2011 e 2016).

Preocupado com danos ambientais gerados da disposição incorreta de resíduos a ABIPET realiza desde 1994 um censo sobre o nível de reciclagem no Brasil. Em sua última edição 2016, o 10º censo revelou que no ano de 2015, 51% do PET produzido foi reciclado. Segundo a ABIPET, a baixa atividade econômica (queda da demanda) e redução drástica do preço do petróleo, são fatores que reduzem a rentabilidade e, portanto, a atratividade da reciclagem. A Figura 10 ilustra a evolução da reciclagem do PET no Brasil.

**Figura 10 – Evolução da Reciclagem do PET no Brasil.**



Fonte: ABIPET (2016).

A indústria recicladora de PET no Brasil está cada vez mais experiente. Segundo a ABIPET (2016) no Brasil mais de 90% das empresas têm mais de 5 anos de atividade, conforme ilustra a Figura 11.

**Figura 11 – Recicladores brasileiros com mais de 5 anos de atividade.**



Fonte: ABIPET (2016).

#### **4.4 Uso de fibras na Construção Civil**

Uma variedade de fibras como aço, vidro, fibras naturais e sintéticas têm sido desenvolvidas para uso na indústria da construção civil como reforço para concreto, argamassa, etc (OLESKOWICZ, 2015).

As fibras para reforço devem ser duráveis em meios cimentícios, devem ser facilmente dispersas na mistura, ter boas propriedades mecânicas e possuir uma configuração geométrica apropriada (OLESKOWICZ, 2015).

#### **4.5 Utilização de Produtos Reciclados de PET na Construção Civil**

A utilização de resíduos junto as argamassas não é novidade, uma vez que existem inúmeros trabalhos realizados, com o objetivo de mostrar a eficiência desse e outros materiais.

CANELLAS e D'ABREU 2005, propõem que os rejeitos de garrafas PET, pneu e casca de arroz sejam reutilizados como adição em argamassa de enchimento de painéis tipo sanduíche para paredes externas de casa de madeira, visando obter melhor desempenho térmico. Com este estudo verificou-se urna redução de temperatura, entre as interfaces internas e externas do sanduíche, muito próximas de setenta por cento.

Almeida et al (2004), propõe que o resíduo da reciclagem de PET seja usado como material alternativo na construção de reforço de subleitos de rodovias. Estudo do acréscimo de 30%, em peso deste resíduo, em solo considerado impróprio para uso em subleitos de rodovias, aumentando sua classificação para bom, de acordo com o HRB, instituto que regulamenta e classifica características de solos recomendados para obras rodoviárias.

Almeida et al (2004) propõe a utilização de um resíduo conhecido como areia de PET, que devido a sua granulometria (2,4 mm) ainda não tem um tem específico a não ser o aterro, em substituição à areia convencional, para preparo de concretos convencionais, observando-se a trabalhabilidade, a densidade e a resistência à compressão. Utilizou-se porcentagens de substituição em volume, para 0, 25, 50, 75 e 100%, na confecção de concretos testados para 3, 7, 14 e 28 dias. A plasticidade foi diretamente influenciada

pelo aumento do teor de areia de PET na mistura, chegando a valores nulos de abatimento para 100% de substituição. Os concretos apresentaram queda na resistência a compressão à medida que se aumentava o teor de areia de PET, para todas as idades estudadas. Com relação à influência da deterioração da areia de PET não foi detectada qualquer perda de resistência para idades de ruptura de 150 dias. O resultado do estudo recomenda o uso deste material para valores abaixo de 50%.

O trabalho de Goulart 2000 apud CANELLAS e D'ABREU 2005 proposto na PUC-Rio desenvolveu o estudo de substituição do agregado miúdo natural (areia lavada) por flocos de PET, obtidos de garrafas recicladas na produção de argamassas visando basicamente a confecção de artefatos de concreto. Vários testes foram realizados, buscando principalmente mensurar os efeitos da granulometria do reciclado, sua proporção na mistura e a resistência dos artefatos às intempéries e as ações mecânicas a que ficariam expostos em situações de uso normal.

#### **4.6 Importância das Argamassas na Construção Civil**

A argamassa é composta basicamente de aglomerante (cimento e/ou cal), areia e água. Os aditivos podem ser incorporados à mistura com o objetivo de melhorar suas características e propriedades específicas, as quais resultam do tipo e proporcionamento dos materiais, chamado de traço (MELLO et. al, 2012).

Segundo Mello et. Al (2012) os tipos de argamassa disponíveis hoje no mercado, quanto à forma de produção, são:

- argamassa preparada em obra;
- argamassa industrializada;
- argamassa dosada em central;
- mistura semi-pronta.

A NBR 13281 (ABNT: 2005) cita os tipos de argamassa e suas funções primordiais, como mostrado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Tipos de argamassas e suas funções**

<b>TIPO</b>	<b>FUNÇÃO</b>
<b>1. Argamassa de Assentamento</b>	
1.1 Assentamento em alvenaria de vedação:	Ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação.
1.2 Assentamento em alvenaria de estrutural:	Ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural.
1.3 Argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento):	Fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.
<b>2. Argamassa para Revestimento de Paredes e Tetos</b>	
2.1 Revestimento interno:	Revestimento de ambientes internos da edificação, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
2.2 Revestimento externo:	Revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo, caracterizando-se como camada de regularização (emboço ou camada única).
3. Argamassa de uso geral:	Assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.
4. Argamassa para reboco:	Cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento;
5. Argamassa decorativa em camada fina:	Revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
6. Argamassa decorativa em monocamada:	Revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

**Fonte:** Adaptada da NBR 13281 (ABNT, 2005)

Para o bom desempenho da argamassa, tendo em vista a função a que ela se destina, seja de vedação, regularização, proteção ou união, é necessário que uma série de propriedades sejam garantidas e mantidas durante a vida útil da construção.

A avaliação de tais propriedades passa pelo estudo de seus materiais constituintes, sua qualidade, condições de preparo e forma de aplicação, englobando métodos para determinação de propriedades desde o estado fresco ao endurecido.

#### **4.6.1 Propriedades da argamassa no estado fresco**

##### **a. Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade é uma característica que depende da relação água/cimento, do traço, da granulometria do concreto e do agregado, assim como de aditivos. Em geral, observa-se que a trabalhabilidade é uma propriedade intuitiva e de difícil avaliação, que depende de outras propriedades das argamassas, tais como: consistência, plasticidade, viscosidade, retenção de água, coesão interna, adesão inicial e massa específica. (OLESKOWICZ, 2015).

A NBR 13276 (2005) avalia a trabalhabilidade a partir do ensaio de consistência da argamassa.

A coesão é definida como união e aglutinação. Está intimamente relacionada aos materiais mais finos em função da sua superfície específica, que misturados com a água formam uma pasta responsável pela coesão das argamassas. Assim, a coesão da argamassa pode ser alterada variando-se a área específica dos sólidos e a quantidade de água presente na mistura. (ISHIKAWA, 2003).

A viscosidade é definida como a velocidade de deformação de um corpo. Nas argamassas a viscosidade está ligada a pasta e, por consequência, ao teor de água e aos agregados, que por sua vez, tem influência devido a sua origem mineralógica, dimensão máxima, forma e textura dos grãos e ao efeito

lubrificante das partículas finas. A viscosidade da pasta influi diretamente na consistência da argamassa, isto é, quanto maior a viscosidade maior a consistência (ISHIKAWA, 2003).

A plasticidade é influenciada pelo teor de ar incorporado, natureza e teor de aglomerante e da intensidade da energia de mistura. No estado plástico, a argamassa deve apresentar-se trabalhável, isto é, no manuseio da argamassa com a colher de pedreiro ela deve se manter coesa, e quando da aplicação sobre a unidade da alvenaria, a argamassa deve fluir sem aderir na colher de pedreiro, sendo de fácil espalhamento sobre a unidade (ISHIKAWA, 2003).

