

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E MEIO AMBIENTE
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

ROMULO SILVA DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE POLITEREFTALATO
DE ETILENO (PET) EM ARGAMASSA**

**UNIVERSIDADE
FEDERAL
FLUMINENSE**



**NITERÓI
2021**

ROMULO SILVA DE SOUZA

AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)
EM ARGAMASSA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Daiane Cecchin

Coorientador:

Prof. Dr. Afonso Rangel Garcez de Azevedo

Niterói

2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE
Gerada com informações fornecidas pelo autor

S719a Souza, Romulo Silva de
Avaliação da incorporação de politereftalato de etileno
(PET) em argamassa / Romulo Silva de Souza ; Daiane Cecchin,
orientadora ; Afonso Rangel Garcez de Azevedo, coorientador.
Niterói, 2021.
44 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia
Agrícola e Ambiental)-Universidade Federal Fluminense, Escola
de Engenharia, Niterói, 2021.

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos. 3. Plástico. 4.
Produção intelectual. I. Cecchin, Daiane, orientadora. II.
Azevedo, Afonso Rangel Garcez de, coorientador. III.
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. IV.
Título.

CDD -

ROMULO SILVA DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)
EM ARGAMASSA**

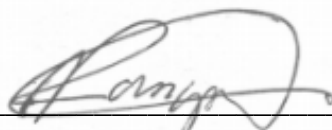
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Aprovada em 27 de abril de 2021.

BANCA EXAMINADORA



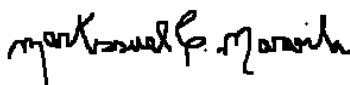
Prof^a. Daiane Cecchin (Orientadora), D.Sc. – UFF



Prof. Afonso Rangel Garcez de Azevedo (Coorientador), D.Sc. – UENF



Prof^a. Dirlane de Fátima do Carmo, D.Sc. – UFF



Prof. Markssuel Teixeira Marvila, M.Sc. – UENF

A Deus, aos meus pais e à minha irmã, pois sem eles essa conquista não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, que nos momentos mais difíceis me motivou a não desistir.

Aos meus pais, por acreditaram em mim e me incentivarem a dar sempre o meu melhor.

À minha irmã, por acreditar, me motivar e ser alguém em quem eu posso me espelhar.

Aos meus amigos, que tornaram essa experiência mais leve e divertida.

À minha orientadora Prof^a. Daiane Cecchin e ao meu coorientador Prof. Afonso Rangel, por toda orientação e paciência no desenvolvimento desse trabalho.

À universidade por ter me oferecido um ensino de excelência no decorrer desses anos.

“Não tenhamos pressa, mas não percamos tempo.”

José Saramago

RESUMO

A construção civil tem adequado de forma gradativa os seus processos visando a sustentabilidade ambiental. A utilização de materiais reciclados permite a diminuição na extração de recursos naturais, reduzindo custos e a poluição. O politereftalato de etileno (PET) é um dos polímeros mais importantes por apresentar numerosas aplicações. Objetivou-se com o presente trabalho analisar as propriedades e características de argamassas com adição de PET em substituição dos agregados miúdos convencionais. Para caracterização do agregado de PET foi feita uma determinação dos tamanhos dos grãos e uma análise morfológica. O traço realizado foi de 50% em volume de agregado de PET. Os ensaios realizados para avaliação de propriedades no estado fresco foram: teor de ar incorporado, retenção de água, densidade de massa e trabalhabilidade. No estado endurecido foi analisada a resistência mecânica à compressão após 7, 14 e 28 dias de cura. Foi observado aumento da densidade da massa, redução no teor de ar incorporado, aumento na retenção de água e aumento na trabalhabilidade. A amostra com incorporação de 50% de PET apresentou valores superiores para resistência a compressão axial quando comparada com a amostra referência, atingindo o valor máximo de 10,37 MPa após 28 dias de cura.

PALAVRAS – CHAVE: Sustentabilidade, Resíduos, Plástico

ABSTRACT

Civil construction has gradually adapted its processes aiming at environmental sustainability. The use of recycled materials allows the reduction in the extraction of natural resources, reducing costs and pollution. Polyethylene terephthalate (PET) is one of the most important polymers as it has numerous applications. The objective of the present work was to analyze the properties and characteristics of mortars with the addition of PET in substitution of conventional fine aggregates. To characterize the PET aggregate, grain sizes were determined and a morphological analysis was performed. The trace performed was 50% by volume of PET aggregate. The tests carried out to evaluate properties in the fresh state were: incorporated air content, water retention, mass density and workability. In the hardened state, the mechanical resistance to compression was analyzed after 7, 14 and 28 days of curing. It was observed an increase in the density of the dough, a reduction in the content of incorporated air, an increase in water retention and an increase in workability. The sample with 50% PET incorporation showed higher values for resistance to axial compression when compared to the reference sample, reaching a maximum value of 10.37 MPa after 28 days of curing.

KEY WORDS: Sustainability, Residue, Plastic

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de Reciclagem.	19
Figura 2 - Propriedades da argamassa segundo o seu estado.	27
Figura 3 - Resíduo de PET.	31
Figura 4 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do PET com aumento de 60x.	33
Figura 5 - Resistência média à compressão axial (MPa) ao longo do tempo de cura.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporção dos traços dosados em laboratório.....	31
Tabela 2 - Propriedades da amostra referência e da amostra com 50% de PET no estado fresco.....	34
Tabela 3 - Valores médios de resistência à compressão de concreto diferentes porcentagens de adição de PET em diferentes idades	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABS – Acrilonitrila butadieno estireno

ARI – Alta resistência inicial

NBR – Norma Brasileira

PC – Policarbonato

PE – Polietileno

PEEK – Poliéter-étercetona

PET – Polietileno tereftalato

PMMA – Polimetilmetacrilato

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PVC – Policloreto de vinila

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

a/c – Água/Cimento

CaCO₃ – Carbonato de cálcio

CaO – Óxido de cálcio

CPB – Cimento Portland branco

CPI ou CPI-S – Cimento Portland comum

CPII E, F ou Z – Cimento Portland composto

CPIII – Cimento Portland de alto-forno

CPIV – Cimento Portland de alta resistência Inicial

g / cm³ - Relação grama por centímetro cúbico

MPa – Mega Pascal

µm – Micrómetro

mm - Milímetro

ppm – Partes por milhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	16
3.1	Sustentabilidade	16
3.2	Gestão de Resíduos Sólidos	17
3.3	Politereftalato de etileno – PET	18
3.4	Argamassa	20
3.4.1	Agregados.....	22
3.4.2	Aglomerantes	23
3.4.3	Água para amassamento	25
3.4.4	Propriedades principais da argamassa	27
3.4.4.1	Propriedades no Estado Fresco.....	28
3.4.4.2	Propriedades no Estado Endurecido.....	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6	CONCLUSÕES.....	36
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), foram gerados mais de 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no ano de 2019, dos quais cerca de 8% não foram objetos de coleta. A respeito da disposição final dos RSU coletados, 59,5% sofreram a destinação adequada e o restante, 40,5%, foram despejados em locais inadequados, como lixões ou aterros controlados, onde não existem sistemas e nem medidas de controle de danos ao meio ambiente, e a saúde de milhões de pessoas (ABRELPE, 2020).

Na sua maioria, o lixo constitui-se de resíduos de construção e demolição, embalagens, papel, latas, vidros, tecidos, plásticos, entre outros. Em razão do grande volume e das dificuldades encontradas no descarte, medidas mitigatórias são adotadas para reduzir os impactos causados pela destinação inadequada dos resíduos sólidos (SILVA, 2019).

Os plásticos estão entre os resíduos sólidos mais consumidos e descartados (ABIPLAST, 2018). De acordo com o relatório *“The State of Plastics”* (ONU, 2018), até 2030 o mundo poderá produzir cerca de 619 milhões de toneladas de plástico por ano, devido a sua crescente produção global.

Durante o ciclo de reciclagem, a garrafa PET pode dar origem a dois produtos. Ao serem moídas elas passam a ser denominadas de flocos ou flakes, ganhando certo valor no mercado, pois estão sob uma forma mais refinada e são utilizados como matérias-primas de diversos produtos. Há também a possibilidade de se produzir os pellets, no qual o produto assume forma mais condensada, otimizando o desempenho na transformação e seu transporte (CEMPRE, 2020). De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de PET (ABIPET), no ano de 2015 foram reciclados 51% das embalagens produzidas (ABIPET, 2016).

