

UTILIZAÇÃO DE POLITEREFTALATO DE ETILENO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO

ADRIEL ARAUJO BRETAS TOSIN¹
MURILO CAMPOS PEREIRA²

RESUMO: O Polietileno Tereftalato (PET) é um tipo de polímero usado principalmente na fabricação de fibras de poliéster e garrafas para bebidas. O amplo uso desse material na indústria de embalagens de alimentos e a degradação a longo prazo desse tipo de resíduo na natureza incentivam muitos pesquisadores ao redor do mundo a encontrar novas maneiras de reciclá-los e reutilizá-los. Assim, buscando uma alternativa aos problemas mencionados, este estudo objetiva explorar as propriedades do concreto produzido com a substituição de 10% e 15% do agregado miúdo por fibras de PET. Foram avaliadas as propriedades físicas do concreto fresco pelo teste de queda de tronco de cone, a absorção de água e as propriedades mecânicas de resistência aos tempos 7 e 28 dias de cura. Após a obtenção dos resultados de compressão axial, abatimento e absorção de água, verifica-se a possibilidade de reutilizar as fibras de PET no concreto uma vez que não houve diferenças significativas nos tratamentos testados.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto; Pet; Resíduo.

USE OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE TO REPLACE FINE AGGREGATE IN CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT: Polyethylene Terephthalate (PET) is a type of polymer mainly used in the manufacture of polyester fibers and beverage bottles. The widespread use of this polymer in the food packaging industry and the long-term degradation of this type of waste in nature encourage many researchers around the world to find new ways to recycle and reuse it. Thus, looking for an alternative to the mentioned problems, this study aims to explore the properties of the concrete produced by replacing 10% and 15% of the fine aggregate with PET fibers. The physical properties of fresh concrete were evaluated by the cone drop test, water absorption and the mechanical properties of resistance to the 7 and 28 days of curing. After obtaining the results of axial compression, slump and water absorption, the possibility of reusing PET fibers in concrete is verified, since there were no significant differences in the treatments tested.

KEYWORDS: Concrete; Pet; Residue.

1. INTRODUÇÃO

É reconhecido que a engenharia civil se utiliza de uma grande quantidade dos recursos naturais extraídos da terra para produzir e manter os ambientes construídos (JOHN e DAMINELI, 2014). Estimativas demonstram que a demanda por materiais de construção é de 4 a 7 toneladas de material por habitante por ano (JOHN, 2011).

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: adriel.tosin83@gmail.com;

² Professor Mestre em Agronomia, Curso de Engenharia Civil, UNIFASPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: murilo_camposcol@hotmail.com.

O departamento de componentes e materiais de construção incluem, desde atividades de extração (areia, cascalho, madeira natural) até peças na indústria química. Devido à sua maleabilidade e resistência à compressão, o concreto é declarado o material mais utilizado nas construções, sendo composto basicamente de água, agregados miúdos, agregados graúdos, aglomerantes e podendo eventualmente conter aditivos (BRASILEIRO & MATOS, 2015).

A areia é conhecida por ser a base da construção civil. É considerado um dos recursos mais importantes e mais extraídos no mundo, contudo, para atender ao rápido crescimento urbano, a extração da areia está ocorrendo a uma taxa maior do que sua capacidade de regeneração, ocasionando em um impacto negativo no meio ambiente. O consumo em massa levanta questões sobre a qualidade dos recursos naturais e a necessidade de protegê-los. Nesse quesito, encontrar outras matérias-primas para substituição total ou parcial de tais recursos finitos é uma exigência para o alcance da sustentabilidade (PNUMA, 2019).

O Brasil é o quarto maior produtor de resíduos plásticos do mundo, com um total de 11,3 milhões de toneladas, atrás somente de países como China, Estados Unidos e Índia, mas deste total apenas 145 mil toneladas (1,28%) são recicladas (Fundo Mundial para a Natureza- WWF, 2019).

Nesse contexto, o tereftalato de polietileno (PET) é um polímero termoplástico durável usado na fabricação de garrafas, frascos e embalagens e é responsável pela maioria do total de resíduos plásticos gerados no país (FARHAN, 2016).

Uma alternativa para os impactos ambientais causados pela demanda de agregados naturais seria a substituição total ou parcial destes por outros materiais, sendo uma alternativa, o uso de resíduos. O polímero de PET pode ser um substituto do agregado miúdo no traço de concreto, considerando-se a grande quantidade disponível desse material, passível de reciclagem (GUERRA, ROCHA e OKABAYASHI, 2017).