#### **b. Aderência inicial**

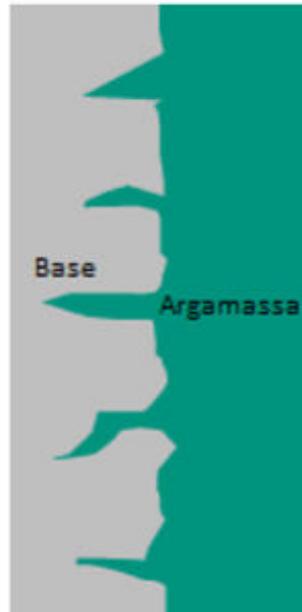
Segundo Oliveira (2017): “ aderência é a capacidade do revestimento em se manter colado ao substrato mesmo quando solicitado pelos diferentes esforços estruturais, gradientes de temperatura e condições severas de exposição”.

A adesão inicial da argamassa à base está relacionada com a reologia da pasta aglomerante, sendo influenciada pela trabalhabilidade da argamassa e pela textura ou porosidade da base, sendo também afetada pela presença ou não de tratamento prévio com o objetivo de melhorar a superfície de contato entre estes materiais (SERNAGLIA, 2015).

Para um maior contato com a base, além de a argamassa apresentar trabalhabilidade e retenção de água adequada à sucção ela deve ser comprimida após a sua aplicação. As características da base também influenciam para uma desejada aderência inicial, através da sua porosidade e rugosidades, devendo ser limpas antes de sua aplicação (SERNAGLIA, 2015).

Na Figura 12 temos um modelo de aderência da argamassa sobre a base.

**Figura 12** - Modelo de aderência da argamassa sobre a base.



Fonte: Sernaglia (2015)

Segundo Carasek (2012) a resistência de aderência da argamassa é influenciada por diversos fatores altamente variáveis, tais como os materiais da base, as características da argamassa, as condições climáticas, a energia de aplicação, etc, como mostrado no esquema da Figura 13.

**Figura 13** – Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre hastes porosas.



Fonte: Carasek (2012).

### c. Retenção de água

Retenção de água é uma propriedade que está relacionada à capacidade da argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base. Esta propriedade além de interferir no comportamento da argamassa no estado fresco, também afeta as propriedades da argamassa endurecida (PEREIRA, 2012).

A retenção de água interfere nas reações químicas dos aglomerantes da argamassa que exigem uma quantidade adequada de água. A resistência mecânica, a aderência e a durabilidade são propriedades que dependem da retenção de água da argamassa (PEREIRA, 2012).

### d. Teor de ar incorporado

O teor de ar é a quantidade de ar num volume de argamassa. A medida que cresce o teor de ar, diminui a massa específica relativa da argamassa, interferindo assim na trabalhabilidade (SILVA, 2006).

As bolhas de ar na matriz cimentícia podem ser incorporadas por aditivos incorporadores de ar, que atuam como um plastificante, e desta forma contribuem para a redução da relação a/c. Mas o uso desses aditivos deve ser criterioso para não interferir negativamente nas demais propriedades da argamassa, pois o aumento no teor de ar pode prejudicar a resistência mecânica da argamassa (SILVA, 2006).

## 4.6.2 Propriedades da argamassa no estado endurecido

A argamassa, logo após a mistura dos seus materiais, apresenta-se no estado plástico, e, à medida que se processam as reações de hidratação do cimento e a formação de produtos cristalinos, ocorre a mudança do estado fluido para um estado rígido, denominado de pega. Após esse período, a argamassa apresenta-se no estado endurecido, com propriedades que lhes são inerentes como capacidade de absorção e deformação, resistência mecânica e resistência de aderência (OLESKOWICZ, 2015).

#### **a. Resistência mecânica**

A resistência mecânica está relacionada à propriedade do revestimento de suportar as ações mecânicas de diferentes naturezas, como tensões internas de tração, compressão e cisalhamento. A resistência mecânica é proporcional à redução da quantidade de agregado da argamassa, e inversamente proporcional à relação água/cimento (OLESKOWICZ, 2015).

O cimento é o responsável pelas resistências mecânicas da argamassa, pois como um dos aglomerantes da argamassa, tem a função de unir as partículas soltas, conferindo-lhe resistência. Os vários tipos e classes de cimento influem na resistência da argamassa de mesmo traço e trabalhabilidade (OLESKOWICZ, 2015).

A NBR 13279 (2005) descreve o método a ser utilizado para obtenção tanto da resistência à compressão, quanto da resistência à tração na flexão em argamassas.

#### **b. Módulo de elasticidade de argamassas**

O módulo de elasticidade é a capacidade da argamassa de deformar-se elasticamente resistindo sem fissurar às deformações do substrato, sejam estas de retração ou ainda às de pequena amplitude geradas pela base onde está aderida (MONTE et al., 2007).

Segundo Oliveira (2017) a capacidade do revestimento de absorver deformações pode ser avaliada através do módulo de elasticidade, que pode ser obtido através do método estático ou dinâmico. Quanto menor o valor do módulo, maior será a capacidade do revestimento de absorver deformações.

Mas segundo Ishikawa (2003) a capacidade de deformação da argamassa não deve ser avaliada baseando-se somente no valor do módulo de elasticidade, pois este, sozinho, não é suficiente para quantificá-la, devendo ser complementada por meio da análise do comportamento da curva tensão x deformação e da área sob a curva. Assim, nem sempre uma argamassa com maior módulo pode ser considerada com menor capacidade de deformação.

### c. Retração

Segundo Aoki e Medeiros (2010), a retração é “o processo de redução de volume que ocorre na massa de concreto, ocasionada principalmente pela saída de água por exsudação (retração plástica e por secagem ou hidráulica)”. Entretanto, existem outros fenômenos no concreto que também provocam outros tipos de retração: retração química, retração autógena e térmica.

- Retração plástica: ocorre pela perda de água do concreto por exsudação, em seu estado fresco. Este processo é acelerado pela exposição de sua superfície às intempéries como vento, baixa umidade relativa do ar e aumento da temperatura ambiente. A Figura 14 ilustra detalhes desse tipo de fissuração.

**Figura 14** – Fissuras causadas por retração plástica



**Fonte:** Bauer e Castro (2013).

- Retração por secagem ou hidráulica: ocorre da mesma maneira que a retração plástica, porém com o concreto já no estado endurecido. A Figura 15 ilustra detalhes desse tipo de fissuração.

**Figura 15** – Fissuras e descolamentos causados pela retração por secagem.



**Fonte:** Bauer e Castro (2013).

- Retração química: ocorre devido à redução de volume desde o momento que se inicia a hidratação, pois os produtos gerados neste processo têm volumes menores que àqueles materiais que deram origem à reação (cimento e água).
- Retração autógena: A água utilizada na reação de hidratação sai dos poros capilares do concreto e, assim, reduz seu volume.
- Retração térmica: É a retração provocada pelo calor liberado na reação de hidratação. Esta reação é exotérmica e o calor liberado expande o concreto em um primeiro momento. Ao se resfriar ocorre uma redução de volume denominada retração térmica.

No Brasil, a determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) é normatizada pela NBR 15261 (2005).

#### **d.** Densidade, absorção de água e porosidade

Densidade é a quantidade de massa contida em uma unidade de volume. Em misturas formadas a partir de duas ou mais matérias-primas, a densidade deve ser investigada, por se tratar de uma característica intimamente ligada com a resistência do material resultante. A partir do princípio de Arquimedes, é possível determinar a densidade unicamente com medidas de massa, com uma balança de precisão (MAZALI, 2005).

A porosidade e absorção de água são características intimamente ligadas à variação da composição, aplicação e cura da argamassa. Também estão relacionadas à textura da superfície sobre a qual é aplicada. A porosidade influencia na durabilidade da argamassa, facilitando a entrada de umidade e ao crescimento de fungos. Dados da porosidade permitem investigações mais complexas, definindo parâmetros importantes no estudo de desempenho e durabilidade do material (QUARCIONI, 2009).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

O principal objetivo do experimento foi o de estudar a influência da substituição da areia natural pela areia de PET (polietileno tereftalato) na confecção de argamassas, analisando a absorção de água.