Nas últimas décadas, a construção civil tem se atentado de forma gradativa à sustentabilidade ambiental, por isso há uma demanda necessária de introdução de novos materiais. Os materiais que podem ser reciclados apresentam grande número de benefícios econômicos e ambientais, pois permitem uma diminuição na extração de recursos naturais, reduzindo a poluição e os gastos (JARDIM, 2016). O politereftalato de etileno (PET) por apresentar numerosas aplicações, resistência

química, baixas permeabilidade de gases, excelente resistência à tração e impacto é um dos polímeros mais importantes na engenharia (AWAJA e PAVEL, 2005).

Como recurso natural a areia é bastante utilizada na construção civil por apresentar baixo custo, o que torna difícil na prática a sua substituição por outro tipo de material. Por outro lado, diversos problemas ambientais são gerados com a sua extração, como por exemplo, erosão, assoreamento e redução na pressão sobre os lençóis de água subterrâneos (CANELLAS, 2005). Desta forma, é imprescindível o estudo para que se viabilize a utilização de outros materiais a fim de contribuir com a redução da exploração da areia de rio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar as propriedades e características de argamassa confeccionada com a adição de politereftalato de etileno (PET) triturado em substituição a agregado miúdo.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o desempenho no estado fresco da densidade de massa, do teor de ar incorporado, da trabalhabilidade e da retenção de água das argamassas sem resíduo (referência) e com incorporação de 50% de PET;
- Avaliar a resistência mecânica à compressão das argamassas nas idades de 7, 14 e 28 dias.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Sustentabilidade

No início do século XX, a humanidade passou por grandes transformações de teores não só econômicos, mas também sociais. Advindo dos processos de industrialização e do aumento considerável da população mundial surgem os diversos danos ambientais. A intervenção humana no meio ambiente é agravante principal desses danos. Por isso, surge a necessidade de se encontrar soluções menos agressoras ao meio ambiente, para garantir o futuro das próximas gerações (NETA, 2011).

A Sustentabilidade Ambiental é baseada na forma de utilizar os recursos no presente sempre apresentando preocupação com a manutenção dos recursos para o futuro. A apreensão com o desgaste ambiental é um resultado de todo consumo excessivo dos recursos naturais (SILVA, 2008). Para Cavalcanti (2013), a sustentabilidade é vista como a possibilidade de se obter continuamente condições iguais ou superiores de vida para determinado grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema.

Além de tecnologias de tratamento adequadas, resíduos ideais para reutilização e métodos de recuperação de recursos, a sustentabilidade inserida em um setor permite o melhor processo na tomada de decisões e políticas de suporte, para alcançar o desenvolvimento de forma sustentável (FATIMAH et al., 2020). Como alternativa de economia de baixo carbono, a inovação de forma sustentável apresenta-se como possibilidade de iniciativas focadas em mitigação e adaptação aos impactos ambientais (PINSKY et al., 2015).

Garantir maior proteção ao meio ambiente e aos recursos naturais é um dos principais requisitos para o desenvolvimento sustentável, permitindo maior capacidade de atender às demandas das próximas gerações, além das nossas necessidades atuais. Também é necessária a elaboração de estratégias somadas ao desenvolvimento urbano, industrial, agrícola, logístico e políticas tecnologias para o estabelecimento de bases para o desenvolvimento sustentável. Desta forma, a extração excessiva de recursos minerais na construção civil motivou para que o setor se adaptasse em seus processos, levando a utilização de materiais de construção sustentáveis (SAVADKOOHI & REISI, 2020).

3.2. Gestão de Resíduos Sólidos

De acordo com a Lei 12.305 (BRASIL, 2010), os resíduos sólidos são caracterizados como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL; Lei 12.305, 2010).

Pode-se classificar os resíduos em Classe I e II. Os resíduos Classe I apresentam características como periculosidade ou inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e patogenicidade, por isso são denominados perigosos. Os outros, Classe II e não perigosos, podem ainda se subdividir em A e B. Quando classificados como Classe IIA são materiais não inertes, apresentando propriedades como biodegradabilidade, solubilidade em água ou combustibilidade. Já os Classe IIB são resíduos inertes, que quando em contato com água destilada ou deionizada tem nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações maiores aos padrões de potabilidade de água, exceto aspectos como cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

A Lei Federal 12.305/2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, nela são dispostos os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes a respeito da gestão integrada e do gerenciamento dos resíduos sólidos, responsabilizando quem gera o resíduo e o poder público. A respectiva lei tem por dentre os objetivos integrar catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis através de ações que reproduzam a responsabilidade compartilhada por esses resíduos, além de não gerar, reutilizar, reduzir, reciclar e tratar os materiais sólidos, dando uma disposição final adequada. Ainda, tem por objetivo a articulação de diferentes esferas do poder público e o setor empresarial, a fim de manter uma cooperação técnica e financeira (BRASIL, 2010).

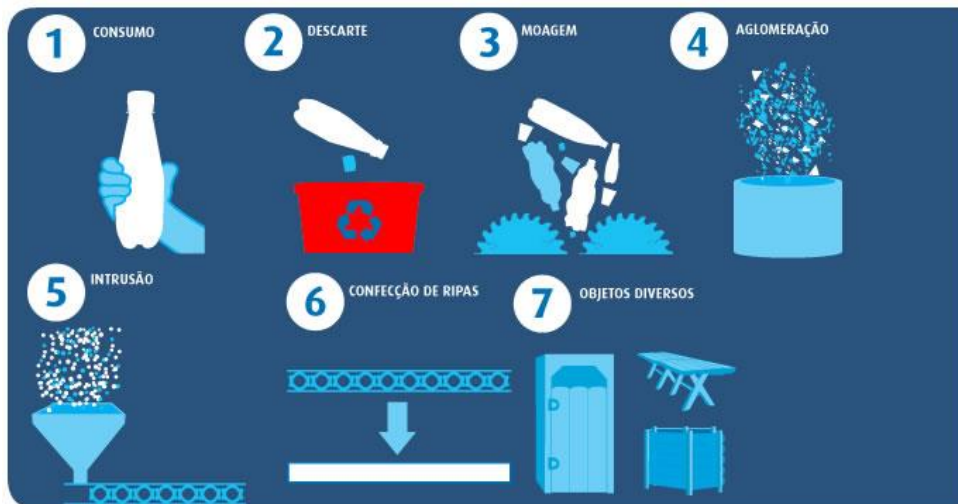
3.3. Politereftalato de etileno – PET

Em 1941, o PET (Politereftalato de etileno) foi desenvolvido pelos químicos britânicos Whinfield e Dickson. Trata-se de um polímero produzido pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol (ABIPET, 2010). Por ser um material inerte, leve, transparente e com boa resistência, passou a ser utilizado de forma ampla em embalagens de produtos alimentícios no início da década de 1980. Por sua resistência e por formar uma barreira a gases, no seu início as embalagens eram produzidas com intuito de armazenar bebidas carbonatadas. Além dessa aplicação, no Brasil é utilizada em diversos produtos, como embalagens de produtos de higiene e limpeza, cosméticos e fármacos (CANELLAS, 2005).

Quando reciclado, o material de PET tem o destino às indústrias como matéria prima para a confecção de novos produtos. A maior detentora desses resíduos é a indústria têxtil, seguido pela indústria de resinas insaturadas e alquídicas, indústria de embalagens, indústria de fitas de arquear, indústria de laminados e chapas e indústria de tubos (AWAJA e PAVEL, 2005; ABIPET, 2016).

Segundo a *Association of Plastics Manufacturers* (PLASTICS EUROPE, 2020), os polímeros classificados como termoplásticos são mecanicamente recicláveis, podendo ser derretidos e reformulados, quase de forma indefinida devido a alta flexibilidade. Quando eles são aquecidos podem ser fundidos e após o resfriamento endurecem. Por outro lado, quando congelados, apresentam semelhança ao vidro e estão sujeitos a fratura. Essas características permitem que o material possa ser reaquecido, remodelado e congelado repetidamente (HIREMATH et al., 2014). A Figura 1 ilustra o processo de reciclagem.

Figura 1 - Processo de Reciclagem.



Fonte: Alpambiental (c2016).