A utilização de agregado de PET em substituição à areia, pode ser uma alternativa capaz de melhorar ou manter as propriedades físicas do concreto, promovendo benefícios ambientais tanto pela redução do consumo de recursos naturais presentes em jazidas não renováveis quanto pela destinação dos resíduos de PET, descartada na maioria das vezes de forma errada (CANELLAS, 2005).

Por isso, este trabalho teve como objetivo comparar o comportamento do concreto quanto a resistência e absorção de água quando avaliados corpos de prova de concreto produzidos com diferentes níveis de substituição da areia pelo PET. A análise obteve-se de diferentes tempos de cura, verificando se a utilização das garrafas plásticas são recursos alternativos capazes de reduzir o consumo de areia na construção civil e viabilizando uma destinação ambientalmente adequada para esses resíduos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Concreto

O concreto é o material mais importante e o mais usado na engenharia civil no mundo, devido à sua trabalhabilidade e sua resistência a cargas compressivas axiais (PEDROSO, 2009). No entanto, o concreto visto hoje é considerado relativamente novo, uma vez que no final do século XIX, os materiais mais utilizados para construção eram alvenaria de madeira e pedra ou tijolo.

Pfeifer et al. (2001), descreve a descoberta de tijolos de barro que foram moldados manualmente na região do rio Nilo por volta de 14.000 a.C., e tijolos queimados datados em 5000 a.C.

Pesquisas estão sendo realizadas para encontrar maneiras de melhorar o desempenho

e torná-lo mais econômico com o uso ilimitado do concreto. Pode-se dizer que um dos marco cidade de São Paulo. No ano de 1996, o Instituto Brasileiro do Concreto, criou o Comitê do estudo das propriedades do material ocorreu entre 1890 e 1900, quando foi descoberto que a adição de pedra de gesso ao ato de moer o clínquer funciona como retardador de pega do concreto (CIMENTO.ORG, 2008).

O concreto consiste principalmente de cimento, agregado fino, agregado grosso e água, além de poder incluir aditivos em sua composição. Os parâmetros e condições para o uso de estruturas de concreto são definidos pela ABNT-NBR 6118:2014.

Existem diferentes tipos de concreto no mercado, cada um com uma finalidade diferente. Pode-se citar nesse contexto o concreto convencional, o concreto usinado, o concreto armado, o concreto leve, o auto adensável, o de alta resistência e o concreto de alto desempenho. Observa-se que o concreto é um material amplamente utilizado na engenharia civil, pois possui propriedades que o tornam mais viável que outros materiais, como o aço (PEREIRA, 2016).

Concreto tradicional é o tipo de concreto mais utilizado na construção, atingindo uma força de 10 a 40 Megapascal (MPa). Por outro lado, o concreto usinado é fabricado controlando estritamente sua qualidade, usando a quantidade de materiais constituintes da mistura (cimento, cascalho, areia, água, aditivos) definida de acordo com as necessidades do cliente (SALLES et al., 2010).

No concreto armado existe a inserção de vergalhões que se deve à falta de resistência à tração do concreto, pois a resistência máxima está relacionada à força de compressão (BASTOS, 2006).

O concreto leve feito de agregado leve é fabricado para ter uma massa específica cerca de 2/3 mais leve que a densidade do concreto usando agregado natural (NEVILLE, 1997).

O concreto de alta resistência possui excelente resistência à compressão comparado ao concreto convencional, atingindo valores em torno de 149 Mpa em 28 dias. Por sua vez, o concreto auto adensável, possui um abatimento de mais de 200 mm, podendo ser lançado e adensado sem vibração e é usado em concretagens subaquáticas e instalações pré-fabricadas (BIANCHINI, 2010).

Tem-se por fim, o concreto de alto desempenho que é mais durável do que o concreto normal sendo projetado para ser mais resistente quando necessário. Por fim, o concreto rolado é usado principalmente como pavimento para cidades, pisos de estacionamento e como base para grandes barragens. Sua aplicação é gerada pela compressão com rolo devido ao baixo consumo de cimento e baixa trabalhabilidade (ISAIA; HELENE; TUTIKIAN, 2011).