### 5.1 Materiais

#### ***Agregado Miúdo***

O agregado miúdo (areia quartzo) utilizado para este trabalho é proveniente do leito do Rio Paraíba, ilustrada na Figura 16.

**Figura 16** – Agregado miúdo (areia quartzosa).



**Fonte:** Autoria própria (2017).

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização do agregado miúdo (areia) a fim de determinar sua utilização na dosagem do traço do concreto.

**Tabela 3:** Caracterização física do agregado miúdo.

<b>Parâmetro Determinado</b>	<b>Valor Obtido</b>
Massa Específica Real	2,618 g/cm <sup>3</sup>
Massa Unitária no Estado Solto	1,429 g/cm <sup>3</sup>
Teor de Materiais Pulverulentos	0,07%

**Fonte:** Autoria própria (2017).

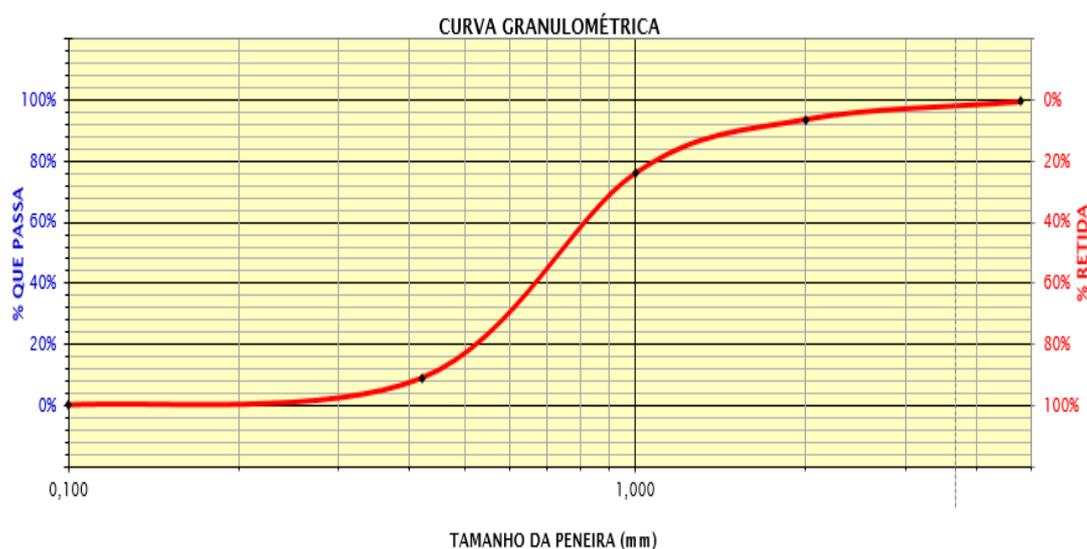
Através do ensaio de determinação da composição granulométrica foi possível definir a Composição Granulométrica do agregado miúdo apresentada na Tabela 4 e traçar a curva granulométrica da Figura 29, através da qual é possível obter os resultados de módulo de finura e diâmetro máximo do agregado.

**Tabela 4 - Composição Granulométrica do agregado miúdo**

<b>Composição Granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)</b>			
<b>Porcentagem em Massa (%)</b>			
<i>Peneiras (mm)</i>	<i>Material Retido (g)</i>	<i>Retida</i>	<i>Acumulada</i>
4,8	5,2	0,523	0,523
2,4	56,9	5,72	6,24
1,2	168,4	16,9	23,14
0,6	375,2	37,72	60,86
0,3	285,0	28,65	89,51
0,15	86,3	8,68	98,19
Fundo	17,6	1,77	100
<b>Módulo de Finura = 2,78</b>			
<b>Diâmetro Máximo = 4,8mm</b>			

Fonte: Autoria própria (2017).

**Figura 17 – Curva Granulométrica do agregado miúdo**



Fonte: Autoria própria (2017).

Quanto ao módulo de finura, verificou-se o valor de 2,78%, estando assim classificado de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009) como areia de granulometria média, pois pertence ao intervalo de  $2,4 < MF < 3,2$ , e pertencente a zona ótima de utilização, pois pertence ao intervalo que varia de 2,20 a 2,90.

Quanto ao diâmetro máximo do agregado, obteve-se um valor de 4,80mm. De acordo com os valores obtidos e o formato do gráfico da Figura 28, esta areia é considerada bem graduada, de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

O teor de materiais pulverulentos encontrados foi de 0,07%, sendo inferior aos dados da literatura (3,0% a 5,0%), podendo-se afirmar que esta areia apresenta poucos finos, não prejudicando desta forma na quantidade de água a ser utilizada para obtenção da consistência adequada, pois o aumento da quantidade de água intensificaria a retração e diminuiria a resistência de argamassas e concretos.

A composição granulométrica do agregado miúdo desempenha papel fundamental na preparação de concretos e argamassas, uma vez que as dimensões do agregado têm efeito direto sobre os vazios, no fator água/cimento e na trabalhabilidade nas misturas de concreto. E a partir dos resultados obtidos, podemos afirmar que este agregado pode ser utilizado para a dosagem do traço desta argamassa.

### **Cimento**

O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland composto com Pozolana - CPII Z, fornecido pela fábrica de cimento Zebu, no município de Santa Rita-PB, ilustrado na Figura 18.

**Figura 18** – Cimento Portland CII-Z.



**Fonte:** Autoria própria (2017)

A Tabela 5 apresenta os resultados da caracterização física do cimento, como massa específica e o índice de finura.

**Tabela 5** - Resultados da Caracterização física do Cimento

<b>Parâmetro Determinado</b>	<b>Valor Obtido</b>
Massa Específica Real	2,91 g/cm <sup>3</sup>
Finura	2,84%

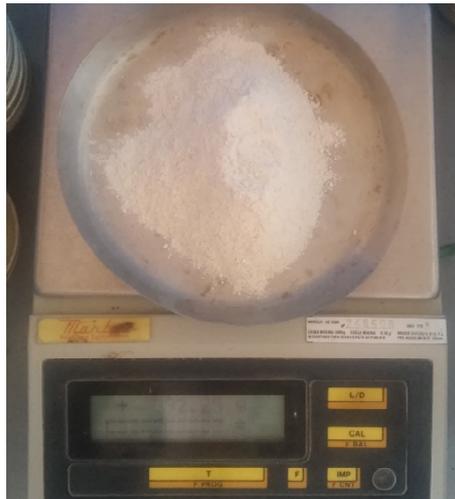
**Fonte:** Autoria própria

Analisando-se os resultados da Tabela 5, verifica-se que a massa específica do cimento CP II F 32 é de 2,91 g/cm<sup>3</sup>, pertencente ao intervalo de 2,64% a 3,12% dos cimentos brasileiros, devido ao método de obtenção utilizado. O módulo de finura obtido foi igual a 2,84%, satisfazendo ao limite máximo estabelecido pela norma da ABNT NBR 11579 (ABNT, 2013) que é igual a 12%.

### ***Politereftalato de etileno***

O Politereftalato de etileno utilizado na pesquisa foi reciclado de garrafas do tipo PET e micronizado, ilustrado na Figura 19.

**Figura 19 – PET micronizado**



**Fonte:** Autoria própria (2017).

### ***Cal hidratada***

A cal hidratada utilizada foi da marca bom-cal, ilustrado na Figura 20.