Para minimizar o impacto ambiental causado pela disposição de polímeros em aterros sanitários, a reciclagem desse tipo de material se torna viável. Além de preservar o meio ambiente, este processo está se tornando cada vez mais importante, pois também atende a interesses econômicos e o descarte desses resíduos está cada vez mais estrito através das legislações (SPINACE, 2005).

De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2018), a atual indústria do plástico é em defesa de que o descarte não é o fim da vida útil de um produto. Após realizado o descarte, tem-se como objetivo a realocação dos resíduos recicláveis no processo produtivo, através da reutilização ou da transformação em matérias-primas para novas aplicações, assim gerando menor quantidade de resíduos. Segundo o relatório “*State of Plastics*” (ONU, 2018), dentre os plásticos mais descartados estão garrafas PET, tampas de garrafa PET, bitucas de cigarro, envoltório de alimentos e sacolas.

De acordo com a ABIPLAST (2018), a resina de PET representa 5,9% das resinas mais consumidas no Brasil. Apesar de ser um material reciclável, o PET, em sua maioria, é descartado em lugares impróprios, causando prejuízos. Fatores como a falta de disseminação de informação pública, a falta de incentivos às cooperativas de reciclagem, o custo total do ciclo de vida e a responsabilidade corporativa estão atrelados a esses prejuízos (SPÓSITO et al., 2020).

3.4. Argamassa

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), pode-se definir argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, podendo ou não conter aditivos, apresentando propriedades de aderência e endurecimento.

A partir dos anos 1990 os revestimentos de argamassa passaram a ser amplamente utilizados no Brasil, tendo sua composição variando de acordo com sua função e utilidades. Desta forma, a argamassa pode ser utilizada como reboco ou como chapisco para proteção de paredes externas (ROSA, 2017).

As argamassas têm como principal característica sua vasta aplicabilidade, capaz de se adequar às mais diversas situações e usabilidade, tornando-se um material amplamente utilizado nas edificações, podendo ser utilizadas em assentamento de tijolos, azulejos ou ainda para fazer reparos, rebocos e emboço (ROSA, 2017).

Segundo Pereira (2012), as argamassas se diferem em três grupos, de acordo com a forma que serão utilizadas. A primeira seria a argamassa convencional utilizada em assentamentos de blocos, revestimentos de paredes e contrapiso, a outra seria a argamassa colante, a qual tem sua utilização voltada para o assentamento de placas cerâmicas em pisos ou paredes, e por último a argamassa de rejuntamento.

De acordo com Roscoe (2008), a argamassa de assentamento é utilizada como uma camada de fixação, a qual tem por objetivo unir placas de cerâmicas ao substrato. Deste modo, utiliza-se a argamassa tradicional composta de cimento e areia dosada em obra com o objetivo de desenvolver aderência mecânica; argamassa adesiva industrializada com o objetivo promover aderência química e mecânica; e as resinas de reação, que promovem a aderência química.

De acordo com a NBR 13749 (ABNT, 1996), o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas. Já a NBR 7200 (ABNT, 1998) especifica que as bases de revestimentos devem atender às exigências de prumo e nivelamento fixados nas normas de alvenaria e estrutura de concreto.

A argamassa colante é um produto considerado industrializado, constituído de cimento Portland, agregados finos e aditivos químicos, que quando em contato com água forma uma massa com características aderentes. Este produto é utilizado como

adesivo no assentamento de peças para revestimento, tanto em paredes quanto em pisos. A argamassa colante industrializada é capaz de aderir peças como cerâmica, porcelanatos, granitos e mármore a substratos, constituídos de concreto, argamassa de contrapiso, cerâmica entre outros, conforme sua especificidade (KUDO, 2012; NBR 14081-1 ABNT, 2012; FIORITO, 2009).

Segundo Junginger (2003), a função básica da argamassa de rejuntamento é preencher os espaços vazios entre as placas. Apesar de o rejuntamento das placas cerâmicas consistir no preenchimento das juntas existentes, o intuito é promover o suporte, impermeabilização e proteção das áreas das placas cerâmicas. Assim como as argamassas para rejuntamento, as placas cerâmicas devem possuir características próprias para as exigências de revestimento externo (REBELO, 2010).

Algumas pesquisas utilizaram a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado de PET na produção de argamassas. As pesquisas variam em teores de substituição utilizados, traços e nas propriedades avaliadas.

Canellas (2005) visou a substituição parcial de areia natural por material granulado oriundo de garrafas PET, em argamassas com traços de 10%, 30%, 50% e 70% em idades de 1, 3, 7, 14 e 28 dias, com proporções de 1:4 (cimento e areia). As propriedades analisadas foram resistência a compressão normal, resistência a compressão axial e a variação de peso. Esse estudo demonstrou ser viável as substituições de até 30% em volume.

Reis e Carneiro (2012) observaram que a utilização de PET na preparação de argamassas provocou a redução do peso específico das argamassas e alteraram o comportamento de flexão e compressão. Essas resistências demonstraram uma queda nos seus valores conforme o aumento na quantidade do novo agregado. Esse estudo concluiu que o novo material demonstrou ser mais dúctil e menos frágil.

Vaz (2016) realizou seu estudo através das substituições parciais por areia de PET em argamassa. Os ensaios realizados foram de índice de consistência, densidade e teor de ar incorporado, absorção por capilaridade, resistência a compressão e tração a flexão. Esse estudo concluiu que a densidade diminuiu com o aumento do teor de substituição, bem como o teor de ar incorporado. No ensaio de capilaridade, houve uma redução de absorção ao comparar as amostras com uma referência (0% de substituição). Com substituição de 5% e 10%, houve um acréscimo nos valores de resistência a compressão axial com relação às argamassas

referências. Este mesmo comportamento é observado nos resultados para ensaio de resistência de flexão à tração.

3.4.1. Agregados

De acordo com Cláudio Neto (2005) a definição mais aceita sobre agregados seria a um material granular, sem forma ou volumes definidos, com dimensões e propriedades convenientes às obras de Engenharia, mais especificamente para produção de concretos e argamassa de cimento Portland. De acordo com Mehta e Monteiro (2008) as partículas de um agregado miúdo variam de tamanho na ordem de 75 μm .

Entre o final do século XIX e final do século XX acreditava-se que mesmo ocupando 70% a 80% do volume do concreto, os agregados apenas o preenchem com o fim de baratear o seu custo final. Por meio do seu uso extenso foi verificado que os agregados influenciam em propriedades do concreto como: composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, porosidade e resistência mecânica. Desta forma começou-se a selecionar de melhor forma os agregados, observando o ambiente em que será inserido a estrutura de concreto produzida (NETO, 2005).

De acordo com Bernucci (2006), os agregados podem ser classificados como: quanto à natureza (natural ou artificial), quanto a tamanho (gráúdo, miúdo e de enchimento) e quanto a graduação (denso, aberto e tipo macadame). Surendar et al. (2021) ressaltam uma nova classificação segundo à natureza, que é o agregado reciclado, que surge como alternativa aos agregados naturais, a fim de alcançar uma construção sustentável.

Na construção civil, a areia é considerada um agregado miúdo, que através de uma análise geológica ela é apresentada sob a definição de um sedimento clássico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos de diâmetros entre 0,06 a 2,0 mm, é oriunda de rios, cavas, britagem, escória, praias e dunas (BAUER, 2000).

A granulometria das areias é um fator determinante para o seu uso específico. As que possuem maior concentração de sílica são usualmente utilizadas em indústrias de siderurgia. As que possuem baixo teor de ferro são utilizadas para fabricação de vidros, cerâmicas e vidros refratários. Já as areias grossas, que são as com maiores impurezas, são utilizadas na construção civil e as mais finas como elementos abrasivos (OLIVEIRA; BRITO 2002).

A areia atuando como agregado inerte na mistura possibilita uma redução na proporção dos aglomerantes, reduz o custo da argamassa e diminui os efeitos nocivos do excesso do cimento. Uma boa areia utilizada na argamassa deve passar integralmente pela peneira 1,2 mm, não ter mais do que 10% de material pulverulento (passante na peneira 200 - 0,075 mm) e ter uma granulometria bem distribuída na malha intermediária. Já as areias conhecidas como de britagem (industriais) usualmente apresentam materiais maiores retidos nas peneiras superiores (1,2 mm – 4,8 mm) e de materiais finos (passante na peneira 0,075 mm). As areias naturais costumam apresentar maior porcentagem de matéria retido em peneiras intermediárias (0,6 mm e 0,3 mm). Por isso, utiliza-se a composição de dois tipos de materiais, com o objetivo de se obter um material mais contínuo e adequados às zonas granulométricas ótimas ou utilizáveis (PRUDÊNCIO JR.; OLIVEIRA; BEDIN, 2003).

