

# PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR RESÍDUO DE PET<sup>1</sup>

Anderson Rocha Dantas<sup>2</sup>  
Galberlanio Feitosa Maia<sup>3</sup>  
José Vinicius Moreira Maia<sup>4</sup>  
Emerson dos Santos Silva<sup>5</sup>

## RESUMO

A engenharia civil vem introduzindo alternativas a novos materiais de construção para a sustentabilidade. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento da argamassa quando submetido a esforço axial de compressão, quando produzido com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de PET. Oliveira et al., (2019) dizem que desde a antiguidade, os materiais utilizados pelo homem são projetados para combinar elementos de diversas naturezas para construir edifícios. Os valores de resistência diminuem à medida que o número de novos agregados aumenta. Foram feitos 3 traços com resíduo de PET substituindo 0%, 5% e 10% de areia natural e foram avaliados a compressão axial aos 3, 7 e 14 dias, também para a comparação sobre sua operacionalidade. Aos 14 dias, a argamassa produzida com substituição parcial do agregado miúdo por PET na proporção de 5% atende os requisitos da norma NBR 13281/2005. Aos 28 dias a argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por PET na proporção de 10% poderia atingir a resistência desejada.

**Palavras-chave:** Impacto ambiental. Resíduos de PET. Trabalhabilidade.

## ABSTRACT

Civil engineering has been introducing alternatives to new building materials for sustainability. The objective of this work was to analyze the behavior of the mortar when submitted to axial compression effort, when produced with partial replacement of the kid aggregate by PET residue. Oliveira et al., (2019) say that since antiquity, the materials used by man are designed to combine elements of various natures to build buildings. Resistance values decrease as the number of new aggregates increases. Three traces were made with PET residue replacing 0%, 5% and 10% of natural sand and axial compression was evaluated at 3, 7 and 14 days, also for comparison on its operability. At 14 days, the mortar produced with partial replacement of the kid aggregate by PET in the proportion of 5% meets the requirements of the NBR 13281/2005 standard. At 28 days the mortar with partial replacement of the kid aggregate by PET in the proportion of 10% could reach the desired resistance.

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado para a banca de TCC II, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar.

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Potiguar

<sup>5</sup> Professor Orientador. Mestre em engenharia de Processos. Docente da Universidade Potiguar – emerson.silva@unp.br

**Keywords:** Environmental impact. PET Residues. Workability.

## 1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil vem introduzindo alternativas a novos materiais de construção para a sustentabilidade. Seja visando a substituição de matérias-primas para extração de recursos naturais por materiais alternativos, como a redução de impactos ambientais, como a redução das emissões de dióxido de carbono (VAZ, 2016). Com isto, este trabalho retratará sobre o tema de “Produção de Argamassas com Substituição Parcial do Agregado Miúdo Natural por Resíduo de Pet”.

Um dos problemas ambientais que o mundo está enfrentando é o descarte inadequado de resíduos plásticos. Este problema tornou-se uma grande preocupação nos últimos anos, à medida que a produção global de plástico aumentou dia a dia. Essa produção gera grandes quantidades de resíduos que não são biodegradáveis e não reagem com o ambiente natural, impactando negativamente na poluição ambiental (ALANI et al., 2019).

Polietileno tereftalato é um polímero, comumente conhecido como PET, que é um dos resíduos plásticos. Esse tipo de resíduo é considerado uma ameaça à natureza por não ser biodegradável e por liberar gases químicos perigosos no ar no processo, sua combustão não é uma solução para eliminá-lo, sua decomposição pode levar de 200 A 600 (IBAMA, 2017).

O PET é um material comum que possui características de alta durabilidade, boas propriedades mecânicas e elétricas, baixo custo de produção, sem efeitos colaterais no corpo humano e aparência bonita. Por isso, é amplamente utilizado em

Produção de garrafas de refrigerante, vários tipos de embalagens, fitas de áudio e vídeo e outros campos (GE et al., 2015). O consumo anual de PET no Brasil atingiu 840.000 toneladas em 2016, um aumento substancial de 8% desde 2011, possivelmente devido ao alto consumo durante a realização dos Jogos Olímpicos no país (ABIPET, 2016).

Em relação à reciclagem de PET no Brasil, o último censo mostrou que a quantidade de material reciclado caiu de 314 mil toneladas em 2014 para 274 mil toneladas em 2015, com taxa de reciclagem de 51%. baixa atividade econômica, ou

seja, a queda na demanda do produto reflete a reciclagem de PET no país. Além disso, a queda acentuada do preço do petróleo é outro fator que reduz a lucratividade e, portanto, a atratividade da reciclagem (ABIPET, 2016).

Como resultado da aceitação dessa premissa, surge uma forma alternativa de reduzir o descarte desses resíduos no meio ambiente e desenvolver um processo (procedimento e técnica) para a construção civil. Tem-se a justificativa que a utilização de resíduos de PET em materiais de construção ajuda a reduzir a extração de recursos naturais, pois a construção exige muita matéria-prima. Os flocos de PET das embalagens de bebidas são então utilizados como substituto parcial dos agregados naturais da argamassa.

Giordani et al. (2021) utilizaram PET para preparar a argamassa, e os novos agregados ajudam a reduzir a massa específica da argamassa polimérica e alteram o comportamento de flexão e compressão. Esses últimos valores de resistência diminuem à medida que o número de novos agregados aumenta. Além disso, o novo material torna-se mais maleável e menos quebradiço.

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento da argamassa quando submetido a esforço axial de compressão, quando produzido com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de PET. Com vista de atender ao objetivo geral, tem-se os objetivos específicos traçados: realizar testes de trabalhabilidade e compressão axial aos 3, 7 e 14 dias; verificar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado PET na trabalhabilidade da argamassa pelo método de abatimento de cone truncado; Investigar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado PET na resistência à compressão axial da argamassa convencional; Estudar o efeito da substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado miúdo reciclado de PET na resistência a compressão da argamassa convencional.