2.2 Sustentabilidade na Construção Civil

A palavra sustentabilidade é o termo mais discutidos nos últimos anos e, não por acaso, o conceito foi implementado no conhecimento econômico e nas mais diversas áreas do setor. A engenharia civil não é uma exceção ao uso de novos materiais que têm um impacto mínimo no meio ambiente e contribuem para o conforto térmico e o consumo de energia, os quais existem inúmeros exemplos de novos materiais e tecnologias para esse fim (ECYCLE, 2019).

No Brasil, os estudos relacionados à reciclagem dos materiais utilizados na construção civil, começaram com PINTO (1986) e CINCOTTO (1983). Recentemente as pesquisas relacionadas a reciclagem vêm aumentando, alguns exemplos são os artigos elaborados por LEVY (1997) e MIRANDA (2000) relacionados a reciclagem do concreto e da argamassa. A reciclagem é um processo técnico e economicamente viável sendo conhecido por ter um impacto ambiental representativo.

PINTO (1999) desenvolveu um artigo relacionado aos resíduos de construção e demolição que são conhecidos como Resíduo de Construção e Demolição (RCD), ocasionando grandes contribuições para a sustentabilidade, qualificando os aspectos sociais, econômicos e políticos.

Quando o assunto é desenvolvimento sustentável, a redução da geração de resíduos é o tema mais importante (BERNOLD, 1994). A redução do desperdício pode ser observada nos planos de aumento de produtividade e qualidade na construção civil, contribuindo para uma menor geração de resíduos, do consumo e desperdício (GUNTHER, 2000).

Segundo JOHN (2011), para produzir o cimento é necessário decompor o calcário em fornos com grandes temperaturas. Para cada uma tonelada de calcário são liberados 440 kg de CO₂, gerando somente 560 kg de material. Uma opção para reduzir as emissões de CO₂ para o meio ambiente é a substituição parcial do clínquer, uma vez que a produção de clínquer está associada às emissões de dióxido de carbono do calcário e da combustão.

O teor de clínquer do cimento CP-II é de 47 a 85%, mas, no caso do cimento CP-III, ele é substituído por escória de alto-forno, que pode conter até 70% de cimento; portanto, o teor de clínquer é apenas 25%. O teor de CO₂ diminui com o teor de clínquer, porque o consumo de energia para a moagem de cimento é baixo. Portanto, o uso de cimento com baixo teor de clínquer, como CP-III e CP-IV, melhora a sustentabilidade (AGOPYAN e JOHN, 2011).

2.3 Concreto com Adições de Resíduos Reciclados

Devido à grande quantidade de resíduos gerados nos processos de fabricação, construção e demolição na construção de engenharia civil, algumas pesquisas foram feitas para reutilizar esses materiais. Uma maneira de reciclar esse resíduo é o concreto sustentável, que substitui o agregado grosso pelo resíduo de construção e demolição (RCD).

É incorreto pensar que a reutilização de materiais de construção e suas pesquisas são recentes. Registros indicam que utilizasse o entulho britado como agregado na produção de novos concretos desde os tempos romanos (SCHULZ e HENDRICKS, citado por LEITE, 2001).

Segundo LEITE (2001), uma das principais características do concreto alterado em relação ao convencional é sua trabalhabilidade devido à forma e textura do agregado reciclado, principalmente devido à alta taxa de absorção de água do agregado. A má trabalhabilidade aumenta a quantidade de água durante a produção de concreto, mas afeta adversamente outros aspectos do concreto em seu estado endurecido, como a resistência.

Uma das muitas maneiras de reaproveitar o PET para construção é adicioná-lo em sua composição cimentícia como uma porcentagem de agregado fino. Ainda no processo de pesquisa, existem muitas perguntas sobre quais porcentagens devem ser utilizadas, e qual sua interferência no comportamento do concreto e argamassa em suas propriedades mecânicas e físicas (VAZ, 2016).

Vaz (2016) realizou um estudo sobre propriedades mecânicas da argamassa modificada, em seu estado fresco e endurecido, com volume de PET (5%, 15%, 30%) como um agregado miúdo natural. A autora avaliou a consistência no estado fresco da argamassa e a absorção por capilaridade e a resistência a compressão e a tração na flexão no estado endurecido segundo a ABNT NBR 13279: 2005.