As areias utilizadas em concretos e argamassas necessitam de alguns cuidados, tais como: devem ser as de rio, ou seja, lavada, principalmente para o concreto armado. São necessárias características como: grãos grandes e anguloso (areia grossa), limpa, esfregada na mão e deve ser sonora, não fazer poeira e não sujar a mão. Ainda é preciso estar atento quanto sua umidade, pois quanto maior a umidade maior será o seu peso específico (BUENO, 2000).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2002), as areias que são utilizadas em argamassas de revestimentos são retiradas de rios, cava e britagem, que seriam as areias de brita e areias artificiais. Ainda segundo a ABPC (2002), o agregado miúdo atua nas proporções dos aglomerantes e quando a curva granulométrica não é contínua ocorre um maior consumo de água de amassamento, que reduz a resistência mecânica e causa maior retração por secagem na argamassa.

3.4.2. Aglomerantes

Os aglomerantes são caracterizados como produtos utilizados na construção civil e que possuem a finalidade de fixar ou aglomerar materiais entre si. De forma geral são materiais pulverulentos, que quando misturados com água formam uma pasta capaz de endurecer através de secagem ou através de reações químicas. Podem ser classificados como químicos, aéreos, hidráulicos ou termoplásticos (CARVALHO, 2009).

Na utilização de argamassas os principais aglomerantes utilizados são o cimento e a cal. Esses materiais apresentam contribuições decisivas nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido (BAÜER e SOUSA, 2005). O cimento permite a argamassa um aumento da resistência a compressão em suas primeiras idades. Por outro lado, a cal melhora a trabalhabilidade da mistura e sua retenção de água, que provoca a diminuição dos efeitos de retração da argamassa (SILVA, 2006).

De acordo com Padilha (2000), os aglomerantes apresentam uma propriedade principal chamada de pega, que pode ser definida como o tempo de início de endurecimento. A pega tem o seu início quando a pasta começa a perder sua plasticidade e tem o seu fim quando a pasta se solidifica totalmente. Esta propriedade é utilizada como parâmetro para classificação do aglomerante em aéreo e hidráulico, que endurecem sob ação de ar e água, respectivamente.

De acordo com Bueno (2000, p. 3):

Cimento é um material pulverulento (pó) de cor acinzentada, resultante da calcinação de pedras calcáreas carbonatadas contendo entre 20 a 40% de argila. Então, cimento é o nome dado a materiais pulverulentos que, ao serem misturados com água formam uma pasta que pode ser facilmente moldada, endurecendo gradativamente até produzir uma massa compacta e de grande dureza (BUENO, 2000, p. 3).

O carbonato de cálcio (CaCO_3) e o óxido de cálcio (CaO) tem apresentado diversas aplicações com o decorrer do tempo, embora suas pesquisas científicas e tecnológicas não tenham avançado. A produção do cimento Portland foi a motivação para as pesquisas relacionadas ao carbonato de cálcio (LHOIST, 2014).

O cimento Portland é um pó composto por partículas angulares, de diâmetro que variam de 1 a 50 μm , é obtido pela redução do clínquer pelo processo de pulverização, em que o clínquer é constituído basicamente por silicatos de cálcio hidráulicos e uma quantidade pequena de sulfato de cálcio. Estes materiais são obtidos através de matérias primas como o calcário ou giz, sílica e a alumina, que são encontradas em argilas ou folhelhos, e óxidos de ferro quando em medidas adequadas são produzidas em altas temperaturas (BAUER, 2000; MEHTA; MONTEIRO, 2008; NEVILLE; BROOKS, 2013).

Os cimentos Portland podem ser designados de acordo com suas propriedades e adições especiais. A identificação é feita por suas siglas seguidas por sua classe de resistência: 25, 32, 40 ou alta resistência inicial (ARI). São classificados como:

Cimento Portland Comum (CPI ou CPI-S); Cimento Portland Composto (CPII E, F ou Z); Cimento Portland de Alto-Forno (CPIII); Cimento Portland Pozolânico (CPIV); Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI) e Cimento Portland Branco (CPB) (ABNT, 2018).

Segundo Bueno (2000, p. 4):

Cal é um produto que se obtém com a calcinação, à temperatura elevada de pedras calcárias. Essa calcinação se faz entre outras formas, em fornos intermitentes, construídos com alvenaria de tijolos refratários. Há dois tipos de cal utilizadas em construções: hidratada e hidráulica (BUENO, 2000, p. 4).

Através da decomposição térmica dos carbonatos de cálcio e de magnésio obtidos de depósitos de calcário a cal é produzida. Tendo como componente principal o óxido de cálcio (CaO), sua composição tem dependência da origem da rocha calcária empregada (SOARES, 2007).

O processo de calcinação consiste em aquecer o carbonato de cálcio ou dolomito, consistindo na separação dos compostos químicos. A temperatura da calcinação do carbonato de cálcio ocorre entre 660°C e 900°C, obtendo, por conseguinte o óxido de cálcio (CaO) conhecido como cal viva. Embora este subproduto sólido não seja utilizado como material de construção, há uma necessidade de hidratar o óxido de cálcio, processo chamado de extinção, obtendo assim a cal hidratada ou extinta (BAUER, 2000; CINCOTTO; QUARCIONI; JOHN, 2010).

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003), a cal hidratada como um pó, resultado da hidratação da cal virgem, é basicamente composta pela junção de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésia, ou até pela junção de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. A NBR 7175 (ABNT, 2003) determina uma classificação conforme as exigências químicas e físicas na composição da cal, são elas: CH-I, CH-II e CH-III.

Na construção civil a cal é usada como aglomerante em argamassas, junto com água e outros agregados forma uma mistura pastosa que penetra em lugares côncavos e vazios dos blocos cimentados ou cerâmicos, causando a recristalização dos hidróxidos e da reação química com anidridos carbônicos do ar (GUIMARÃES, 2002).

3.4.3. Água para amassamento

A água para amassamento é a água utilizada na preparação de argamassas. Esta água precisa ser livre de impurezas para que não ocorra reações junto ao cimento. De forma geral, toda água potável é considerada apropriada para utilização durante a dosagem (DUÓ, 2017).

O tipo de água utilizada para o amassamento, tanto do concreto quanto da argamassa, precisa de um cuidado em relação a sua fonte, pH, cor, compostos químicos presentes e presença de matérias orgânicas vivas em seu meio. A mudança na potabilidade desta água pode provocar problemas ao concreto ou argamassa, como reação álcali-agregado, incorporação de ar e conseqüentemente a diminuição da resistência (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Para o fim de amassamento, a água indicada é a potável, pois esta água raramente apresenta sólidos dissolvidos acima de 2000 partes por milhão (ppm) e usualmente menos de 1000 ppm. Para uma relação Água / Cimento (a/c) de 0,5 o valor de ppm corresponde a 0,05% do valor de sólidos quando comparado com a massa do cimento, um valor que não interfere na eficácia do material produzido (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Como propriedade principal, a trabalhabilidade das argamassas no estado fresco é diretamente relacionada à quantidade de água adicionada. Esta quantidade deve garantir uma boa produtividade no assentamento sem causar a segregação dos constituintes. A água também interfere nas propriedades do estado endurecido da argamassa, tais como a resistência mecânica (relacionada à relação a/c), aderência bloco/junta, durabilidade (influenciando na retração, a qual está ligada ao aparecimento de fissuras), entre outras (PRUDÊNCIO JR., OLIVEIRA e BEDIN, 2003).

É importante ressaltar, que além da quantidade, a qualidade da água utilizada na produção de argamassas deve ser observada. A presença de substâncias, como sais e matérias orgânicas, pode alterar o tempo de pega (CARASEK, 2007). De acordo com a NBR 15900 (ABNT, 2009), que é responsável por abordar a água para amassamento do concreto, é preciso realizar procedimentos de amostragem e análises para presença de zinco, chumbo, nitratos, cloretos, sulfatos, fosfatos, álcalis e açúcares.