Para tanto a metodologia utilizada foi a de levantamento bibliográfico e testes em laboratório, com o objetivo de compreender como o conhecimento da produção da argamassa pode funcionar em virtude da troca pelo PET. Para isto, o foco desta pesquisa são as características subjetivas do objeto analisado. Este artigo mostra aos leitores que a aprendizagem sobre a sustentabilidade e reutilização é imprescindível no contexto contemporâneo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 HISTÓRIA DA ARGAMASSA NA CONSTRUÇÃO

Desde a antiguidade, os materiais utilizados pelo homem são projetados para combinar elementos de diversas naturezas para construir edifícios. As primeiras argamassas foram produzidas e utilizadas há mais de 10.000 anos, e como o homem primitivo precisava construir abrigos, ele precisava de um "material" para colar os elementos remanescentes usados para construir esses abrigos (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

No antigo Egito, há relatos do uso de um ligante natural caracterizado por um geopolímero obtido a partir de resíduos de minas de cobre existentes no Monte Sinai, que poderia se ligar com outro ligante composto de gesso calcinado impuro Misturado com agentes, existe uma teoria que os enormes blocos de pedra que construíram as pirâmides eram na verdade blocos de argamassa lançados no local (GIORDANI *et al.*, 2021). Um tipo primitivo de ligante, possivelmente também cal, cujo uso é registrado desde a época da construção da Grande Pirâmide, ou seja, 2980-2925 aC, pois as observações nas Pirâmides de Gizé e Quéfrem indicam a presença de argamassas naturais, uma das quais é a cal (PATRÍCIO *et al.*, 2022).

### 2.2 MATERIAIS QUE COMPOEM A ARGAMASSA

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como uma mistura homogênea de ligante, água e agregados miúdos, e possivelmente ainda aditivos. diversos aglutinantes, agregados finos (areia) e água, que também podem conter aditivos e aditivos minerais.

Em 1756 surgiu uma nova tecnologia para fazer cimento. John Smeaton obteve um produto altamente resistente calcinando calcário de argila mole. Mais tarde, já em 1818, Vicat obteve resultados muito semelhantes a Smeaton usando uma mistura de argila e calcário. Em seguida, o francês Vicat é creditado como o criador do que chamamos de cimento artificial (ABCP, 2002).

Em 1824, o inglês Joseph Aspdin produziu um pó fino quando queimou calcário e argila juntos. Notou-se que tinha uma mistura insolúvel em água e, quando seca,

ficava dura como a pedra usada na construção. No mesmo ano, Joseph patenteou o cimento Portland, designação dada por sua semelhança de cor, durabilidade e firmeza com as rochas da ilha britânica de Portland (ABCP, 2002).

O cimento pode ser descrito como um pó fino com propriedades coesivas, gelificantes ou coesivas que endurece sob a ação da água. Após esse processo, o cimento Portland não se decompõe ainda mais, mesmo que seja novamente exposto à água. Por definição, é "um ligante hidráulico composto por uma mistura uniforme de clínquer Portland, gesso e aditivos padronizados finamente moídos" (SILVA, 2016).

As propriedades da argamassa estão diretamente relacionadas com as propriedades e propriedades do cimento. O cimento Portland determina as propriedades da argamassa no estado endurecido, proporcionando melhor trabalhabilidade, maior resistência mecânica e maior durabilidade (GIORDANI *et al.*, 2021).

Segundo Vaz (2016, p. 102), "A cal é uma designação genérica para um ligante simples, calcinado a partir de calcário, de vários tipos, cujas características dependem da natureza das matérias-primas utilizadas e dos tratamentos efetuados". A cal no estado fresco confere maior plasticidade à argamassa, o que proporciona melhor trabalhabilidade, aumentando assim a eficiência produtiva do revestimento. não permite que a matriz absorva muita água

Devido à sua granulometria fina e leve, a cal tem a capacidade de proporcionar fluidez, coesão e retenção de água, hidratação e melhor trabalhabilidade da argamassa. Isso porque quando suas partículas são misturadas com água, elas agem como um verdadeiro lubrificante, reduzindo o atrito entre as partículas de areia (VAZ, 2016).

O agregado tem uma grande influência nas propriedades da argamassa. Vários fatores afetam as propriedades da argamassa, como dureza, formato das partículas, granulometria, porosidade. Mas, naturalmente, a sua proveniência e o estado de limpeza da areia também são fatores que alteram as propriedades da argamassa. A areia atua como esqueleto da argamassa e adquire coesão através da ligação de suas partículas com o ligante, portanto, a qualidade do agregado é determinante para o comportamento geral da lama (GIORDANI *et al.*, 2021).

Segundo Vaz (2016), a composição granulométrica afeta o desempenho do concreto e da argamassa, pois se a areia não for bem graduada, maior será o índice

de vazios e, portanto, maior será o consumo de pasta de cimento, acarretando recessão econômica e custo.

Uma das condições para a utilização de agregados em argamassa é a remoção de impurezas químicas, matéria vegetal e materiais finos de natureza argilosa. A presença de argila geralmente acompanha a areia no bunker e o mais importante é inconveniente na argamassa, pois dificulta a aderência perfeita dos grãos de areia ao ligante, resultando em uma queda significativa na resistência. Por outro lado, os finos podem não ser de natureza argilosa, conferindo assim melhor coesão e maior trabalhabilidade à argamassa (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2022). Portanto, é necessário compreender as propriedades da matéria etérica.

Recomenda-se a areia fina para reduzir a porosidade e a absorção de água na mistura, e a areia grossa para reduzir a ocorrência de rachaduras. As fissuras são outra patologia que ocorre no gesso e pode afetar sua resistência à água, facilitando assim a entrada de água e microrganismos que podem comprometer a durabilidade do revestimento e da própria parede (VAZ, 2016).

As argamassas podem ser classificadas de acordo com uma série de critérios, incluindo o tipo e a natureza do ligante utilizado, a quantidade de ligante na mistura, a consistência da argamassa, a função do revestimento, método de preparação ou fornecimento, propriedades especiais, número de camadas aplicadas, ambiente de exposição, comportamento de umidade, comportamento de radiação, comportamento térmico e acabamento superficial. Além disso, quanto à sua função, existem subdivisões de argamassa, que podem ser utilizadas para assentamento de alvenaria, reboco, estuque, gesso, contrapiso, rejunte e restauração, considerando sua utilização na obra.