**Figura 20 – Cal hidratada**



**Fonte:** Autoria própria (2017)

### ***Água***

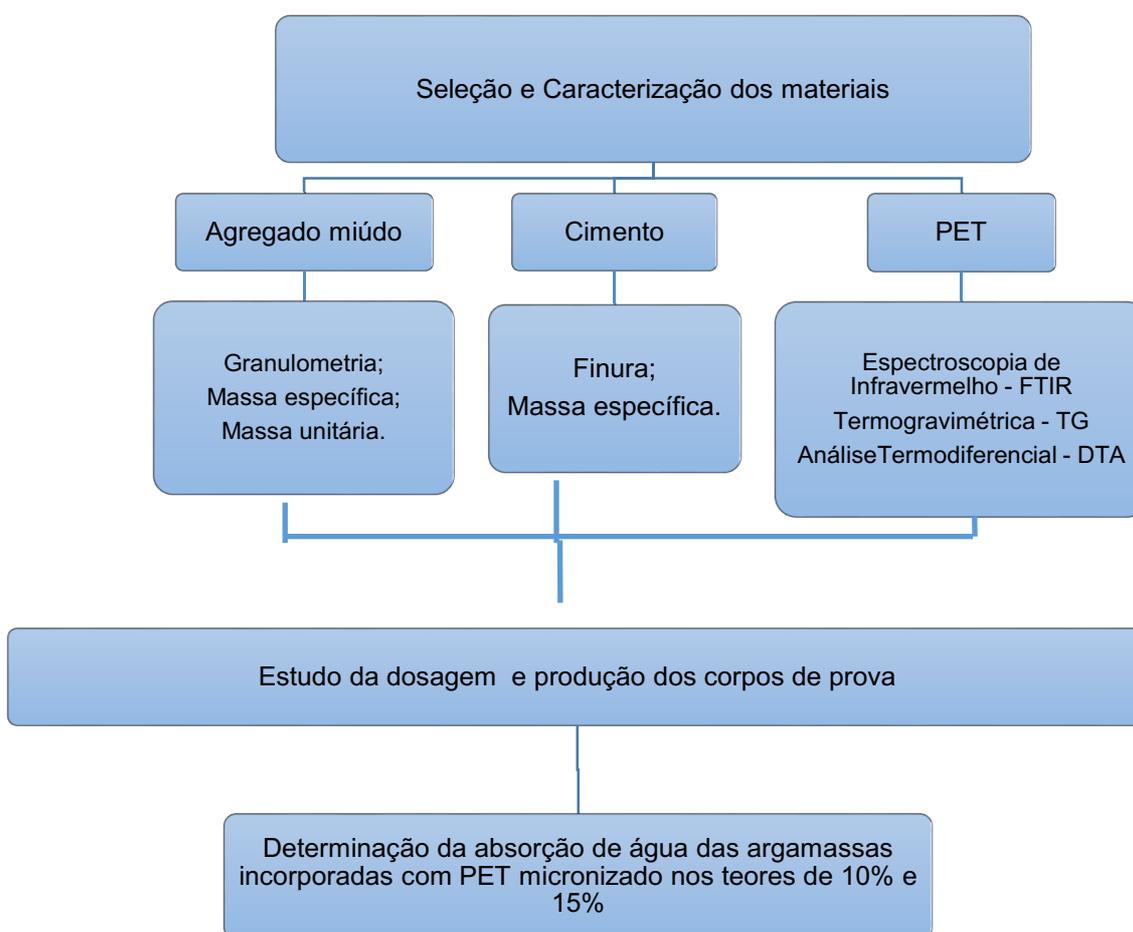
A Água utilizada na pesquisa é a mesma destinada ao consumo humano fornecido pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

## 5.2 Métodos

Os métodos de ensaios utilizados baseiam-se em normas, entre elas, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e normas internacionais da ASTM e da AASHTO.

A Figura 21 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa, atividades e ensaios a serem realizados.

**Figura 21** – Fluxograma das etapas da pesquisa.



### 5.2.1 Seleção de Materiais

Neste subitem são enumerados os critérios e descritos os tipos de materiais utilizados neste trabalho. Os critérios para escolha dos materiais foram baseados nas especificações e normas da ABNT, da ASTM e da AASHTO.

Os materiais utilizados se dividem em três grupos, o primeiro composto materiais granulares (agregados), o segundo de cimento (Portland CII Z) e o terceiro de Politereftalato de etileno (PET) micronizado.

## **5.2.2 Caracterização dos Materiais**

### **5.2.2.1 Caracterização Química, Física e Mineralógica do Politereftalato De Etileno – PET**

#### **Análise Térmica Diferencial (DTA) E Termogravimétrica (TG)**

As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) de PET foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, ilustrado na figura 22, operando a 12,5°C/min. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas foi de 300°C e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) calcinado.

**Figura 22** – Equipamento utilizado para realização de ensaios de análises térmicas.



**Fonte:** Autoria própria (2017).

### **5.2.2.2 Caracterização Física dos Agregados e do Cimento**

A seguir estão descritos os ensaios de caracterização do agregado graúdo, agregado miúdo e do cimento utilizados na pesquisa.

## **Análise granulométrica**

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o porcentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira.

O ensaio de composição granulométrica para o agregado graúdo e agregado miúdo como para o agregado graúdo foi realizado segundo o método de ensaio da ABNT NBR 7217 (ABNT, 1987).

## **Determinação da massa específica**

A massa específica do agregado é a relação da massa e o seu volume, não considerando os vazios permeáveis da água. Este valor tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço de concreto.

A determinação da massa específica da areia foi realizada por meio do frasco de Chapman, ilustrado na Figura 23, segundo a norma ABNT NBR 9776 (ABNT, 1987). Para o agregado graúdo a determinação da massa específica foi obtida utilizando-se a norma ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003) e para o cimento, o ensaio foi realizado seguindo a norma DNER – ME 085/1994.

**Figura 23** – Determinação da massa específica do agregado miúdo - Frasco



**Fonte:** Autoria própria (2017)

## Determinação da massa unitária

A massa unitária do agregado no estado solto corresponde ao quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. Este ensaio tem como objetivo principal verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço de concreto. Com essa determinação podem ser feitas transformações dos traços de massa para volume durante o procedimento de dosagem.

O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982), conforme ilustra a Figura 24.

**Figura 24** – Execução do ensaio de determinação da massa unitária no estado solto.



Fonte: Autoria própria (2017)

## Determinação do teor de materiais pulverulentos

Os materiais pulverulentos são partículas minerais que passam na peneira de malha de nº 200 com abertura de 75 $\mu$ m, inclusive os materiais solúveis em água, presente nos agregados.

Este ensaio, que tem como objetivo a determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados destinados ao preparo de concreto, foi realizado para o agregado miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987).

## **Ensaio de finura**

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm através do método de peneiramento manual de acordo com a norma ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012).

É importante se conhecer o valor da finura dos cimentos, pois quando esse valor é elevado, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

### **5.3 Estudo da Dosagem dos Materiais**

Escolha da composição granulométrica e determinação da volumetria para obtenção do teor ótimo de Politereftalato de etileno para produção das argamassas

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia estabelecida pela ABCP – Associação brasileira de Cimento Portland, e, conforme as seguintes etapas: Na primeira etapa foram determinados os traços. Na segunda etapa determinou-se os teores de substituição e idades de controle que seriam utilizados na pesquisa.

O traço determinado foi de 1:2:9, (cimento: cal: areia) e o um fator água cimento foi definido segundo o método de Selmo (1991), com um valor de 2,18. E através das massas específicas de cada material foi possível um traço em massa para o volume de um corpo de prova: 33g de cimento; 66g de cal; 296,96 de areia; 71,93 mL de água. Usando uma taxa de desperdício de 10%.

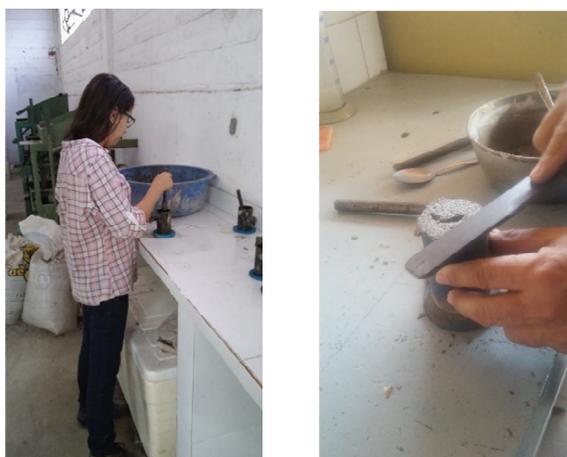
### **5.4 Moldagem dos corpos de prova: Determinação da Absorção de Água das Argamassas Incorporadas com PET Micronizado.**

## Absorção de água das argamassas

O ensaio para determinação da absorção de água avalia a porosidade das argamassas em corpos de prova moldados. Foi executado através de imersão de acordo com a norma NBR 9778 (ABNT 1987).