De acordo com Fiorito (2013, p. 154):

Apesar de os fabricantes indicarem nas embalagens uma proporção correta em litros de água por quilo de pó, em obra não há a preocupação de se fazer medidas, resultando em pastas fluidas ou mais consistentes, conforme critério pessoal do oficial assentador (FIORITO, 2013, p. 154).

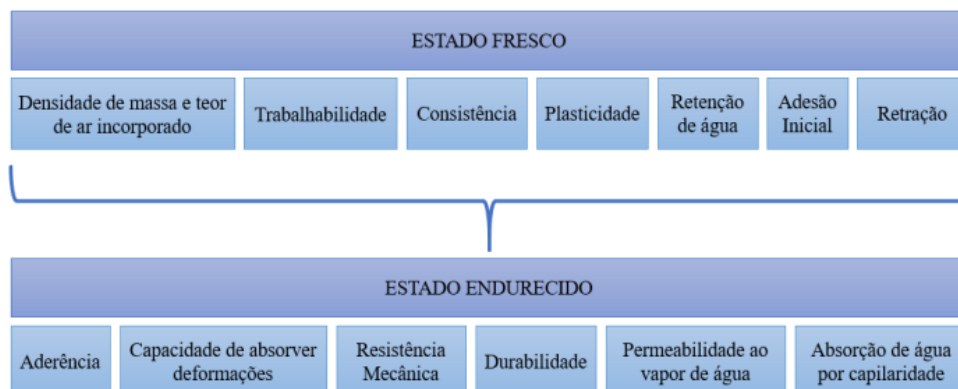
Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) (2002), a água é utilizada como homogeneizante da mistura, para que ocorra as reações em cada um dos seus componentes quando adicionada. Estabelece-se certa quantidade de água para cada traço, para que ao ser utilizada por seus colaboradores seja possível dar trabalhabilidade à massa de acordo com sua finalidade.

3.4.4. Propriedades principais da argamassa

Os estudos das propriedades da argamassa apresentam uma correlação com o estado em que ela se encontra, podendo ser o estado fresco ou endurecido. Segundo Baía e Sabbatini (2008), só é possível cumprir adequadamente a função da argamassa quando ela apresentar um conjunto de propriedades específicas.

Já para Carasek (2010) algumas destas propriedades só podem ser analisadas de forma adequada se o substrato for considerado como fator relevante. Entretanto para maior entendimento sobre as propriedades, o substrato pode ser considerado como fator superficial como algo superficial trazido à tona quando necessário. A Figura 2 agrupa as principais propriedades da argamassa segundo o seu estado.

Figura 2 - Propriedades da argamassa segundo o seu estado.



Fonte: SPÓSITO (2020).

3.4.4.1. Propriedades no Estado Fresco

A massa específica ou densidade de massa está relacionada com a quantidade de teor de ar incorporado na mistura e a massa específica dos agregados utilizados. Esta propriedade pode ser determinada através da relação da massa da argamassa e seu volume, podendo ser absoluta ou relativa (massa unitária). Esta diferença se dá pela consideração de vazios na mistura, onde no cálculo da massa unitária o índice de vazios é admitido e já na absoluta o índice de vazio não é considerado (BAÍA; SABBATINI, 2008).

A quantidade de ar existente ou incorporado é o teor de ar na mistura. Esta propriedade é inversamente proporcional quando comparada com a massa específica, então quanto maior a porcentagem de teor de ar incorporado, menor será a massa unitária da massa (SPÓSITO, 2020).

Segundo a norma americana C125 (ASTM, 2018), a trabalhabilidade pode ser definida pela facilidade com que o material, ainda em estado fresco, pode ser misturado, aplicado, consolidado e acabado. Desta forma, a trabalhabilidade apresenta uma relação com processos manuais, mecânicos, visuais e reológicos da mistura. No sentido reológico, a trabalhabilidade da argamassa possui associação com a viscosidade da mistura, conferindo assim que os parâmetros são inversamente proporcionais, isto é, baixa trabalhabilidade equipara-se a alta viscosidade e alta trabalhabilidade equipara-se a baixa viscosidade.

Ainda de acordo com a norma C125 (ASTM, 2018), a consistência é uma propriedade que indica a capacidade de uma mistura cimentícia, em estado fresco, de fluir ou ter mobilidade relativa. Carasek (2010) apresenta a definição de consistência como sendo a maior ou menor facilidade no qual a argamassa se deforma com a ação de cargas. Sendo assim, a consistência está relacionada com a quantidade de água na mistura, diretamente proporcional a quantidade de pasta na argamassa e pela inércia dos materiais usados. A quantidade de pasta no envoltório dos agregados da argamassa pode gerar a classificação desta em três tipos: argamassa seca, plástica e fluida.

A plasticidade é a propriedade no qual a argamassa tende a se conservar deformada, de modo irreversível, ao ser submetida a uma tensão de deformação. Esta propriedade sofre influência pelos tipos e quantidade de aglomerante e agregados, pelo tempo e intensidade da mistura, além de presença de aditivos, essencialmente

daqueles responsáveis pela incorporação de ar. Ao mudar a consistência da mistura, como resultado mudará sua plasticidade, podendo ser classificada como “pobre” (áspera, magra) e “rica” (gorda) (CARASEK, 2010).

A água utilizada no amassamento é retida de forma natural pela argamassa, umedecendo e envolvendo a superfície de agregados, aglomerante e preenchendo os vazios (NAKAKURA; CINCOTTO, 2004). Define-se a propriedade de retenção de água da argamassa como a capacidade da mesma não perder água para o meio ambiente por evaporação ou perda de água por sucção pelo substrato (SPÓSITO, 2020).

A adesão inicial está relacionada com o fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pois a argamassa se ancora no substrato através da permeação da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, acompanhado de um endurecimento progressivo (BAÍA; SABBATINI, 2008). A adesão inicial também pode ser chamada de “pegajosidade” e está relacionada com características reológicas da pasta aglomerante, mais especificamente a sua tensão superficial (CARASEK, 2010).

De acordo com Carasek (2010), a retração é um mecanismo complexo associado a variação do volume da pasta aglomerante e desempenha um papel fundamental no final do processo quanto a estanqueidade e à durabilidade. Além disso, quando a propriedade retração é abordada é importante mencionar que o descontrole ou excesso de retração pode conduzir a uma redução de vida útil e ao uma confiabilidade estrutural reduzida a longo prazo (JIANG et al., 2018).

3.4.4.2. Propriedades no Estado Endurecido

O fenômeno mecânico no qual a argamassa em estado plástico entra em contato com a superfície do substrato é chamado de aderência da argamassa-substrato. Parte da água de amassamento, que carrega em dissolução ou estado coloidal os componentes aglomerantes, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato, pois neste meio é onde ocorre as precipitações de produtos de hidratação de cimento e da cal. Após um período, esses produtos hidratados formam âncoras, que garantem a união entre a argamassa e o substrato (CARASEK, 2010).

A capacidade de absorver deformações é um termo que tem correlação com a elasticidade deste material. A elasticidade é a capacidade deste material de deformar-

se sem que ocorra a ruptura, retornando à sua forma e volume inicial (CINCOTTO, 1995).

Quando se diz respeito às argamassas, a resistência mecânica é o comportamento e capacidade de resistir a diferentes esforços de tensões solicitantes globais em uma estrutura, que pode estar ligada mais à tração e cisalhamento do que à compressão. As argamassas de revestimento necessitam desse tipo de resistência para a prevenção de fissuras, evitando manifestações patológicas decorrentes (SPÓSITO, 2020). De acordo com Carvalho (2005) a proporção de relação aglomerante/agregado, relação água/cimento da mistura no estado fresco, técnica da execução de revestimentos e a natureza dos aglomerantes e dos agregados são parâmetros que influenciam no comportamento da resistência mecânica.

As argamassas de revestimento possuem uma propriedade relacionada a fatores físico-químicos do ambiente em que está sendo utilizada, a durabilidade. Além disso, esta propriedade está diretamente relacionada com os materiais que a compõe (BRITO, 2013).