A argamassa de alvenaria é usada para a elevação de paredes, paredes de tijolo ou bloco. A argamassa de assentamento tem a função de combinar os elementos da alvenaria para formar um todo compacto, distribuindo uniformemente as cargas aplicadas, absorvendo da melhor forma possível as deformações sofridas pela alvenaria e impermeabilização ou contribuindo para a impermeabilização da parede. Como o nome sugere, as argamassas revestidas são utilizadas para revestir paredes, paredes, tetos e estruturas de concreto armado que normalmente recebem acabamentos como tintas, revestimentos cerâmicos, laminados, entre outros. Esta

argamassa é constituída por três camadas: em bruto, estuque e estuque (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Chapisco é a camada aplicada na fundação, que fica em contato com a alvenaria. Tem o efeito de uniformizar a absorção da superfície e melhorar a aderência do revestimento. O estuque é a camada intermediária usada para cobrir e normalizar a camada de base, proporcionando uma superfície que permite receber o estuque. O estuque é a última camada que cobre o estuque e proporciona uma superfície que lhe permite receber a demão final (OLIVEIRA *et al.*, 2019; SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2022).

As principais funções das argamassas revestidas são proteger as alvenarias e estruturas das intempéries (revestimento externo), ter uma boa aderência ao substrato, ajudar na impermeabilização e, em menor grau, como isolante termoacústico.

### 2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS QUE A CONSTRUÇÃO CIVIL ACARRETA

A construção civil é uma atividade importante no desenvolvimento nacional, que não só produz benefícios econômicos, mas também sociais. A geração de mão de obra, o comércio de materiais, a venda e locação de imóveis são exemplos do amplo movimento socioeconômico representado pelo setor em parte responsável pela elaboração e reforma de grandes e pequenas construções de estruturas existentes (CALDAS; CARVALHO; TOLEDO FILHO, 2020).

A construção civil tem um alto índice de consumo de recursos naturais, e na construção dos mais diversos projetos de infraestrutura, edifícios e habitações, tem um enorme impacto no meio ambiente sob diferentes perspectivas, como geração de resíduos e intensificação do uso de recursos naturais. Com a urbanização, o crescimento populacional e o aumento do uso de materiais de uso único, as questões ambientais e a sustentabilidade ganham cada vez mais importância em todos os setores da sociedade, seguindo as tendências internacionais de proteção ambiental (SANTOS, 2018).

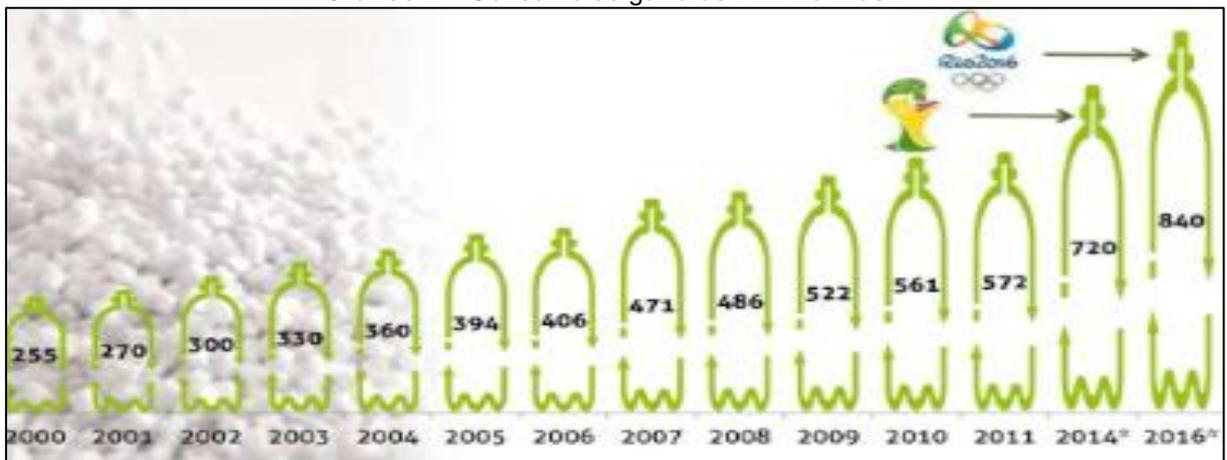
Cerca de 60% dos resíduos sólidos gerados diariamente nas cidades são provenientes da construção civil (CAMILO *et al.*, 2022). Os resíduos da construção civil (RCC) trazem uma série de problemas para a comunidade, como saneamento

básico e poluição ambiental, criando um ambiente propício à disseminação de transportadores, além de afetar a estética paisagística dos grandes centros urbanos, considerando a massa e o volume ocupado. Por outro lado, os resíduos das atividades industriais estão se tornando cada vez mais importantes nos cenários ambientais, pois são gerados por diversas indústrias, como metalurgia, química, petroquímica, papel, alimentos, etc.

A quantidade excessiva de resíduos sólidos gerados diariamente durante o processo de construção não é o único fator de preocupação, mas mais importante ainda, a falta de gestão por parte dos órgãos competentes. A ineficiência das políticas públicas que regulamentam e obrigam a destinação dos resíduos sólidos e/ou a falta de comprometimento dos geradores na gestão e destinação são algumas das principais causas dos impactos ambientais (JORGE *et al.*, 2021).

Nos países em desenvolvimento que continuam a expandir significativamente o ambiente construído, como o Brasil, as atividades da construção civil consomem grandes quantidades de materiais (Gráfico 1). A maioria dos componentes necessários para a construção de casas pode ser produzida sem um alto nível de tecnologia (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2022).