Os corpos de provas foram moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT 2015), nas dimensões de 5cm x 10cm, com substituição do agregado miúdo por PET nos teores de 10% e 15% sendo estabelecidos as idades de 7, 14 e 28 dias para a determinação da absorção. A Figura 25 ilustra o processo de moldagem dos corpos de prova.

**Figura 25** – Moldagem corpos de prova



**Fonte:** Autoria própria (2017).

A Figura 26 ilustra o processo de moldagem dos corpos de prova imersos em água.

**Figura 26** – Imersão dos corpos de prova



**Fonte:** Autoria própria (2017).

A Figura 27 ilustra os corpos de prova imersos em água no processo de secagem em estufa.

**Figura 27** – Secagem dos corpos de prova em estufa



**Fonte:** Autoria própria (2017).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Caracterização da Cal

A Tabela 6 apresenta os valores da composição química da cal. Analisando os resultados obtidos, verifica-se que a cal possui um elevado teor de óxido de cálcio (CaO) e baixo teor de óxido de magnésio, sendo os valores de 49,35% e 26,45% respectivamente. Quanto aos demais componentes encontrados na composição química da cal, como principais impurezas, apresentam valores inferiores a 2%.

**Tabela 6** – Composição química da Cal Hidratada

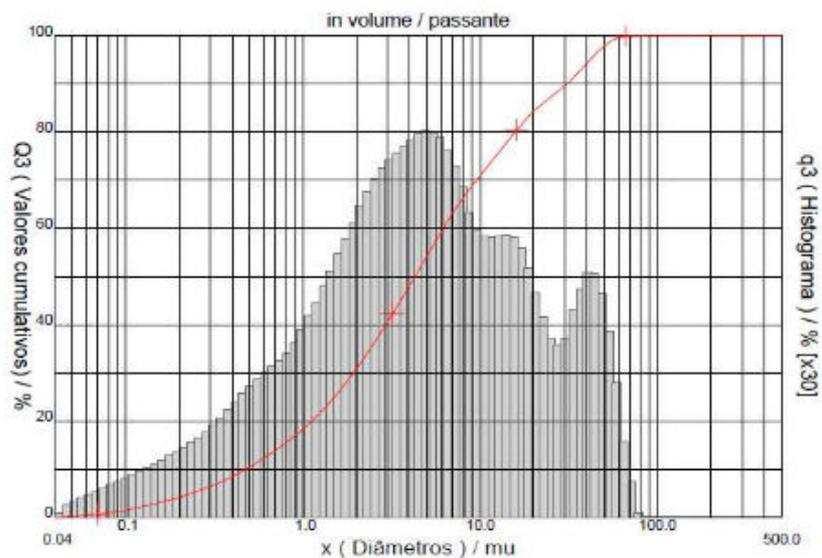
<b>Parâmetro Determinado</b>	<b>Valor Obtido</b>
Óxido de Cálcio (CaO)	49,35%
Óxido de Magnésio (MgO)	26,45%
Dióxido de Silício (SiO <sub>2</sub> )	1,88%
Óxido de Alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,26%
Óxido de Ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,22%
Óxido de Potássio (K <sub>2</sub> O)	0,06%
Óxido de Estrôncio (SrO)	0,04%
Óxido de Cobre (CuO)	0,01%
Carbono (C)	0,00%
Perda ao Fogo	21,74%

**Fonte:** Autoria própria

De acordo com esta composição a Cal Hidratada pode ser considerada como sendo dolomítica por apresentar como principais compostos o óxido de cálcio e o óxido de magnésio. Esta composição favorece a utilização desta cal para produção de argamassas de assentamento e revestimento (SILVA, 2006).

A Figura 28 ilustra a distribuição granulométrica por difração a laser da Cal hidratada.

**Figurar 28** – Distribuição granulométrica por difração a laser da cal hidratada.

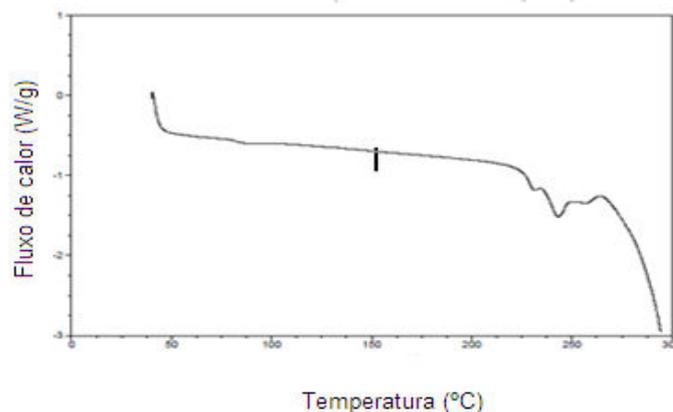


Fonte: Silva (2015).

## 6.2 Caracterização do Politereftalato de Etileno – PET micronizado

A Figura 29 ilustra as curvas de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para o Politereftalato de etileno triturado.

**Figura 29** – Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) para o PET.

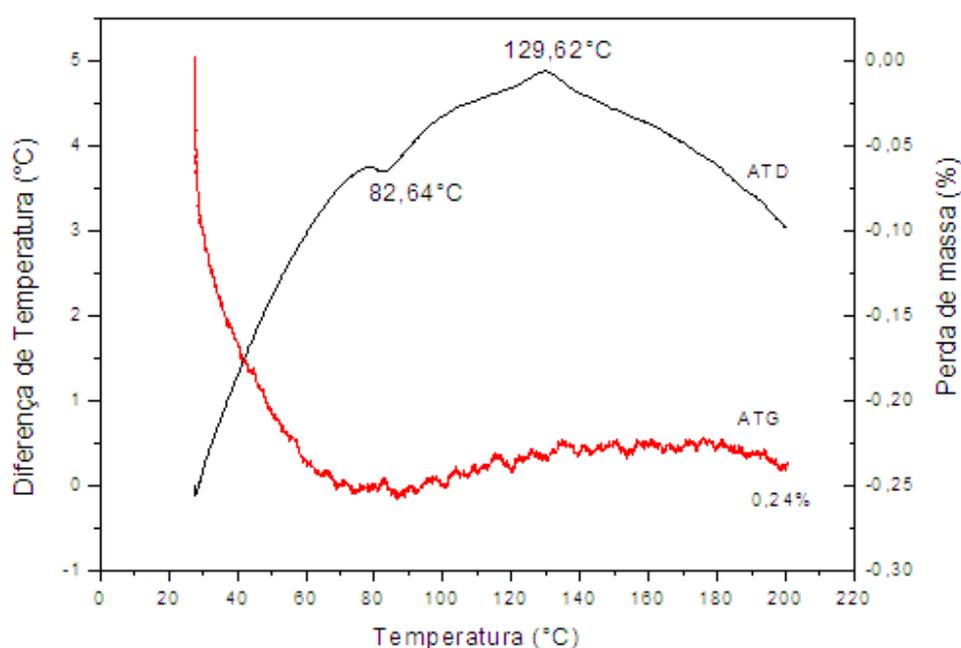


Fonte: Silva (2015).

De acordo com a Figura 29, observa-se a ocorrência de picos endotérmicos a partir da temperatura de 200°C, indicando a ocorrência de modificações físicas e químicas na composição do Politereftalato de etileno.

A Figura 30 ilustra as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica do Politereftalato de Etileno triturado.