A quantidade do gradiente de vapor de água passando através de um material é a permeabilidade ao vapor de água. A perda de água de amassamento sob forma de vapor de água através de uma estrutura porosa do material ocorre quando o mesmo está presente em um ambiente com pressão superior para um ambiente com pressão inferior (SPÓSITO, 2020). Em ambientes com alto índice de umidade o revestimento deve ser permeável ao vapor de água para que seja possível o auxílio na secagem de umidade (BAÍA; SABBATINI, 2008).

A absorção por capilaridade é uma propriedade complexa, sendo um dos mecanismos físicos de circulação de águas em materiais (capilaridade, higroscopicidade e condensação). Desta forma, a argamassa apresenta maior capilaridade a partir da quantidade de poros presentes (SPÓSITO, 2020). O transporte por capilaridade se torna mais efetivos nas camadas mais superficiais do material, pois apresenta uma maior abertura e maior conectividade entre poros (SENTONE, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados na argamassa foram: cimento, areia, água, cal e resíduos de PET. O cimento utilizado foi CP-II-E-32. A areia foi natural, removida do Rio Paraíba do Sul localizado em Campos dos Goytacazes - RJ. A cal hidratada foi CHIII por ser mais utilizada na construção civil. O traço dosado em laboratório foi o 1:1:6 (cimento, cal, areia) (Tabela 1).

Tabela 1 - Proporção dos traços dosados em laboratório.

Resíduo	Traço para uma mistura (g)					Relação água/cimento
	Cimento	Cal	Areia	Resíduo	Água	
Referência - 0% Incorporação - 50%	200	200	1200	-	180	0,9
	200	200	600	600	168	0,84

O resíduo granulado (Figura 3) foi o mesmo utilizado por Da Silva (2020) e incluiu material virgem e reciclado misturados.

Figura 3 - Resíduo de PET.



Fonte: DA SILVA (2020).

Para determinação dos tamanhos dos grãos do resíduo de PET, Da Silva (2020) realizou procedimentos, de forma adaptada, de acordo a NBR 7181 (ABNT,

2016). Para análise morfológica, Da Silva (2020) utilizou um aparelho de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) Modelo FEG Quanta 250, pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME) do Instituto Militar de Engenharia (IME), localizado no município do Rio de Janeiro. A amostra de PET foi recoberta com filme de ouro.

A água potável utilizada para a mistura foi coletada a partir da rede de distribuição de águas do município de Campos dos Goytacazes/RJ, proveniente da Concessionária Águas do Paraíba e isenta de impurezas nocivas à hidratação da argamassa.

Quanto à caracterização tecnológica no estado fresco, a avaliação inicia-se na determinação da densidade de massa, que foi realizada através da razão de massa para volume. Já para a consistência da argamassa, que é diretamente relacionada à sua trabalhabilidade, foi determinada através do ensaio de espalhamento, denominado de Flow Table (ABNT NBR 13276, 2016).

A determinação do teor de ar incorporado foi feita pelo método pressiométrico, segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005). O conteúdo de ar incorporado é relacionado à quantidade de ar aprisionado na massa, que influencia os poros da argamassa e outras propriedades (por exemplo, resistência mecânica).

Segundo a NBR 13277 (ABNT, 2005), a retenção de água foi determinada por meio de medições em aparelho específico, ou seja, sucção de água por bomba de vácuo, em placa de padronização contendo argamassa em uma coluna de mercúrio.

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos com 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, devidamente adensados com haste metálica, evitando a formação de vazios e desmoldados após 24 h e colocados em cura em temperatura e umidade ambiente ao longo do período de 7, 14 e 28 dias (ABNT NBR 5738, 2015).

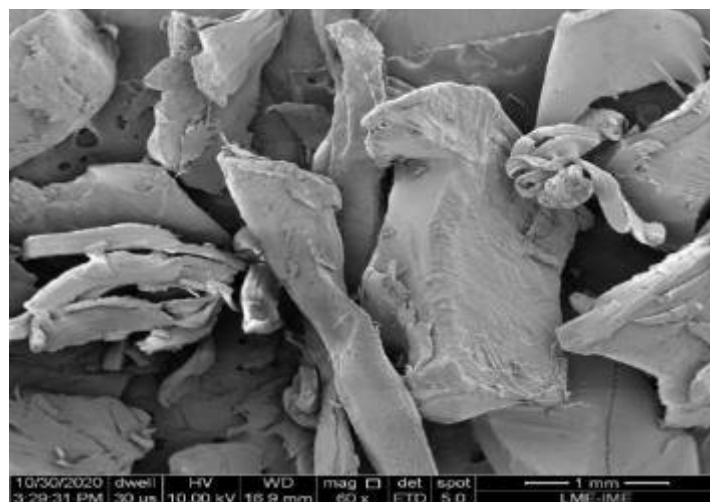
Para as análises no estado endurecido os corpos de prova de concreto foram submetidos à avaliação da resistência mecânica à compressão utilizando uma prensa da marca SOLOTEST, com uma velocidade de teste de 500 N/s após períodos de cura de 7, 14 e 28 dias, avaliando assim o ganho de resistência característico de materiais cimentícios ao longo do tempo (ABNT NBR 5739, 2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição de partículas e granulometria de PET apresentaram 99,9 % de fração de areia, sendo 85,5 % de partículas grossas; 11,5 % médias e 2,9% finas. (DA SILVA, 2020). Por não apresentar limites de consistência e nem umidade higroscópica, pode-se considerar a amostra como não plástico e arenoso de acordo com a NBR 6502 (ABNT, 1995).

Através da análise morfológica (Figura 4) da Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV), o PET mostrou-se com uma elevada área superficial e irregularidade em seus formato e tamanho de suas partículas. (DA SILVA, 2020). Os estudos de Siqueira e Holanda (2015), mostram que esses formatos são resultados típicos dos diferentes processos de corte, trituração e beneficiamento desse tipo de resíduo. Santos (2012) afirma que por apresentarem uma distribuição irregular, as partículas que apresentam menor tamanho podem ocupar espaços livres deixados por partículas de tamanho superior, formando assim o empacotamento de partículas.

Figura 4 - Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do PET com aumento de 60x.



Fonte: DA SILVA (2020).

Na Tabela 2 é possível observar os resultados referentes ao teor de ar incorporado, retenção de água, densidade de massa no estado fresco e valores do abatimento.

Tabela 2 - Propriedades da amostra referência e da amostra com 50% de PET no estado fresco.

	Teor de Ar Incorporado (%)	Retenção de água (%)	Densidade de massa no estado fresco (g/cm³)	Flow-Table médio (mm)
Referência - 0%	7,8	94,25	1,85	255
Incorporação - 50%	6,8	96,87	2,12	261

Os resultados evidenciam uma redução no teor de ar incorporado, diferente do que Vaz (2016) constata em seu estudo. O ar incorporado ocorre através da formação de vazios, devido ao processo mecânico que introduz ar na massa. As argamassas com substituições apresentam uma superfície mais porosa e quanto maior a porcentagem de incorporação de PET, mais porosidade apresenta. Sadrmomtazi et al. (2016) também verificaram um aumento do ar incorporado em experimentos com concreto autoadensáveis com incorporação de PET e materiais pozolânicos, onde para 15% de substituição de PET em massa como agregado miúdo foi investigado um aumento de até 5,8%.

Segundo Matana et al. (2012) e Romano et al. (2009), o excesso de compactação e valores mais baixos de ar incorporado representam um grande problema para a aplicabilidade da argamassa em edificações, portanto o traço com 50% apresenta valores pouco aproveitáveis.

Analisando o resultado para retenção de água, pode-se observar que houve um aumento na amostra com adição de PET quando comparada a amostra referência. Esse resultado é esperado, pois a retenção de água está relacionada com a porosidade (quanto maior porosidade, maior retenção de água). Spósito (2020) ressalta que o material PET absorve menos água do que a areia por apresentar dimensões variadas. Sendo assim, a quantidade de água livre está relacionada com essas dimensões que podem proporcionar uma área superficial maior ou não.

Segundo Matana et al. (2012) e Poinot et al. (2014), altos valores de retenção de água (acima de 90%) melhoram os parâmetros responsáveis pela resistência da argamassa, uma vez que a água o aprisionamento mantém condições favoráveis para a hidratação do cimento. Por outro lado, valores altos de retenção dificultam a fixação da argamassa aos substratos, principalmente os cerâmicos, o que leva a uma redução da tensão de fluxo no estado fresco da argamassa (CAPPELLARI et al., 2013).