**Gráfico 1 – Consumo de garrafas PET no Brasil**

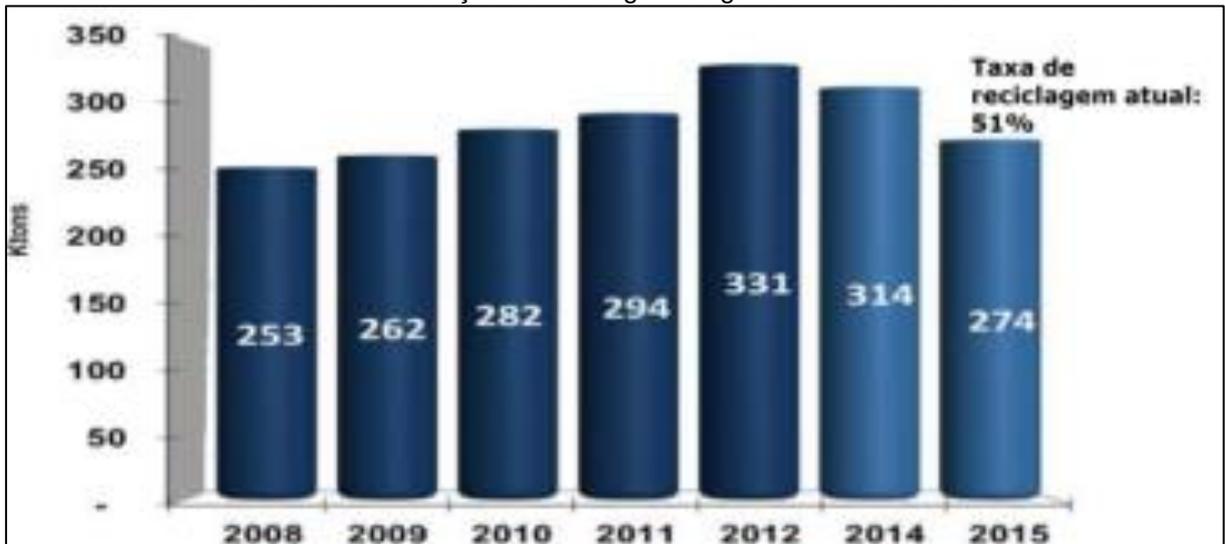


Fonte: Abipet (2016)

Há uma importância na redução do consumo de insumos da construção civil a partir de pesquisas de projetos, otimização de processos e aplicação de materiais, principalmente por meio da reciclagem e reutilização nas obras (CAMILO *et al.*, 2022). A destinação adequada dos resíduos tornou-se muito importante para a proteção do meio ambiente, por isso é necessário estabelecer mecanismos para conscientizar e encontrar soluções para a implementação de tecnologias, minimizando o impacto da

disposição de resíduos no meio ambiente e reduzindo o impacto dessa atividade. Nesse contexto, a reciclagem de resíduos é a base de uma sociedade baseada no desenvolvimento sustentável, capaz de atender às necessidades globais da população atual sem comprometer a viabilidade das gerações futuras (Gráfico 2).

**Gráfico 2 – Evolução da reciclagem de garrafa PET no Brasil**



Fonte: Abipet (2016)

Portanto, a valorização e reaproveitamento de resíduos dos mais diversos setores industriais pode melhorar os parâmetros técnicos dos materiais de construção civil, além de trazer benefícios econômicos e ambientais. No entanto, para isso, é essencial uma análise criteriosa antes de utilizar materiais alternativos. É sempre necessário utilizar três critérios para avaliar a possibilidade de reaproveitamento e consolidação dos resíduos como material alternativo: análise científica, sustentabilidade e foco no ciclo de vida (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A realização de pesquisas voltadas à reciclagem e/ou reaproveitamento de resíduos representa uma alternativa que, além de proteger o meio ambiente, pode promover o uso de matérias-primas alternativas e reduzir o custo final dos setores industriais que geram e consomem resíduos. A pesquisa de novas tecnologias para o reaproveitamento de resíduos industriais pode levar ao desenvolvimento de novos produtos que reduzam o descarte de resíduos e maximizem as cadeias produtivas da indústria (GIORDANI *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2019).

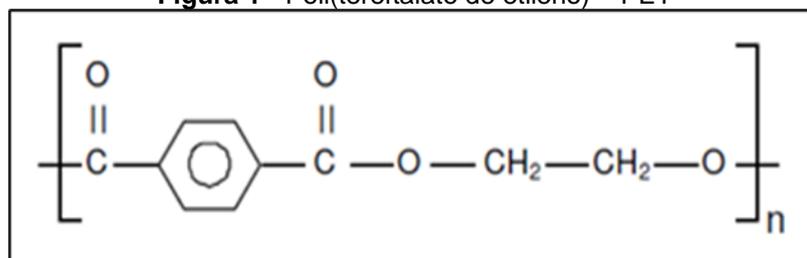
## 2.4 CONCEITUAÇÃO PET - POLITEREFTALATO DE ETILENO

Os plásticos conquistaram espaços importantes na sociedade atual com propriedades como leveza, resistência mecânica razoável e conformabilidade a baixa temperatura, além de preços baixos. No entanto, os resíduos plásticos ocupam há muito tempo um enorme espaço no meio ambiente devido à sua baixa degradabilidade e baixa densidade. Com a crescente utilização desse tipo de material, principalmente no setor de embalagens, onde pode ser descartado muito mais rapidamente em relação a outros produtos, a situação dos locais de descarte de resíduos se deteriorou (PATRÍCIO *et al.*, 2022).

O PET é um dos termoplásticos mais produzidos no mundo. No Brasil, a principal aplicação do PET é na indústria de embalagens (71%) (PINTO, SILVA; PANIZZON, 2021). A participação de mercado nacional da indústria de alimentos e embalagens equivale a 32% do mercado brasileiro de polímeros, envolvendo diretamente o uso de PET em embalagens de bebidas carbonatadas.

O PET - Poli(tereftalato de etileno) - mostrado na Figura 1, é um polímero desenvolvido em 1941 pelos químicos britânicos Winfield e Dickson (PATRÍCIO *et al.*, 2022). Esse polímero, obtido com alto peso molecular, era considerado na época com potencial para aplicações como fibras, e foi somente na década de 60, com filmes de PET biaxialmente orientados, que se tornou amplamente aceito para embalagens de alimentos. Em 1973, o processo de sopro de injeção bio-orientado desenvolvido pela DuPont introduziu o PET como garrafa para a aplicação, revolucionando o mercado de embalagens, especialmente para bebidas carbonatadas. Ele só chegou ao Brasil em 1989.

**Figura 1** - Poli(tereftalato de etileno) – PET



Fonte: Mendes (1999, p. 102).

No final da década de 1990, a distribuição global das aplicações de PET era a seguinte: 67% na produção de fibras têxteis, 24% na produção de embalagens

moldadas por injeção-sopro, 5% na produção de filmes biaxialmente orientados e 4% em polímeros de engenharia, atualmente o maior do mundo, um dos termoplásticos de maior rendimento (SILVA *et al.*, 2018). Em todo o país, 71% das aplicações foram para a indústria de embalagens, sendo a maioria destinada à produção de embalagens para bebidas carbonatadas. No entanto, vale ressaltar que o uso do PET no mercado de óleos comestíveis e água mineral está se desenvolvendo em alta taxa de crescimento (SILVA *et al.*, 2018).

Algumas das vantagens do PET sobre outros termoplásticos que justificam seu uso generalizado e crescente incluem: excelente estabilidade térmica, facilidade de processamento, alta resistência química, alta estabilidade hidrolítica (devido à presença de anéis aromáticos), propriedades mecânicas atrativas em alta temperatura, propriedades de barreira ao gás, leveza, aparência nobre (brilho e transparência) e baixo custo de produção (PINTO, SILVA; PANIZZON, 2021).