Canellas (2005) desenvolveu uma pesquisa substituindo parcialmente o agregado fino de argamassa e areia por PET, em níveis de substituições de 10%, 30% e 50%. Este estudo foi realizado para avaliar o desempenho da argamassa, a fim de avaliar a produção de peças pré-moldadas de concreto. A autora concluiu que as dimensões do traço devem ser feitas com substituição de volume para manter o equilíbrio entre o volume de agregado miúdo e agregado de PET, além de ser recalculado o fator água/cimento devido o PET ser um polímero com propriedades hidrofóbicas.

2.3.1 Resíduos de Construção e Demolição

Segundo a NBR 15116, o RCD (resíduos de construção e demolição) é proveniente de tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rochas, madeira, argamassa, gesso, azulejo, pavimentação asfáltica, vidro, plástico, tubos, fiação elétrica, etc., obtidos através de construção, reforma, demolição de estruturas, estradas e escavações de solos.

Segundo a NBR 15116, o Resíduo de Construção e Demolição (RCD) é todo aquele material oriundo de construções, reformas, demolições de estruturas, estradas e escavação de solo, como por exemplo: tijolos, blocos cerâmicos, concretos, solos, rochas, madeiras, argamassas, gessos, telhas, pavimentos asfálticos, vidros, plásticos, tubulações, fiações elétricas, entre outros, chamados de entulhos de obras.

No Brasil existem as normas regulamentadoras da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para o uso do RCD, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Normas técnicas da ABNT para gestão e uso de resíduos da construção civil

Código	Título
NBR 15115:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.
NBR 15116:2004	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.
NBR 15113:2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15114:2004	Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15112:2004	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 10004:2004	Resíduos sólidos: classificação.

Fonte: ABNT (2004)

Segundo Levi (2007), o trabalho de engenharia civil foi realizado manualmente desde o início da civilização, e uma grande quantidade de entulho foi gerada. Isso chamou a atenção dos construtores durante a construção da cidade do Império Romano e, desde então, o primeiro registro de reciclagem de resíduos da construção civil foram para a produção de novas obras.

Somente após o final da Segunda Guerra Mundial, que foram registradas as primeiras aplicações importantes de detritos reciclados na reconstrução urbana da comunidade Europeia. Eles demoliram completamente os prédios e os entulhos resultantes foram esmagados para produzir agregados para atender às demandas da época (WEDLER E HUMMEL, 1946).

2.3.2 Politereftalato de etileno (PET)

O Brasil produz cerca de 150 mil toneladas de resíduos sólidos por dia, mas somente 13,4 mil toneladas são recicladas. O restante é descartado em aterros sanitários, aterros clandestinos ou simplesmente jogados em ruas ou terrenos baldios, causando sérios problemas ao meio ambiente e a saúde (IDEC, 2006).

Ainda segundo o IDEC (2006), as embalagens de alimentos representam cerca de dois terços do total de resíduos sólidos produzidos no Brasil, totalizando 31.640 toneladas de

materiais recicláveis. O Poli (tereftalato de etileno) ou PET é considerado o grande “vilão” dos resíduos. Seu descarte inadequado sobrecarrega os sistemas de drenagem urbana contribuindo nos eventos de enchentes e alagamentos, além da poluição da água em rios e córregos.

O PET é o polímero termoplástico mais importante comercialmente da família dos poliésteres. Possui estrutura semicristalina, parcialmente alifática e aromática. Suas propriedades incluem baixa densidade, transparência, excelente estabilidade térmica, facilidade de processamento, alta resistência química, alta estabilidade à hidrólise devido à presença de anéis aromáticos, propriedades mecânicas atraentes a altas temperaturas, barreira a gás, leveza, aparência nobre (brilho e transparência) e baixos custos de produção (PAOLI, 2009).

Cerca de 90% do consumo total de PET no Brasil é utilizado nas indústrias de bebidas (água, refrigerantes etc.) e embalagens de alimentos (ABIPET, 2016). Uma separação mais rigorosa de todos os resíduos sólidos urbanos, permitiria um reaproveitamento maior dos resíduos, pois a maioria dos utilizados nas embalagens diversas já possuem tecnologia para sua reciclagem (PIVA, 2004; MANCINI, 2005).

Segundo ABIPET (2005) como a maioria dos resíduos de plástico consiste em pequenas dispersões e plásticos com muitos poluentes, o custo de separação, limpeza e reciclagem desses materiais devido à mistura com resíduos orgânicos é muito alto.