Os resultados obtidos para densidade de massa no estado fresco da amostra com incorporação de PET apresentam um aumento aproximadamente de 14,6% quando comparado com o concreto de referência. Esse resultado é inesperado, uma vez que o agregado reciclado de PET possui massa específica menor que a areia natural, como Silva (2014) constatou em seu estudo.

Ao comparar os valores da trabalhabilidade, por meio do *Flow-Table Test*, da amostra referência com a de 50% de PET, pode-se perceber que a incorporação de resíduo de PET na mistura promoveu um aumento no espalhamento. Segundo Safi et al., este comportamento é previsto, uma vez que o PET é um material que pode absorver menos água que o agregado miúdo, o que causa uma menor inércia entre as partículas do material com a argamassa. A NBR 13276 (ABNT, 2005) propõe que a argamassa deva ter um índice ideal de 260 ± 5 mm, logo as duas amostras se enquadram, sendo possível sua aplicação na construção civil.

Foi observada diferença estatística significativa para os valores médios de resistência a compressão entre os tratamentos estudados (0 e 50%), como também entre as idades analisadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores médios de resistência à compressão de argamassas com diferentes porcentagens de adição de PET em diferentes idades

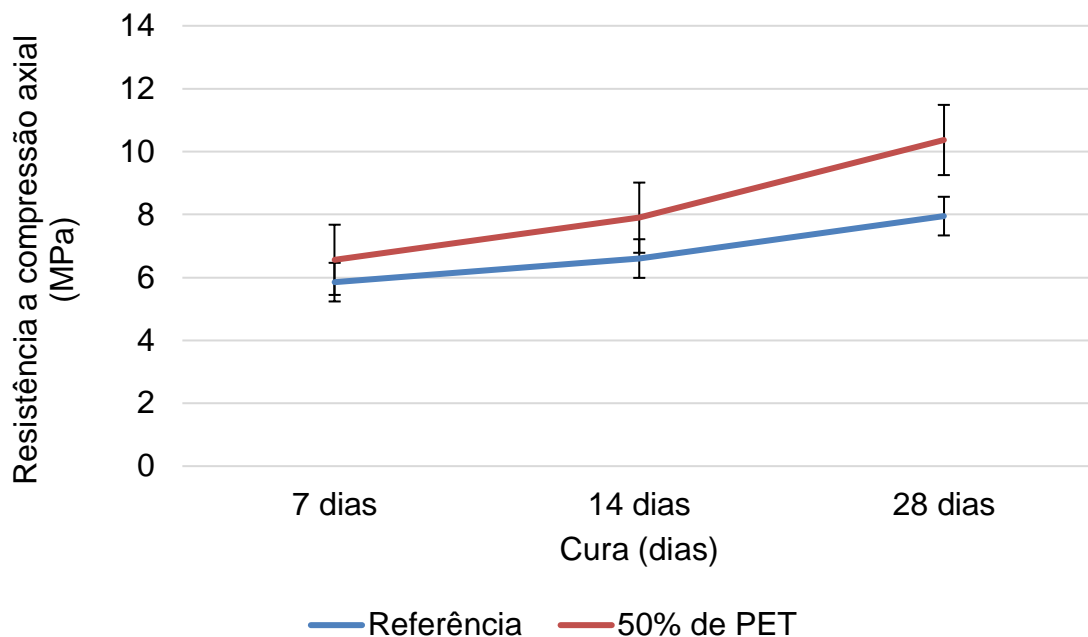
Resíduo (%)	Resistência a Compressão (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
0	5,85 cB	6,60 bB	7,95 aB
50	6,56 cA	7,90 bA	10,37 aA

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$). Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar que houve o aumento de resistência à compressão com o aumento da idade, tanto no tratamento controle e como também no tratamento com adição de PET, diferindo entre si estatisticamente em todas as idades, como também entre os tratamentos. Também foi observado que o tratamento com a adição de PET apresentou valor médio de resistência à compressão superior ao tratamento controle.

Pode-se observar na Figura 5 o comportamento da resistência média à compressão axial com a variação do tempo para ambos os tratamentos, a qual as amostras com incorporação de PET apresentaram valores superiores em todos os períodos de cura em relação a amostra referência.

Figura 5 - Resistência média à compressão axial (MPa) ao longo do tempo de cura.



6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir:

- A avaliação dos agregados de PET permitiu a classificação com granulometria arenosa. A sua microestrutura apresenta irregularidades em seu tamanho e formato resultantes do processo de trituração e beneficiamento. Entretanto, o agregado demonstra ser bom para a compactação.
- Os agregados reciclados possuem características peculiares, interferindo diretamente nos resultados obtidos, quando comparados ao traço com agregados convencionais.
- A densidade de massa no estado fresco sofreu um aumento com a inserção dos agregados de PET;
- Houve uma redução no teor de ar incorporado e este resultado é influenciado pela superfície porosa que os agregados de PET formam na mistura, sendo viável a aplicação desta argamassa em edificações;
- A retenção de água é uma propriedade motivada pelas dimensões que os agregados apresentam e podem formar uma maior ou menor área superficial. Neste caso a

amostra com 50% de PET sofreu um aumento na retenção de água, que é favorável para hidratação do cimento e para parâmetros de resistência;

- O ensaio *Flow-Table* constatou um aumento na trabalhabilidade, que é justificado pela característica dos agregados de PET que causam uma menor inércia nas partículas da argamassa, sendo possível sua aplicação na construção civil;
- A inserção de PET na argamassa provocou um aumento da resistência a compressão axial, indicando que a adição desse material é viável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET, 2017. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/indexAjax.html?method=baixarArquivo&id=548>>. Acessado em 31 de julho de 2020.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**, São Paulo: 2002

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

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

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 18p., 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica, Versão Corrigida 2:2018**. Rio de Janeiro: ABNT, 12p., 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276, Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749: Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-5: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas Parte 5: determinação do deslizamento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900 Água para Amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2019/>>. Acessado em 03 de março de 2021.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C125: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.** Pennsylvania, 2018. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Perfil 2018, Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico.** Disponível em: <<http://www.abiplast.org.br/publicacoes/preview-perfil/>>. Acessado em 03 de março de 2021.

AWAJA, F.; PAVEL, D. Recycling of PET. **European Polymer Journal.** v.41, p.1453–1477, 2005.

ASSOCIAÇÃO COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM– CEMPRE. **Artigos e Publicações,** Ficha Técnica. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>>. Acesso em: 08 de agosto. de 2020.

BAÍA, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimento de argamassa.** 4. ed. São Paulo, 2008. 83 p.

BAUER, F. L. A. **Materiais de Construção: Novos materiais para Construção Civil.** 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2000. 2 v. Revisão técnica: João Fernando Dias.

BAÜER, E.; SOUSA, J. G. G. In: BAUER, E. **Revestimentos de Argamassas: Características e Peculiaridades,** 2005.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros –** Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 f.: il.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil,** 2010.

BRITO, N. J. P. **Efeito da incorporação de resíduo da indústria petrolífera na durabilidade de argamassas de reparação de estruturas de betão**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013.

BUENO, Carlos Frederico Hermeto. **Tecnologia de materiais de construções. Viçosa: UFV**, 2000. Disponível em: <http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_construcao.pdf>. Acesso em: 07 de abril de 2021.

CAMPOS, C. F. S. et al. **Estudo das Propriedades Físicas do Concreto Produzido com Polietileno Tereftalato**. Colloquium Exactarum, Presidente Prudente: Unoeste, v.6, n.4, p.31–39, Nov-Dez 2014.

CANELLAS, Susan Sales. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia), 2005, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CAPPELLARI, M.; DAUBRESSE, A.; CHAOUICHE, M. **Influence of organic thickening admixtures on the rheological properties of mortars: Relationship with water-retention**. Constr. Build. Mater. 2013, 38, 950–961.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais**. Ispis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007. Cap. 26. p. 863 - 904.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais: Argamassas**. 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2010. 2v. Cap. 28. p.863-944.

CARVALHO, E. F. T. de. **Apostila Materiais de Construção I**. Ouro Preto, 2009

CARVALHO JR., A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 2005. 306 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CAVALCANTI, Clóvis. **Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. In: CAVALCANTI, Clóvis (Org.). 5 ed. V.1. São Paulo: Cortez, 2003.p.153.