Quando depositado em aterros, o PET pode levar cerca de 400 anos para se degradar, reduzindo sua capacidade física e causando uma diminuição na permeabilidade de gases e líquidos durante esse tempo, aumentando o tempo que os orgânicos levam para estabilizar as coisas. O PET é altamente resistente aos agentes biológicos e atmosféricos, e seus produtos de degradação são inofensivos ao homem (SILVA *et al.*, 2018).

As garrafas PET são completamente inertes. Portanto, não causam qualquer contaminação do solo ou do lençol freático mesmo se descartados de forma inadequada. No entanto, o PET leva anos para se decompor na natureza, causando entupimento de esgotos e cisternas, promovendo a reprodução de insetos e camundongos e causando doenças (ALMEIDA, 2016). Portanto, devido a essas consequências e ao crescente uso do PET em embalagens plásticas, a necessidade de sua reciclagem tornou-se imperativa, e a pesquisa sobre as propriedades dos materiais reciclados tem sido muito discutida, pois sua produção cresce a 10% ao ano. crescimento (SILVA *et al.*, 2018).

A reutilização desse material está crescendo no Brasil e no mundo, com benefícios como redução da coleta de resíduos, economia de energia elétrica e combustível, geração de empregos (apanhadores, sucateiros, trabalhadores), produtos com preços mais baixos etc. (ALMEIDA, 2016).

## 2.5 ATUAÇÕES DO PLÁSTICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Diferentes tipos de resíduos de garrafas PET vêm sendo estudados pela indústria da construção civil com o objetivo de descobrir sua nova empregabilidade como materiais de construção. Tal pesquisa levou a algum suporte para essas aplicações. Os painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e montadas, reforçadas em seu perímetro com treliça de aço plano e argamassadas nas laterais e laterais. Os painéis são formados por colunas verticais com garrafas plásticas cortadas e instaladas, reforçadas em seu perímetro com treliça de aço plano e argamassadas nas laterais e laterais. O sistema provou ser benéfico em termos de desempenho térmico e proporciona maior rigidez através da redução do peso e do aumento da espessura da parede (PATRÍCIO *et al.*, 2022)

Existem alguns estudos que abordam o uso de resíduos plásticos como agregados em materiais cimentícios. Esses estudos visam reduzir o impacto ambiental e o custo de produção de novas matérias-primas alternativas no setor industrial. Nesta seção, alguns desses estudos são apresentados. Ao se realizar a substituição do agregado por flocos a 10%, 30% e 50%. A melhor viabilidade de uso resulta em uma substituição de 30%, pois não há perda significativa de plasticidade e resistência à compressão e tração, o contrário acontece com substituições maiores (PATRÍCIO *et al.*, 2022).

As propriedades de argamassas utilizando pellets reciclados de polietileno de alta densidade (PEAD) pós-consumo como substituto de agregados naturais. Observou-se também que o agregado de PEAD obtido da reciclagem mecânica de plásticos e pulverizado por micronização apresentou propriedades semelhantes à areia em termos de homogeneidade e finura. Constatou-se que a utilização de 50% em volume de PEAD em agregados de propriedades experimentais resultou em redução da usinabilidade, exsudação excessiva, segregação de partículas e redução do índice de consistência estão sendo validados (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

O uso de areia PET na fabricação de concreto e concluiu que o teor de areia PET tem efeito direto na trabalhabilidade do concreto. Acima de 25% de areia PET, o concreto apresentou uma diminuição significativa na resistência à compressão em 28 dias. Da mesma forma, a densidade do concreto diminuiu com o aumento do teor de

areia PET O autor disse que a areia PET é utilizada e o teor é inferior a 50% (PATRÍCIO *et al.*, 2022).

Junior (2013) avaliou fios de poliéster reciclado de plásticos PET como fibras em argamassa, onde verificou a resistência à compressão, resistência à tração e impacto de argamassas reforçadas com fios de poliéster 100% reciclado de garrafas pet Desempenho de resistência. Essas propriedades foram verificadas em três amostras, que eram argamassas de referência sem fibras, uma com 0,25% de fio de poliéster e outra com 0,25% de fibra de vidro. Concluiu-se que a argamassa de fibra de poliéster apresentou o melhor desempenho em termos de compressão, adesão e impacto, embora tenha sido consumida mais água para atingir a mesma consistência das demais propriedades testadas (SCHILLER; PALIGA; TORRES, 2022).

Corrêa (2015) comparou os efeitos de adições de PET e polipropileno (PP) pós-consumo na produção de concreto estrutural e constatou que adições de mais de 10% de flocos de polímero reduziram a resistência à compressão em 20% em relação a uma argamassa de referência (sem adição). As amostras com PP apresentaram maior módulo de elasticidade em relação ao PET. Em comparação com as amostras de PET e referência, as amostras de PP apresentaram maior estabilidade em termos de propriedades mecânicas e propriedades de barreira à permeação de íons cloreto após 90 dias em câmara úmida. Quanto à análise morfológica, a adesão do PET ao corpo cimentício é melhor que a do PP.

### **3 METODOLOGIA**

Para a análise do comportamento da argamassa quando submetido a esforço axial de compressão, quando produzido com substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de PET – a abordagem deste trabalho é fenomenológica, uma vez que isto consiste em uma observação ao longo do tempo e não em uma análise causa-efeitos. A análise foi dividida em três etapas, que são: preparação, análise de resultados e interpretação - os dados de controle e de experimento foram amostrados e analisados (substituição de 0%, 5% e 10% de areia natural). (DAVID e MARCO, 2021).

Após, houve a interpretação dos dados foi feita com base nas análises realizadas. Diante da natureza e objetivos do estudo, os procedimentos empregados

foi o comparativo, uma vez que este tipo de análise se faz necessário para determinar as diferenças entre os resultados alcançados (MENDONÇA, 2021).

Para ficar mais próximo do objetivo deste estudo, a pesquisa foi classificada quando à sua natureza como aplicada com abordagem qualitativa e quantitativa, com objetivo exploratório e descritivo, tendo como procedimentos técnicos empregados a modalidade bibliográfica (para o levantamento do referencial teórico de embasamento) e experimental (para a medição das substituições de areia por PET) (DAVID e MARCO, 2021).