**Figura 30** – Análise termodiferencial e termogravimétrica do PET triturado.



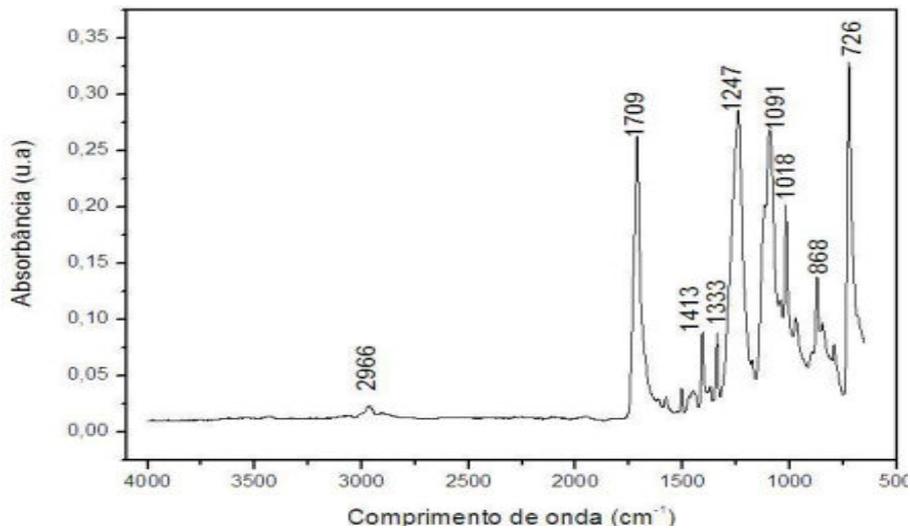
Fonte: Silva (2015).

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que aproximadamente a 82,64°C na ocorrência de um pico endotérmico, indicando a mudança de estado físico do material (sólido para líquido), havendo uma pequena perda de massa. A temperatura de 129,62°C observa-se a ocorrência de um pico exotérmico indicando uma nova mudança de estado físico (líquido para vapor).

De acordo com a curva termogravimétrica, pode-se verificar que houve uma perda de massa total de 0,24%.

A Figura 31 ilustra a espectroscopia de infravermelho do Politereftalato de etileno triturado.

**Figura 31** – Espectroscopia de infravermelho do Politereftalato de etileno.



Fonte: Silva (2015).

O espectro de infravermelho do Politereftalato de etileno, ilustrado na Figura 31, indica a existência de várias estruturas funcionais típicas existentes na cadeia do Politereftalato de etileno, destacando-se as seguintes bandas características: em aproximadamente  $3000\text{cm}^{-1}$ , identificada pela vibração de deformação axial do grupo ( $=\text{C}-\text{H}$ ), presentes em compostos aromáticos (benzeno); em  $1709\text{cm}^{-1}$  estiramento  $\text{C}=\text{O}$  de ácido carboxílico, indicativo da banda; em  $1247\text{cm}^{-1}$  estiramento  $\text{C}(\text{O})-\text{O}$  de grupos éster; em  $1091$  e em  $1018\text{cm}^{-1}$  indicativo de estiramento da ligação  $\text{C}-\text{O}$  e aproximadamente  $726\text{cm}^{-1}$ , deformação angular dos carbonos dis-substituídos no anel aromático.

### 6.3 Ensaio de absorção de água por imersão

Os corpos de prova para os ensaios de absorção foram moldados conforme a NBR 5738/03 (Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova).

Após a produção dos corpos de prova de argamassa com incorporação de PET micronizado com teores de 0%, 10% e 15% em substituição ao agregado miúdo, foi realizando os ensaios de absorção de água de acordo com a NBR 9778/2005.

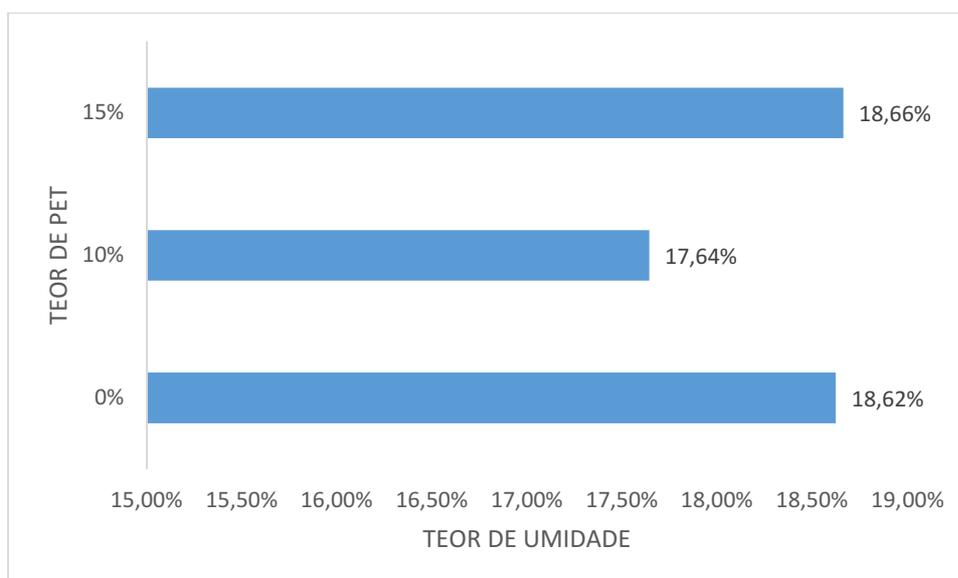
A determinação da absorção de água da argamassa foi obtida para as idades de 7, 14 e 28 dias, conforme apresentado nas Tabelas 7, 8 e 9 e ilustrada através das Figuras 32, 33 e 34.

**Tabela 7 – Absorção por imersão aos 7 dias.**

TEOR DE PET	AMOSTRA SATURADA Msat (g)	AMOSTRA SECA Ms (g)	Msat - Ms (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
0%	457,13	385,39	71,75	18,62 %
10%	444,56	377,89	66,67	17,64%
15%	455,07	383,50	71,58	18,66%

**Fonte:** Autoria própria (2017).

**Figura 32 – Absorção de água para a argamassa aos 7 dias**



**Fonte:** Autoria própria (2017).

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a incorporação de 10% de PET à argamassa, proporcionou a redução de absorção provavelmente devido a granulometria do PET ter preenchido um melhor empacotamento das partículas, favorecendo a obtenção de uma estrutura menos porosa,

Para o teor de 15% verificou-se que a absorção obtida foi semelhante à verificada para a argamassa de referência, indicando que para esse teor de

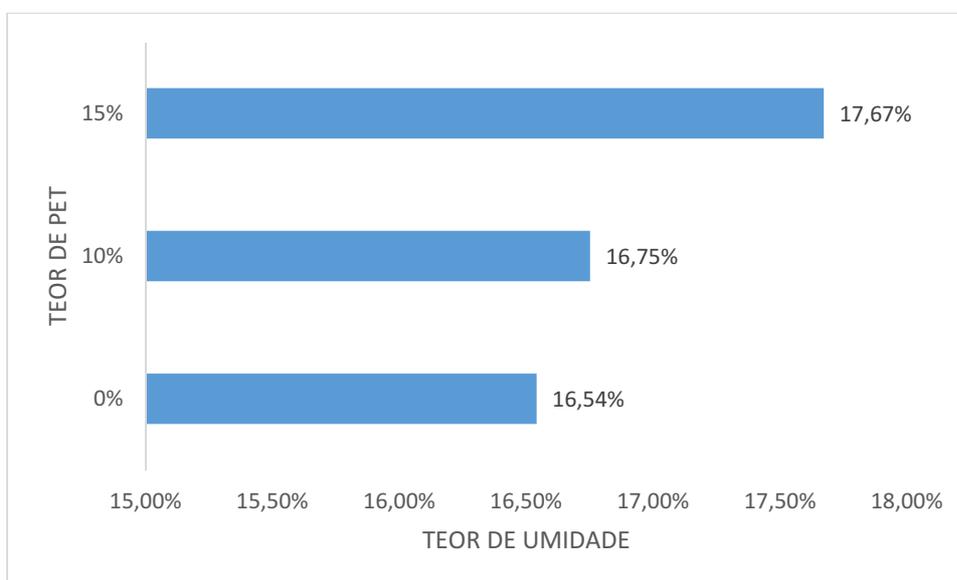
incorporação, a granulometria do PET não atuou com o preenchimento dos vazios.