A reciclagem mecânica de plásticos é o modo mais acessível de recuperar o PET. Os produtos plásticos são lavados, moídos, submetidos à secagem e depois reprocessados, logo em seguida dão origem a novos produtos. Este tipo de reciclagem é responsável por praticamente toda a reciclagem de PET no Brasil, e são transformados em enchimentos, fios, carpetes, entre outros (MANCINI, 2000).

Dados divulgados pela ABIPET (2005) mostram que em 2004 foram reciclados cerca de 48% do volume de embalagens em PET. Isso significa que 52% desse material foi descartado em locais inadequados como nas praias, nos rios, nas ruas. Apesar disso, o índice de reciclagem de PET no Brasil é crescente.

Os recicladores de plástico geralmente afirmam enfrentar uma série de barreiras legais, incluindo a falta de leis específicas sobre gerenciamento de resíduos e tributação federal dos resíduos de plástico, os quais são os únicos materiais recicláveis não isentos do IPI e ICMS (CALDERONI, 1997).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização dos Materiais

Os procedimentos experimentais foram realizados no complexo de Laboratórios de Engenharia Civil e Arquitetura (FACEA) da Faculdade UNIFASIPE, localizado no município de Sinop, estado de Mato Grosso.

Na realização do experimento e produção do concreto foram utilizados a combinação dos seguintes materiais: Cimento *Portland* - CP II-Z-32, areia média, pedra brita 1 e água. As fibras de PET utilizadas foram obtidas de garrafas de refrigerantes pós-consumo, higienizadas e submetidas a fragmentação.

As fibras de PET foram submetidas a ensaio de caracterização de massa específica, que consiste na utilização de recipiente com volume conhecido (m³) preenchido com as fibras de PET previamente determinadas (kg), sendo a massa específica calculada através da equação 1 abaixo:

$$\gamma \text{ (kg/m}^3\text{)} = M_{\text{fibras}} \text{ (kg)} / V_{\text{recipiente}} \text{ (m}^3\text{)} \quad (1)$$

Os agregados naturais, areia e pedra, foram caracterizados seguindo as normas NBR 248 (Agregados - Determinação da composição granulométrica) e a NBR 9776 (Agregados -

Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio).

3.2 Composição do Traço

O traço unitário do concreto utilizado neste estudo foi 1: 2,13: 3,12, em relação a a/c 0,55 e consumo intermediário de cimento de 381 kg / m³, objetivando uma resistência de 25Mpa nos tempos de 7 e 28 dias.

Buscando avaliar a viabilidade de substituição dos agregados finos naturais por fibras de PET em relação as alterações nas propriedades mecânicas do concreto convencional, foram feitos traços com a substituição do agregado natural por PET nos percentuais de 0 (chamado de testemunha) e de 10 e 15%.

3.3 Moldagem dos Corpos de Prova

O processo de moldagem e cura das amostras foi realizado de acordo com a NBR 5738 (2016).

As dimensões dos corpos de prova produzidos neste trabalho foram de 10x20cm (628,3cm³). Após 24 horas da moldagem, os 18 corpos de prova foram desmoldados e colocados em uma caixa d'água, no qual permanecerem submersos por 7 e 28 dias pós- moldagem.

3.4 Ensaio de Absorção de Água por Capilaridade

No teste de absorção de água por capilaridade, o corpo de prova é pesado após o desmolde e parcialmente submerso em água após as pesagens. Durante o teste, as massas das amostras aos 7 e 28 dias foram determinadas e contadas a partir dessas configurações em contato com a água. A amostra é seca com um pano úmido antes da pesagem, de acordo com as normas NBR 9779 (2012).

3.5 Ensaio de Resistência a Compressão

O teste de resistência axial à compressão foi realizado de acordo com a NBR 5739 (2018): Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

De todos os parâmetros que influenciam a qualidade do concreto, como resistência mecânica, permeabilidade, durabilidade, deformação, etc., a variação mais sensível e facilmente quantificável inerente à fabricação é a resistência à compressão medida através das amostras de corpos de prova moldados, curados e testados de acordo com a padronização da NBR 5739.

3.6 Análise Estática

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizados, sendo 2 tratamentos relativos aos níveis de substituição (10 e 15%) e o tratamento testemunha (sem adição do PET), aos 7 e 28 dias, sendo 3 repetições em cada tratamento.

Para verificar o efeito dos diferentes níveis de substituição do agregado natural pelo agregado de PET sobre a resistência à compressão axial as variáveis foram submetidas a análise de variância (ANOVA) e as médias processadas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaio de absorção de água por capilaridade

Durante o período de 28 dias foram determinadas as massas das amostras nos

intervalos de 1, 7 e 28 dias dentro da caixa d'água. Sendo obtidos os resultados da tabela 1.