Por fim, a técnica de pesquisa empregada, que contribuiu para o objetivo geral, foi a coleta de dados, processo de aquisição e obtenção de informações desejadas; ou seja, foi a etapa importante de para a pesquisa, foi através dela que se obteve as informações necessárias para a elaboração do trabalho (MENDONÇA, 2021).

### 3.1 MATERIAIS

O cimento utilizado foi o cimento Portland (CP V-ARI-RS). Muito utilizado em obras, vendido em sacos de 40kg. Sua massa específica foi de  $3,09 \text{ g/cm}^3$  a água potável virá da rede de distribuição de água da cidade de Mossoró RN, a areia utilizada virá do campus Mossoró da Universidade Potiguar, apresentou massa específica de  $2,78 \text{ g/cm}^3$  e sua granulometria variou de 0,150 mm a 1,8 mm. Foi utilizada Cal para dar plasticidade na argamassa. Sua massa específica foi de  $3,34 \text{ g/cm}^3$ .

**Foto 1 - Areia de Pet**



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2022).

Foram adicionados resíduos de garrafa PET na argamassa para preenchimento de massa. A garrafa foi triturada para ter a mesma granulometria da areia. Todos os equipamentos utilizados são provenientes do Laboratório de Construção Civil da UnP Campus Mossoró - balança, agitador mecânico, estufa, prensa hidráulica e argamassadeira. A Foto 1 a mostra o PET utilizado no presente trabalho.

O processo foi o seguinte: primeiro, pesou-se a garrafa PET para saber a quantidade necessária. Em seguida, triturou-se a garrafa para que ela tivesse a mesma granulometria da areia. Depois, misturou-se a garrafa triturada com a argamassa na argamassadeira, até que ficasse homogênea. Por fim, utilizou-se a prensa hidráulica para compactar a mistura. Assim, obteve-se a argamassa com resíduos de garrafa PET.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA

Para a utilização dos materiais, eles foram secos em estufa (Laboratório de Construção Civil UnP) para evaporar a água e aproximar a umidade do material a 0%. Serão realizados 3 traços, um sem adição de PET e 2 com adições de 5% e 10% de PET para que os resultados possam ser avaliados de forma comparativa entre eles. O traço utilizado na pesquisa foi o de 1:1:4, para a determinação do fator água/cimento (fa/c) utilizou-se o método de Selmo e uma simplificação do Ensaio de Consistência.

Método de Selmo propõe a dosagem racional de adições argilosas em argamassa de revestimento e assentamento a partir de curvas de trabalhabilidade que correspondem à relação entre agregados/cimento em misturas experimentais: ao variar a relação areia/cimento obtém-se empiricamente, a quantidade mínima de adição capaz de plastificar a argamassa. Simplificação do Ensaio de Consistência: o ensaio de Consistência é regido pela NBR 13279 (Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência) ABNT (2005). Utilizando-se os dois métodos obteve-se o fator água/cimento (fa/c) igual a 1,18, o qual atende as condições de boa moldagem da argamassa.

Obteve-se o traço de 1:1:4:1.18 que correspondem respectivamente as proporções de cimento, cal, areia e água. Com o traço finalizado, iniciou-se o procedimento confecção dos corpos de prova com dimensões 5cmx10cm (diâmetro x altura). A Foto 2 mostra os corpos de prova moldados.

**Foto 2** – Corpo de Prova Moldados



**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2022).

A ordem de adição dos materiais na argamassadeira segue o procedimento padrão, adicionando a água e o aglutinante na argamassadeira e batendo na velocidade 1 por 30 segundos. Em seguida, adicione a areia e o resíduo de PET e bata novamente por 30 segundos na argamassadeira. Velocidade 1 e 1 minuto na velocidade 3. Retire o copo da argamassadeira e bata com uma colher por cerca de 1 minuto, depois novamente na argamassadeira na velocidade 3 por mais um minuto.

Produziu-se amostras cilíndricas com tamanho de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura conforme ABNT NBR 5738:2003, referente aos procedimento para moldagem de corpos de prova. Aplicaremos um agente desmoldante na peça de teste para que ela possa ser removida depois de fixada. Após coloca a argamassa nos corpos de prova, esperávamos 24 horas para a desmoldagem e depois colocamos os corpos de prova no tanque de cura durante todo o período anterior à ruptura (14 dias).

### 3.2.2 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para verificar a trabalhabilidade da argamassa em seu estado fresco, realizou-se o ensaio de consistência da argamassa, também conhecido *como slump test*. O ensaio consistiu no preenchimento de cones metálicos truncados com argamassa produzida sobre uma mesa metálica lisa. Foram preenchidos o cone em três camadas seguidas, com 15, 10 e 5 acertos com soquetes entre cada camada.

Em seguida, se retirou o cone truncado e a mistura de argamassa se espalha sobre a mesa metálica para apresentar um círculo, após 30 golpes à mão através de um mecanismo embutido na mesa adequado para teste. Foram feitas três medidas do diâmetro da circunferência e a média entre elas. Se este for menor que 260 mm se recomenda o acréscimo de água, se for maior indica-se realizar o ensaio novamente. Este processo é repetido até que o índice esteja entre 260 e 300 mm, estando dentro deste limite o índice é aceitável.

Todo o teste foi realizado de acordo com as diretrizes da NBR 15823-2 (ABNT, 2017). No estado endurecido, os corpos de prova de argamassa preparados foram ser analisados por ensaio de compressão axial NBR 5739 – 2018 (ABNT, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados para o teste chamado *Slump-Flow test*, o qual foi usado para avaliar a trabalhabilidade de uma argamassa com substituição de areia por PET mostram resultados interessantes (Tabela 1). A coluna à esquerda mostra a porcentagem de substituição de areia por PET, enquanto as outras duas colunas mostram os valores medidos para o diâmetro (D) da argamassa. A última linha da tabela mostra a média dos valores medidos para cada nível de substituição.

**Tabela 1** – Trabalhabilidade da argamassa

%	Ref. (0%)	5%	10%
<b>D (cm)</b>	26	26	23
	27	26	24
	27	26	24
<b>Média</b>	<b>26,67</b>	<b>26</b>	<b>23,67</b>

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2022).

De acordo com os resultados da tabela, mostra que a argamassa é menos trabalhável quando a areia é completamente substituída por PET. No entanto, a diferença entre os valores medidos para a argamassa com 5% e 10% de substituição de areia é pequena, sugerindo que a substituição de até 10% da areia por PET não causará muitos problemas de trabalhabilidade.