**Tabela 8** – Absorção por imersão aos 14 dias.

TEOR DE PET	AMOSTRA SATURADA Msat (g)	AMOSTRA SECA Ms (g)	Msat - Ms (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
0%	399,34	342,66	56,68	16,54%
10%	418,65	358,59	60,06	16,75%
15%	382,69	325,22	57,47	17,67%

Fonte: Autoria própria (2017).

**Figura 33** – Absorção de água para a argamassa aos 14 dias



Fonte: Autoria própria (2017).

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a incorporação de 10% de PET à argamassa, a absorção obteve um aumento mínimo, sendo semelhante à verificada para a argamassa de referência, indicando que para esse teor de incorporação, a granulometria do PET não atuou com o preenchimento dos vazios.

Para o teor de 15% verificou-se que um aumento da absorção indicando que a utilização do PET micronizado na composição de argamassas ocasiona uma maior permeabilidade com um possível aumento no índice de vazios do

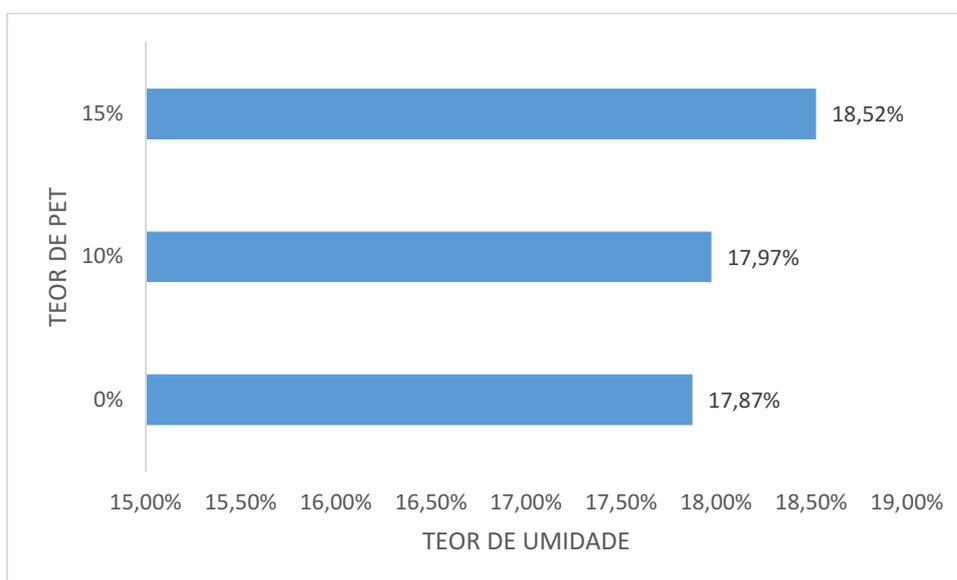
material, proporcionando assim uma maior captação de água por meio da sua superfície.

**Tabela 9** – Absorção por imersão aos 28 dias

TEOR DE PET	AMOSTRA SATURADA Msat (g)	AMOSTRA SECA Ms (g)	Msat - Ms (g)	TEOR DE UMIDADE (%)
0%	392,40	332,92	59,48	17,87%
10%	407,48	345,42	62,06	17,97%
15%	406,63	343,10	63,53	18,52%

Fonte: Autoria própria (2017).

**Figura 34** – Absorção de água para a argamassa aos 28 dias



Fonte: Autoria própria (2017).

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se para os 28 dias de idade um aumento na absorção de água por parte dos corpos de prova a medida em que se aumentou o teor de PET, seguindo o padrão verificado no ensaio dos 14 dias, indicando que a utilização do PET micronizado na composição de argamassas ocasiona uma maior permeabilidade com um possível aumento no índice de vazios do material, proporcionando assim uma maior captação de água por meio da sua superfície

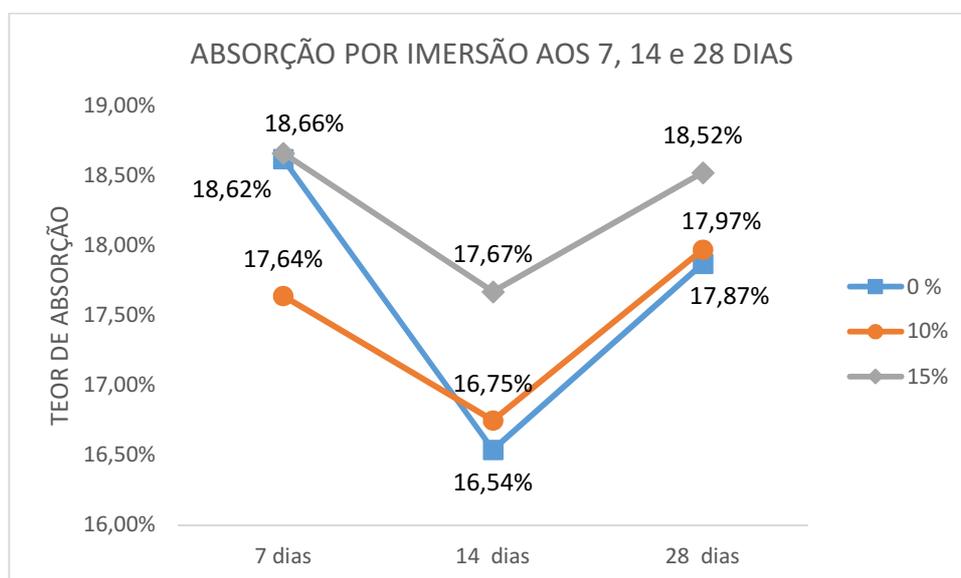
O padrão de absorção de água da argamassa para as idades de 7, 14 e 28 dias é apresentado na Tabela 10 e ilustrada através da Figura 36.

**Tabela 10** – Absorção por imersão nas idades de 7, 14 e 28 dias

TEOR DE PET	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
0%	17,87%	16,54%	17,87%
10%	17,97%	16,75%	17,97%
15%	18,52%	17,67%	18,52%

Fonte: Autoria própria (2017).

**Figura 37** – Absorção de água para as argamassas nas idades de 7, 14 e 28 dias



Fonte: Autoria própria (2017).

Segundo Pietrobelli (2010) a adição de resíduo de PET a concretos ocasiona redução da resistência e também uma perda de trabalhabilidade quando comparado ao concreto de referência, pelo fato do agregado de polietileno ter menor peso e maior volume comparado com o agregado natural e que os traços produzidos em peso apresentam uma quantidade de PET bastante elevada. Sendo necessária uma correção do traço, uma vez que a quantidade de agregado reciclado presente na mistura, está diretamente ligada e interfere diretamente e significativamente no desempenho aos esforços mecânicos dos concretos produzidos.

## **7. CONCLUSÕES**

A indústria da Construção Civil é responsável por um grande impacto ambiental, principalmente em relação à quantidade de matéria prima consumida. Muitos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de reduzir a geração de resíduos, buscando sempre que possível reutilizar na forma de agregados reciclados. Sabe-se que os agregados reciclados apresentam determinadas características que influenciam nos parâmetros de dosagem das argamassas. Logo, é de suma importância desenvolver estudos específicos para garantir a utilização de forma adequada desses resíduos.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir que a adição de PET micronizado às argamassas ocasiona um aumento no teor de absorção de água pelas mesmas. Ocasionalmente ocasionando uma maior permeabilidade com um possível aumento no índice de vazios do material e redução na resistência, proporcionando assim uma maior captação de água por meio da sua superfície.

## **8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Com base no desenvolvimento deste trabalho, sugere-se como recomendações para trabalhos futuros:

- Determinar a absorção das argamassas com incorporação de PET micronizado em teores maiores;
- Determinar a absorção das argamassas com incorporação de PET micronizado para maiores tempos de cura;
- Determinar a absorção das argamassas com incorporação de PET micronizado usando cimento pozolânico e não pozolânico.
- Estudar a aderência das argamassas com incorporação de PET micronizado;
- Estudar a resistência das argamassas com incorporação de PET micronizado;

## 9. REFERÊNCIAS

ABIPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET. **7º Censo da Reciclagem de PET no Brasil** (2010).

ABIPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET. **8º Censo da Reciclagem de PET no Brasil** (2012).

ABIPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET. **9º Censo da Reciclagem de PET no Brasil** (2013).

ABIPET – Associação Brasileira dos Fabricantes de Embalagens de PET. **10º Censo da Reciclagem de PET no Brasil** (2016).

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1982) NBR 7251. **Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987) NBR 7217. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1987) NBR 9776. **Agregados - Determinação da massa específica Chapman**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001) NBR 30. **Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001) NBR 49. **Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001) NBR 51. **Agregado graúdo – Ensaio de abrasão "Los Angeles"**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2001) NBR 53. **Agregados graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003) NBR 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003) NBR 46. **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 13279. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 13281. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 15261. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear).** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 49. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) NBR 9778. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006) NBR 45. **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) NBR 15900. **Água para amassamento de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) NBR 52. **Agregados miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) NBR 7211. **Agregado para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013) NBR 11579. **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014) NBR 13583. **Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)** Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2014) NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2015) NBR 5738. **Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro: ABNT.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2016) NBR 11513. **Materiais granulares usados em fundição - Determinação da massa específica pelo uso do frasco volumétrico de “Le Chatelier”**. Rio de Janeiro: ABNT.

ALMEIDA, Marconi Oliveira; FERRARI JUNIOR, Marle; SONCIM, Sérgio Pacífico; ATHAYDE JUNIOR, Gilson Barbosa. **Uso de Areia De PET na Fabricação de Concretos**. ICTR, 2004.

ALMEIDA, S.F de. **Análise dinâmica da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura**. Dissertação

(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 2005.

AOKI, Jorge; MEDEIROS, Giovana. **Retração – Redução de Efeito e Compensação**. Portal cimento Itambé, 2010. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/retracao-reducao-de-efeito-e-compensacao/>>. Acesso em: 26 de maio de 2017.

ARAÚJO, Márcio Augusto. **A moderna construção sustentável**. IDHEA – Instituto para desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2008. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel\\_589](https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589)>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

BASTOS, Pedro Kospschitz Xavier. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001. p.172.

BAUER, Elton; CASTRO, Eliane Kraus de. **Degradação dos materiais e elementos da construção - influência das incidências climáticas**. 2013. Disponível em: <<http://materialsandmateriais.blogspot.com.br/2013/07/divulgacao-tecnica-at-14-degradacao-e.html>>. Acesso em: 26 de maio de 2017.

CANELLAS, S.S.; D'ABREU J.C. **Reciclagem de PET, visando a Substituição de Agregado Miúdo em Argamassa**. XXI ENTMME - Natal-RN, 2005.

CANEVAROLO JR., Sebastião V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para Tecnólogos e Engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 2ª edição, revisada e ampliada.

CARASEK, Helena. **Avaliação de resultados do ensaio de resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. Artigo. Revista Técnica. Edição 185 - Junho/2012.

CIB - Conselho Internacional para a Pesquisa e Inovação em Construção. **Os Edifícios Verdes e a Legislação.** Disponível em: <<http://www.cibworld.nl/site/home/index.html>>. Acesso em: 10 março de 2017.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na Construção Civil.** Dissertação (Especialização). UFMG. Belo Horizonte, 2009.

DNER - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (1994). DNER -ME 085/94 - **Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

DUARTE, Eric Brum de Lima. **Resistência à compressão de argamassa composta por resíduo de construção e demolição e politereflato de etileno (PET) em flocos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Nove de Julho – UNINOVE. São Paulo, 2014.

FORMIGONI, Alexandre. CAMPOS, Ivan P. Arruda de. **Reciclagem de PET no Brasil.** UNESP. São Paulo, 2012.

ISHIKAWA, Paulo Hidemitsu. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP: [s.n.], 2003.

KANTOVISCKI, Adriano R. **Materiais Poliméricos. Módulo 1 – Conceitos e Definições.** Apostila Renault do Brasil S.A. 2011. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/d5matPolimM od1.pdf>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

Mattos, Aldo Dórea. **Planejamento e controle de obras.** São Paulo. Pini, 2010.

MAZALI, Italo Odone. **Determinação da densidade de sólidos pelo método de Arquimedes.** Apostila. UNICAMP – Campinas, 2005.

MELLO, Anselmo Lima; CARVALHO, Ricardo Fernandes; SILVA, Vanessa Silveira. **Características da Argamassa de Revestimento Contendo Resíduos de Plástico como Alternativa aos Agregados Naturais.** XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Juiz de Fora, 2012.

MONTE, Renata; ALMEIDA, Valéria; KUDO, Elisabete Kioko; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; JOHN, Vanderley Moacyr. **Módulo de elasticidade dinâmico: comparação entre velocidade da onda ultrassônica e frequência ressonante.** Anais. Recife: Ed Universitária da UFPE, 2007.

OLESKOWICZ, Alex Valentim. **A influência da adição de nanotitânia e fibras poliméricas em argamassas usadas em paredes de tijolos solo-cimento.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2015.

OLIVEIRA, Juliana de. **Estudo Das Propriedades De Argamassas Colantes Submetidas À Saturação E Secagem.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, Valéria Costa de. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PEREIRA, Helena Ravache Samy. **Análise da Retenção de Água em Argamassas com Resíduos de Fundição.** Projeto de pesquisa. Centro Universitário - Católico de Santa Catarina. Jaraguá do Sul, 2012.

PIETROBELLI, Eliton R. **Estudo De Viabilidade Do PET Reciclado em Concreto sob Aspecto da Resistência a Compressão.** Universidade Comunitária da Região de Chapecó. Chapecó – SC, 2010.

QUARCIONI, Valdecir Ângelo; CHOTOLI, Fabiano Ferreira; ÂNGULO, Sergio Cirelli; GUILGE, Mario Sergio; CAVANI Gilberto de Ranieri; CASTRO, Alessandra Lorenzetti de; CINCOTTO, Maria Alba. **Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes.**

Artigo científico. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Porto Alegre, 2009.

RIEKSTI, Ana Carolina. **ISO14001 e a sustentabilidade: a eficácia do instrumento no alcance do desenvolvimento sustentável.** \* Escola Politécnica - Universidade de São Paulo – USP. 2010. Disponível em: <<https://www.usp.br/mudarfuturo/cms/?p=212>>. Acesso em: 14 de maio de 2017.

SELMO, Silvia Maria de Souza. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 1991.

SENAGLIA, Rafael Gentil. **Discussão sobre a necessidade de chapisco para aplicação de revestimento interno de argamassa sobre alvenaria de bloco de concreto e cerâmico.** Monografia (pós-graduação lato-sensu em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

SENAI-SP. **Mestre de obras.** Coleção: Construção Civil e Restauro. São Paulo. SENAI editora, 2013. **Páginas:** 248

SILVA, F. A. N.; MONTEIRO, D. N.; VIEIRA, C. M. F.; LOPES, M. F. S. **Influence of barium sulfate on the characteristics of red ceramic incorporates with oily waste.** *Cerâmica*. São Pauo, v.52, n.321,1521p., 2006.

SILVA, Fabrício Martins. **Análise experimental das relações do módulo de elasticidade e resistência à compressão do concreto em relação à idade.** 65 p Monografia (Graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

SILVA, Rosiany da Paixão. Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo do comportamento reológico e mecânico. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SOARES FILHO, Aparecido; CINTRA, Carlos Henrique; FERRAZ, Priscila Aires; SIGAHI, Tiago Fonseca A. C. **Polímeros – site da disciplina de Ciências de Materiais**. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba- MT. 2011. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/cmtotalufscar/>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

SOUSA NETO, Valter Ferreira de. **Determinação da Resistência a Compressão de Blocos de Alvenaria Estrutural Incorporados Com Resíduo Oleoso de Petróleo**. Monografia (Graduação). UFCG. Campina Grande, 2016.

TOCHA, Ricardo. **Sustentabilidade na construção civil**. Disponível em: <<http://certificacaoiso.com.br/sustentabilidade-na-construcao-civil-com-pbqp-h/>>. Acesso em: 07 de maio de 2017.