Tabela 1: Massa dos corpos de prova (kg) nos níveis de substituição 0, 10 e 15% nos períodos 1, 7 e 28 dias após a moldagem

	Repetições	1 dia (kg)	7 dias (kg)	28 dias (kg)
Testemunha (0%)	1	3,710	3,820	3,865
	2	3,805	3,935	3,995
	3	3,690	3,775	3,805
	4	3,820	3,915	4,055
	5	3,755	3,880	3,985
	6	3,765	3,905	3,995
10%	1	3,680	3,745	3,785
	2	3,745	3,810	3,865
	3	3,790	3,835	3,860
	4	3,635	3,680	3,885
	5	3,810	3,895	4,070
	6	3,705	3,770	3,945
15%	1	3,655	3,705	3,755
	2	3,575	3,640	3,720
	3	3,540	3,625	3,745
	4	3,615	3,680	3,805
	5	3,585	3,655	3,740
	6	3,610	3,725	3,845

Fonte: Própria (2020)

O concreto com fibra de PET apresentou semelhante comportamento de absorção em comparação com o concreto testemunha, com pouca variação referente a absorção dos corpos de prova.

4.2 Ensaio de resistência a compressão

Conforme o traço escolhido, objetivando uma resistência prevista de 25Mpa, foi realizado o ensaio de resistência a compressão e os resultados obtidos conforme a tabela 2.

Tabela 02: Ensaio de Resistência a Compressão

	Repetições	7 dias (kg)	28 dias (kg)
Testemunha (0%)	1	18,7	23,8
	2	18,3	23,4
	3	18,7	22,9
	4	19,2	24,5
	5	19,8	24,7
	6	19,4	23,5
10%	1	17,7	23,6
	2	17,4	24,2
	3	18,6	23,4
	4	17,5	23,2
	5	18,8	21,7
	6	19,1	21,4
15%	1	17,6	22,8
	2	18,5	23,3
	3	18,8	23,1
	4	16,9	21,7
	5	17,3	22,4
	6	17,6	21,5

Fonte: Própria (2023)

Aos 7 dias o concreto com fibra de PET não diferiu em relação ao concreto testemunha (18,8 MPa), sendo as resistências obtidas nos níveis de substituição de 10 e 15% foram de 18,2 e 17,8 MPa, respectivamente.

Aos 28 dias a resistência obtida no concreto testemunha foi igual a 23,8 MPa, não atingindo a resistência inicialmente proposta para o traço escolhido. As resistências obtidas nos níveis de substituição de 10 e 15% não diferiram estatisticamente em relação a testemunha, sendo as médias observadas de 22,9 e 22,5 MPa, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados em outras pesquisas como a de MARANGON (2004), CORÓ (2002) e JARDIM (2016). MARANGON (2004) onde são relatados que além da redução dos impactos ambientais, os aspectos de resistência à compressão, retração plástica, aumento da tenacidade, e durabilidade são outras vantagens do uso do PET triturado

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam a viabilidade de substituição do agregado miúdo pelo PET em teores de até 15%. Tornando-se uma alternativa ecológica para utilização em construções que não necessitem de uma elevada resistência à compressão, como em tijolos de concreto para calçadas, capas para lajes pré-moldadas, alvenaria interna de fechamento, sarjetas, escadas, dentre outros, posto que a resistência exigida para essas construções se encontra na faixa de 10 MPa e 15 MPa.

Segundo Kuck (2004) são extraídos 320 milhões de m³ de areia natural por ano, provocando a erosão das margens de rios e degradação de áreas naturais, com a substituição da areia por outros materiais estes números poderiam ser reduzidos. Por ser um tema relativamente novo, o uso do agregado de PET para a produção de concretos pode promover a redução da extração/consumo de areia e também do acúmulo de embalagens plásticas nos ecossistemas, sendo uma forma de promover a conservação ambiental para as futuras gerações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O concreto com fibra de PET apresentou comportamento semelhante em relação a absorção quando comparado com o concreto testemunha. Em relação aos ensaios mecânicos de resistência a compressão, o concreto com fibra de PET apresentou resistência média de 22,5 MPa, não diferindo estatisticamente em relação ao concreto testemunha. Os resultados obtidos para os níveis de substituição testados neste trabalho evidenciam a viabilidade de substituição do agregado miúdo pelo PET, tornando-se uma alternativa ecológica capaz de reduzir o consumo de recursos naturais e possibilitar uma destinação para resíduos plásticos aumentando as taxas de reciclagem desses materiais.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, e JOHN. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Vol.5. São Paulo: Blucher, 2011.