Então, com esses resultados, verificou-se que o traço de referência e o de 5% de PET atende o índice aceitável da norma NBR 15823-2 (ABNT, 2017). Entretanto o traço com 10% de PET precisaria de um acréscimo de água para atender o índice aceitável. Essa perda de trabalhabilidade no traço com 10% de PET se deu devido o agregado plástico ter menor densidade em relação a areia natural.

Outro ponto é que o teor de ar aumenta com o acréscimo de areia de PET, Isso ocorre devido à presença dos surfactantes que facilitam a formação de bolhas pequenas e mais estáveis sendo de difícil remoção, conforme elucida Mansur (2007). Essas diferenças foram notadas não apenas após o ensaio como também à medida que os materiais foram adicionados à argamassadeira.

Quanto maior a quantidade de substituição de areia por resíduos de PET, menor a trabalhabilidade da argamassa. Isso significa que a argamassa se torna menos moldável e mais difícil de ser manipulada quanto maior a substituição. Em outras palavras, a argamassa se torna mais rígida e difícil de ser espalhada quando há maior substituição de areia por resíduos de PET.

Uma possível explicação para essa perda de trabalhabilidade é que a argamassa com maior substituição de areia por resíduos de PET tem menor densidade do que a argamassa sem substituição ou com substituição mínima. Isso significa que a argamassa com maior substituição é menos consistente e mais propensa a fissuras. As Fotos 3, 4, e 5 mostram os ensaio de *Slump-Flow Test* e o resultado obtido após o ensaio.

Foto 3 - Slump Flow Test traço de Referência



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

Foto 4 - Slump Flow Test traço de 5%



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

Foto 5 - Slump Flow Test traço de 10%



Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

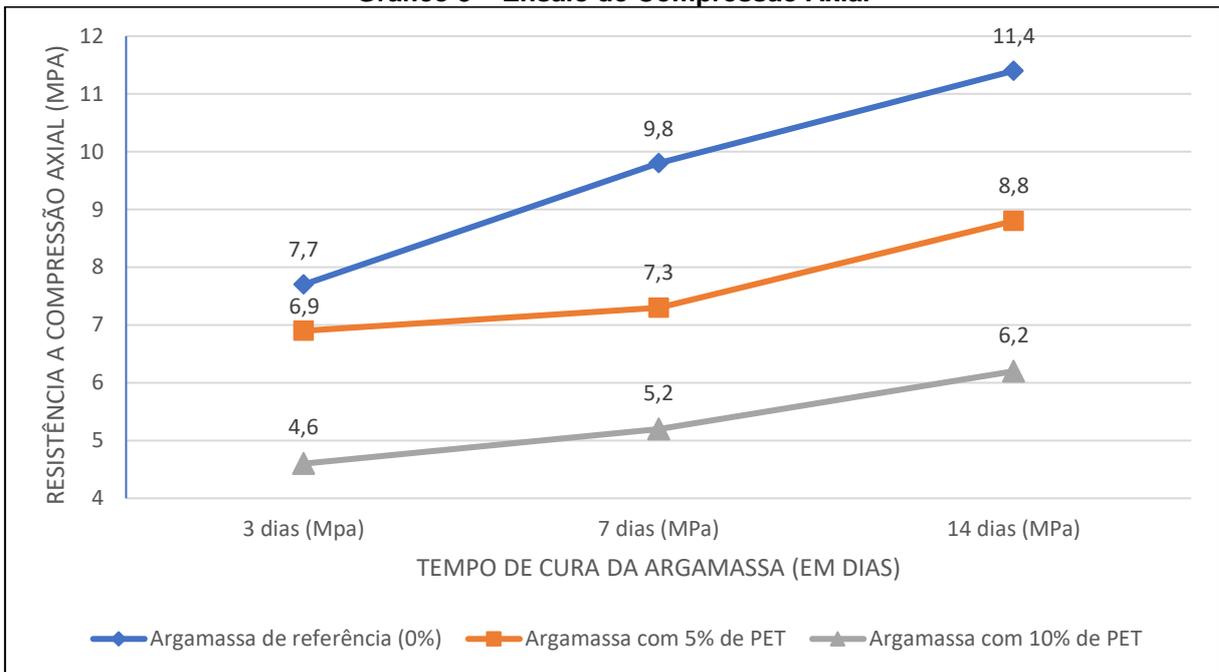
A Tabela 2 mostra quais foram os resultados obtidos dos ensaios de resistência realizados, esse ensaio foi resistência a compressão axial. Em todos os ensaios foram ensaiados 3 corpos de prova para cada traço, sendo possível fazer uma média entre eles.

**Tabela 2 – Ensaio de compressão – média das resistências obtidas**

%	Ref. (0%)	5%	10%
<b>3 dias (MPa)</b>	7,7	6,9	4,6
<b>7 dias (MPa)</b>	9,8	7,3	5,2
<b>14 dias (MPa)</b>	11.4	8,8	6,2

Fonte: Elaborado pelos Autores (2022).

Como pode ser visto na Tabela 2, a resistência a compressão aumenta com o tempo de cura, isso se deve ao fato de que as ligações químicas são mais estabelecidas com o tempo, tornando a argamassa mais resistente. Além disso, é possível notar que a adição de fibras aumenta a resistência a compressão, isso se deve ao fato de que as fibras aumentam a ligação entre as partículas da argamassa, tornando-a mais resistente. De modo a demonstrar mais facilmente esta relação, foi elaborado o Gráfico 3 relacionando às resistências obtidas

**Gráfico 3 – Ensaio de Compressão Axial**

**Fonte:** Elaborado pelos Autores (2022).

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 1, observa-se que a substituição do agregado miúdo por PET promoveu uma redução na resistência a compressão axial, este fato deve-se ao agregado miúdo ser um dos principais componentes responsáveis pela evolução da resistência a compressão de argamassas. Conforme resultados obtidos, verifica-se que aos 14 dias houve uma redução de resistências à compressão em relação à argamassa de referência de 22,80% e 45,62% respectivamente para os teores de substituição de 5% e 10%.