CIMENTO.ORG. **Efeito da qualidade da água no concreto**. 2010. Disponível em: <<https://cimento.org/efeito-da-qualidade-da-agua-no-concreto/>>. Acesso em: 22 de março de 2021.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim técnico n. 68

CINCOTTO, M. A; QUARCIONI, V. A; JOHN, V. M. **Materiais de construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais: Cal na Construção Civil**. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2010. 1v. Cap. 22. p. 695-726.

DUÓ, Danielli. **Estudo da aderência e da absorção de água em argamassas de revestimento com agregados reciclados de PET em substratos de blocos cerâmicos**. 107p. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2017.

FATIMAH, Y. A. et al. **Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smartwaste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia**. Journal of Cleaner Production, v. 269, p. 122263, 2020.

FERNANDES, Andriellen Paz; VENQUIARUTO, Simone Dornelles. **Estudo da resistência à tração na flexão em concretos com agregado reciclado de PET**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 10, n. 2, 2019.

FIORITO, A. J. S. I.. **Manual de argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de Execução**. São Paulo: Pini, 2009.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de Execução**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2013. 189 p.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2.ed., Pini: São Paulo, 2002

HIREMATH, P. M.; SHETTY, S.; NAVANEETH RAI. P. G; PRATHIMA T. B. **Utilization of Waste Plastic in Manufacturing of Plastic-Soil Bricks**. International journal of technology enhancements and emerging engineering research 2, 2014. ISSN 2347-4289

JARDIM, Rosiéli. **Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de pet em concretos convencionais**. 2016. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.

JIANG, Chaohua et al. **Effect of heat curing treatment on the drying shrinkage behavior and microstructure characteristics of mortar incorporating different content ground granulated blast-furnace slag**. Construction and Building Materials, v. 186, p. 379-387, 2018.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: Influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. Dissertação de mestrado. São Paulo, 2003.

KUDO, E. K. **Caracterização reológica de argamassas colantes**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

LHOIST. Disponível em: <http://www.lhoist.com/pt_br/quer-saber-mais-sobre>. Acesso em: 07 de abril de 2021.

MATTANA, A.J.; MEDEIROS, M.H.F.; SILVA, N.G.; COSTA, M.R.M.M. **Analytic hierarchy process to choose between natural aggregate and crushed rock sand for producing coating mortar**. Ambiente Construído. 2012, 12, 63–79. (In Portuguese)

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. Ed. Pini, São Paulo, 1994, p. 188, p. 573, p. 674.

NETA, S.J. Antônia. **Meio ambiente e gestão de resíduos sólidos: estudo sobre o consumo sustentável a partir da lei 12.305/2010.**, 2012. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/meio-ambiente-e-gestao-dos-residuos-solidos-estudo-sobre-o-consumo-sustentavel-a-partir-da-lei-12-305-2010/>>. Acesso em: 12 de fev. de 2021.

NETO, Cláudio. **Agregados para Concreto**. In: ISAIA G.C. (Org.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações** 1 ed. v.1. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 323-339.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

O que são materiais termoplásticos. Mecânica Industrial, c2021. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/263-o-que-sao-materiais-termoplasticos/>>. Acesso em: 09 de abril de 2021.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Revinter, 2002.

ORGANIZAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **The state of plastics: World Environment Day Outlook 2018**. UN Environment Programme, 11p., 2018.

PADILHA, Ângelo Fernando. **Materiais de Engenharia Microestrutura e Propriedades**. HEMUS, 2000.

PEREIRA, E. **Estudo da influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobrepiso**. Dissertação de mestrado. Curitiba, 2012

PINSKY, V.C.; MORETTI, S.L.A.; KRUGLIANSKAS, I.; PLONSKI, G. A. **Inovação Sustentável: Uma perspectiva comparada da literatura internacional e nacional**. Revista de Administração e Inovação, 2015. ISSN: 1809-2039.

POINOT, T.; GOVIN, A.; GROSSEAU, P. **Importance of coil-overlapping for the effectiveness of hydroxypropylguars as water retention agent in cement-based mortars**. Cem. Concr. Res. 2014, 56, 61–68.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Editora Gráfica Palloti, Florianópolis, 2003.

REBELO, C. R. **Projeto e execução de revestimento cerâmico interno**. 55f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2010.

REIS, J.M.L.; CARNEIRO, E.P. **Evaluation of PET waste aggregates in polymer mortars**. Construction and Building Materials, v. 27, p. 107-111, February, 2012.

ROMANO, R.C.O.; SCHEREUS, H.; SILVA, F.B.; CARDOSO, F.A.; BARROS, M.M.S.B.; JOHN, V.M.; PILEGGI, R.G. **Impact of the mixer and time of mixing on the properties of industrialized mortar**. Ambiente Construído 2009, 9, 109–118. (In Portuguese)

ROSA, Daniella Fernandes Moreira. **Aplicação de resíduos polietileno tereftalato (PET) como alternativa ao agregado miúdo natural em argamassas de assentamento.** 2017. Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2017.

ROSCOE, M. T.. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada.** 2008. 81 f. Monografia(Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SADRMOMTAZI, Ali et al. **The combined effects of waste Polyethylene Terephthalate (PET) particles and pozzolanic materials on the properties of self-compacting concrete.** Journal of Cleaner Production, v. 112, p. 2363-2373, 2016.

SAFI, Brahim et al. **The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties.** Construction and Building Materials, v. 43, p. 436-442, 2013.

SANTOS, A. C. D. **Investigação do efeito da incorporação de resíduos de PET em compósitos cimentícios.** Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de São João Del Rei. Departamento de Engenharia Mecânica, 97p. São João Del Rei,2012.

SAVADKOOHI, M. S.; REISI, M. **Environmental protection based sustainable developmentby utilization of granite waste in Reactive Powder Concrete.** Journal of Cleaner Production,v. 266, 121973, 2020.

SENTONE, D. T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa.** 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

DA SILVA, Alexandra M.; DE BRITO, Jorge; VEIGA, Rosário. **Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars.** Construction and Building Materials, v. 71, p. 226-236, 2014.

SILVA, E. A.; LINS, V. F. C.; COTTING, F. **PROCESSO DE MOAGEM DE GARRAFAS PET PÓS-CONSUMO. The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 5, n. 1, p. 33-36, 2019.

SILVA, Luiz Carlos. **Dicas de Construção – Prejudicial.**, 2004. Disponível em:<<http://www.sitengenharia.com.br/diversosprejudicial.htm>> Acesso em: 11 de fev. de 2021.

SILVA, N. Adriana et al. **Sustentabilidade empresarial: Um estudo de caso sobre as estratégias ambientais e o processo de capacitação de pessoas na empresa Petrobras.**, 2008. Disponível em: <<https://administradores.com.br/producao-academica/sustentabilidade-empresarial-um-estudo-de-caso-sobre-as-estrategias-ambientais-e-o-processo-de-capacitacao-de-pessoas-na-empresa-petrobras>>. Acesso em: 12 de fev. de 2021.

SILVA, Narciso Gonçalves da. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e areia britada de rocha calcária.** Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SIQUEIRA, F. B.; HOLANDA, J. N. F. **Effect of incorporation of grits waste on the densification behavior of soil-cement bricks.** Cerâmica, v. 61, n. 360, p. 414-419, 2015.

SOARES, Bruno Daniel. **Estudo da produção de óxido de cálcio por calcinação do calcário: caracterização dos sólidos, decomposição térmica e otimização paramétrica.** 2007. 422 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SPINACÉ, Márcia Aparecida da Silva; DE PAOLI, Marco Aurelio. **A tecnologia da reciclagem de polímeros.** Química nova, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

SPÓSITO, F. A. et al. **Incorporation of PET wastes in rendering mortars based on Portlandcement/hydrated lime.** Journal of Building Engineering, v. 32, p. 101506, 2020.

SPÓSITO, F. A. **Análises não destrutivas de argamassas mistas de revestimento com incorporação de resíduos de PET.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São Paulo, 2020.

DA SILVA, T. R. **Avaliação da incorporação de politereftalato de etileno em tijolos de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado em Biosistemas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2020

SURENDAR, M. et al. **Mechanical properties of concrete with recycled aggregate and M- sand.** Materials Today: Proceedings, 2021.

VAZ, C. E. **Avaliação de desempenho de argamassa modificada: com areia de pet.** 2016. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016.