AOKI, Jorge. **Adicionar água suplementar ao concreto exige cuidados**. 2013. <https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/adicionar-agua-suplementar-ao-concreto-exige-cuidados/> (acesso em 20 de Maio de 2020).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BARTLEY, Bertilia Lauralee. **Argamassas de cimento portland aditivado com partículas de calcário mineral e partículas ultrafinas de carbonato de cálcio : morfologia, propriedades mecânicas e durabilidade.** Sergipe: Universidade Federal de Sergipe, 2016.

BASTOS, paulo sérgio dos santos. **“Fundamentos do Concreto armado.”** 2006. www.feb.unesp.br/pbastos (acesso em 5 de junho de 2020).

BERNOLD, e GAVILAN. **Source evaluation of solid waste in building construction.** Journal of constuction engineering anf management, 1994.

BIANCHINI. **“Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto.”** Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2010.

CIMENTO.ORG. **Concreto.** 2008. <https://cimento.org/concreto/> (acesso em 5 de Junho de 2020).

CINCOTTO, M. A. **Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil.** São Paulo: Pini, 1983.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil.** Brasília: Imprensa oficial, 2002.

ECYCLE, EQUIPE. **Clinker.** 2020. <https://www.ecycle.com.br/5870-clinker> (acesso em 24 de Maio de 2020).

FURTADO, NÉLIO SCRIVENER (2016). **Preparação e caracterização do compósito de liga de alumínio aa6061 reforçado com diferentes concentrações de escória de alto-forno coque metalúrgico via metalurgia do pó.** Dissertação de Mestrado em Integridade de Materiais da engenharia, Publicação 43A/2016, Faculdade UnB Gama/FT/Universidade de Brasília,DF, 104p

GUERRA, ROCHA, e OKABAYASHI. **Estudo da viabilidade técnica para a reutilização de Polietileno Tereftalato (PET) residual em substituição ao agregado miúdo no concreto .** Florianópolis: MIX Sustentável, 2017.

HELENE. **“Concreto de Cimento Portland.”** Edição: ISAIA. 2010. <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>.

ISAIA, G., P. HELENE, e B. TUTIKIAN. **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho.** Concreto: Ciência e Tecnologia, 2011.

JOHN, e DAMINELI. **“Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas. Subsídios para a.”** 2014. <http://www.cbcs.org.br/website/aspectos-construcao-sustentavel/show.asp?ppgCode=31E2524C-905E-4FC0-B784-118693813AC4> (acesso em 15 de Julho de 2020).

KUCK. **“Areia artificial para construção de edifícios.”** 2004. <http://www.cienciaevida.com.br/> (acesso em 15 de Julho de 2020).

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados**

reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese (Doutorado), Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

MARCIANO; KIHARA. **Reciclagem na construção civil, alternativa econômica para proteção ambiental.** São Paulo: ANAIS, 1997.

MIRANDA. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa do entulho reciclado.** Dissertação (Mestrado), São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 5°. Bookman, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 2°. São Paulo: Pini, 1997.

PEDROSO, Fábio Luís . **“Concreto: material construtivo mais consumido no mundo.”** IBRACON, 2009.

PFEIFER, G. et al. **“Masonry construction manual.”** Basel - Suíça, 2001.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese (Doutorado), São Paulo: Escola Politécnica, USP, 1999.

PINTO, T. P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo de uso em argamassa.** Dissertação, São Carlos: Universidade de São Paulo, 1986.

PNUMA. **“Areia e Sustentabilidade: Encontrar novas soluções para a governação ambiental dos recursos globais de areia.”** 2019. <https://news.un.org/pt/story/2019/05/1671251> (acesso em 17 de Julho de 2020).

SALLES, Flávio, Mauro TASHIMA, João FAZZAN, e Jefferson AKASAKI. **Pó de pedra: uma alternativa ou um complemento ao uso da areia.** Vol 10. HOLOS Environment, 2010.

WWF, Fundo mundial para a Natureza. **“Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização.”** 2019. <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico> (acesso em 15 de Julho de 2020)