Assim evidencia-se que quanto mais o teor de substituição do agregado miúdo por PET menor serão os valores obtidos para resistência da argamassa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho procurou avaliar as características da argamassa com substituição de areia de PET por agregado miúdo, por meio de ensaios no estado fresco e endurecido. No estado fresco das argamassas com substituições podemos concluir que a densidade da argamassa diminui com o aumento das substituições dos agregados plásticos por naturais. Esse fato pode ser explicado pela menor densidade dos agregados plásticos em relação a areia natural. O teor de ar aumenta com o

acréscimo de areia de PET, Isso ocorre devido à presença dos surfactantes que facilitam a formação de bolhas pequenas e mais estáveis sendo de difícil remoção.

O índice de consistência diminuiu com a inserção de agregados plásticos, o que acarreta um acréscimo de água para que a argamassa com 10% de PET apresentasse um índice admissível. No estado endurecido das argamassas podemos concluir que ao comparar os resultados obtidos nota-se que conforme foi realizado o aumento da quantidade de resíduos de PET em relação a massa de cimento na argamassa ocorreu diminuição na resistência a compressão axial obtida, essa diminuição foi de 22,80% e 45,62% respectivamente para os teores de substituição de 5% e 10%.

De acordo com a NBR 13281/2005 a partir dos resultados de resistência à compressão obtidos aos 14 dias, a argamassa produzida com substituição parcial do agregado miúdo por PET na proporção de 5% atende os requisitos da norma. Aos 28 dias a argamassa com substituição parcial do agregado miúdo por PET na proporção de 10% poderia atingir a resistência desejada. Com base nesse trabalho conclui-se que é viável a substituição de 5% areia de PET por areia natural.

Utilizou-se este tipo de cimento por conta de este atingir a resistência desejada com pouco tempo de cura. Além disto, não houve ensaios com compressão axial de 28 dias pela insuficiência de tempo disponível para o desenvolvimento do estudo em questão; este fator, inclusive pode ser uma boa forma de desenvolvimento das futuras pesquisas nesta área.

## REFERÊNCIAS

ABIPET. **Censo de Consumo e Reciclagem de PET**: Associação Brasileira da Indústria do PET. 2016. Disponível em: . Acesso em: 16 abr. 22

ABNT **NBR 5738** – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016. 13p.

ABNT **NBR 9778-2**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009. 4 p.

ABNT. **NBR 15823 - 2**. Concreto autoadensável - Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.

ABNT. **NBR 5738**. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ABNT. **NBR 5739**. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

ABNT. **NBR 7222**. Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

ALANI, A. H.; BUNNORI, M.; NOAMAN, A. T.; MAJID, T. A. **Durability performance of a novel ultra-high performance PET green concrete (UHPPGC)**. *Construction and Building Materials*, v. 209, p. 395-405, june/2019.

ALMEIDA, M., Junior, M., Soncim, S., Junior, G. (2016). Uso de areia de PET na fabricação de concretos. *In Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia e Resíduos e Desenvolvimento Sustentável* (p. 39). Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Gilson\\_Athayde\\_Junior/publication/281123674\\_uso\\_de\\_areia\\_de\\_pet\\_na\\_fabricacao\\_de\\_concretos/links/55d7c9c308aeb38e8a85bd72.pdf/download?version=va](https://www.researchgate.net/profile/Gilson_Athayde_Junior/publication/281123674_uso_de_areia_de_pet_na_fabricacao_de_concretos/links/55d7c9c308aeb38e8a85bd72.pdf/download?version=va). Acesso 16 abr. 22

CALDAS, L. R.; CARVALHO, M. T. M.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação de estratégias para a mitigação dos impactos ambientais de revestimentos argamassados no Brasil. **Ambiente construído**, v. 20, n. 3, p. 343–362, jul. 2020. .

CAMILO, B. Q. *et al.* Resíduos sólidos na construção civil: análise da gestão frente aos impactos causados ao meio ambiente. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e32711220994, 26 jan. 2022. .

DAVID, W; MARCO, G. Vantagens da utilização de concreto borracha na construção civil. **Rev Científica Multidisciplinar**, v. 2, n. 6, p. e26401-e26401, 2021.

GE, Z.; YUE, H.; SUN, R. Properties of mortar produced with recycled clay brick aggregate and PET. **Construction and Building Materials**, v. 93, p. 851-856, September/2015.

GIORDANI, D. L. *et al.* Desenvolvimento de uma formulação de argamassa refratária com utilização de resíduos industriais para aplicação na construção civil. **Tecnologia em metalurgia, materiais e mineração**, v. 18, p. e2236, 2021. .

JORGE, P. P. *et al.* Construção civil, resíduos sólidos e crise urbana: estudo sobre a implantação da centralidade de Kilamba. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e360101219624, 24 set. 2021. .

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos Físico-Químicos de Aderência na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte. Disponível:[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO7RCP68/alexandra\\_ancelmo\\_mansur.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/MAPO7RCP68/alexandra_ancelmo_mansur.pdf?sequence=1). Acesso 12 de nov 2022.

MENDES, A. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. Tese de Doutorado. Master Dissertation in Civil Engineering, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.

MENDONÇA, A. M. D. Argamassas manufaturadas com substituição parcial do cimento por PET triturado. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 44099-44109, 2021.

OLIVEIRA, E. M. de *et al.* Análise da resistência à compressão e tração de argamassa com adição de resíduo de cerâmica vermelha. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 24, n. 2, 2019.

PATRÍCIO, S. da R. *et al.* Comportamento mecânico de argamassas produzidas com PET triturado em substituição parcial ao agregado convencional. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e13211426422, 13 mar. 2022. .

PINTO, M. F.; SILVA, C. V.; PANIZZON, A. Análise do concreto de alta resistência (CAR) com adição de fibras de politereftalato de etileno (PET) submetido a altas temperaturas / Analysis of high strength concrete (CAR) with added polyethylene terephthalate (PET) fibers submitted to high temperatures. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 115460–115475, 29 dez. 2021.

SANTOS, B. **Avaliação das propriedades físicas, mecânicas e microestruturais do concreto incorporado com borracha de pneus**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil. Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

SCHILLER, A. P. S.; PALIGA, C. M.; TORRES, A. da S. Revisão literária – Argamassas com incorporação dos resíduos de construção civil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, p. e11011628866, 22 abr. 2022. .

SILVA, J. de A. A. e. *et al.* Avaliação reológica de ligante modificado com Politereftalato de etileno (PET). **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 1, 5 mar. 2018.

SILVA, V. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. **Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. 24, n. 2, p. 333-344, 2016.

VAZ, C. **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.