



**FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
DE CONSELHEIRO LAFAIETE**

ENGENHARIA CIVIL

TALITA GABRIELE MARTINS VIEIRA

CONCRETO RECICLADO UTILIZANDO GARRAFAS PET

**Conselheiro Lafaiete
2020**

TALITA GABRIELE MARTINS VIEIRA

CONCRETO RECICLADO UTILIZANDO GARRAFAS PET

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Tatiana Aparecida Rodrigues

TALITA GABRIELE MARTINS VIEIRA

Concreto reciclado utilizando garrafas PET

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Presidente Antônio Carlos de Conselheiro Lafaiete, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____/____/____

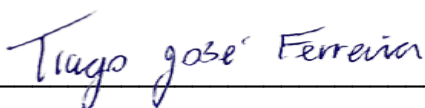
BANCA EXAMINADORA



Prof. MSc. Tatiana Aparecida Rodrigues - Orientadora - FUPAC

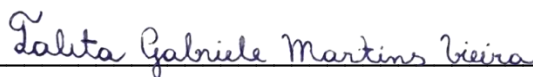


Prof. Dr. André Luciano de Carvalho - Avaliador - FUPAC



Prof. MSc. Tiago José Ferreira - Avaliador - FUPAC

ALUNA



Talita Gabriele Martins Vieira

**Conselheiro Lafaiete
2020**

Dedico este trabalho à minha mãe, Eliane Martins, fonte de amor e incentivo, que sempre esteve do meu lado ao longo de toda a minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ter me guiado durante toda a graduação. A minha orientadora, Prof. MSc. Tatiana, por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa e também pelo incentivo, dedicação e confiança conferida na elaboração deste estudo. A todos os meus professores do curso de Engenharia Civil, da Universidade Presidente Antônio Carlos, pela excelência da qualidade técnica e os ensinamentos que foram muito além dos conteúdos do currículo. Também gostaria de agradecer a toda equipe da Concreteira Real Beton por disponibilizar o laboratório para a realização dos testes e contribuir com o aprendizado. Muito obrigada a todos!

"A vida não é fácil para nenhum de nós. Temos que ter persistência e, acima de tudo, confiança em nós mesmos".

Marie Curie

RESUMO

O plástico PET é muito utilizado para fabricação de embalagens, principalmente de alimentos como refrigerantes e água, porém, quando este material é descartado de forma inadequada, em aterros sanitários ou de forma irregular em lixões, causa graves danos ao meio ambiente. A construção civil é o setor que mais cresce no Brasil gerando muitos empregos e contribuindo de forma direta e positiva para a economia do país. Como o mercado da construção civil está sempre se desenvolvendo, a procura por alternativas ecologicamente corretas e substituição de materiais por itens de menor índice de contaminação e/ou poluição do meio ambiente vem gerando maior interesse por este setor da indústria. Por isso, tendo em vista o cenário atual de implantação da sustentabilidade, surge a oportunidade de realizar um estudo para utilizar as garrafas PET, trituradas, como substituto parcial da areia na confecção do concreto reciclado, com o objetivo de obter um concreto de boa resistência, diminuindo assim, o descarte irregular deste material no meio ambiente. Realizou-se um teste de resistência a compressão, que demonstraram que o concreto reciclado feito com 20% de plástico PET possui baixa resistência, quando comparado com o concreto convencional. Por causa da baixa aglomeração entre o polímero e matriz cimentícia, ocorreu o surgimento de espaços vazios que consequentemente influenciou na resistência. Portanto, sugere-se continuar a pesquisa para tentar melhorar a coesão e a resistência do concreto reciclado.

Palavras-chave: Concreto reciclado. Plástico PET. Resistência. Sustentabilidade na construção.

ABSTRACT

PET plastic is very used in the manufacture of packaging, especially for foods, sodas and water, however, when this material is improperly disposed of in sanitary landfills or irregularly dumping ground, it causes serious damage to the environment. The civil construction is the fastest growing sector in Brazil, generating many jobs and contributing directly and positively to the country's economy. As the civil construction market is always expand, the search for ecologically correct alternatives and replacement of materials with items with a lower rate of contamination and/or pollution of the environment, has been creating interest in this industry sector. Therefore, in view of the current scenario of implementing sustainability, the opportunity arises to carry out a study to use crushed PET bottles as a partial substitute for sand in making recycled concrete, with the objective of obtaining a concrete with good resistance, thus reducing the irregular disposal of this material in the environment. A compressive strength test was performed which demonstrated that recycled concrete made with 20% PET plastic has low resistance, when compared to conventional concrete. Because the low agglomeration between the polymer and the cementitious matrix, empty spaces appeared which consequently influenced the resistance. Therefore, it is suggested to continue the research to try to improve the cohesion and strength of recycled concrete.

Keywords: Recycled concrete. PET plastic. Resistance. Sustainability in construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio de abatimento do cone.....	20
Figura 2- Ensaio da resistência a ruptura.....	20
Figura 3 - Diferentes embalagens feitas com plástico PET	23
Figura 4 - Monômero do polímero PET	24
Figura 5 - Símbolos de identificação dos plásticos NBR 13230	25
Figura 6 - Materiais utilizados.....	29
Figura 7 - Tubos de PVC Ø100mm utilizados como forma.....	30
Figura 8 - Corpos de prova confeccionados.....	31
Figura 9 - Copos de provas submersos em solução de saturada Ca(OH)_2	31
Figura 10 - Corpos de prova finalizados, após 28 dias	32
Figura 11 - Prensa hidráulica utilizada no teste de compressão	32
Figura 12 - Vazios presentes no concreto reciclado.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dosagem do concreto	19
Tabela 2 - Resistência do Cimento Portland Comum CPC (MPa)	21
Tabela 3 - Quantidade de material utilizada na prática	30
Tabela 4 - Dados obtidos no experimento.....	33
Tabela 5 - Valores de resistência em MPa.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
NBR	Normas Brasileiras
PET	Polietileno tereftalato ou politereftalato de etileno.
PVC	Policloreto de vinila

LISTA DE SÍMBOLOS

Ø	Diâmetro de uma circunferência
fcj	Resistência média do concreto à compressão a j dias de idade (MPa)
fck	Resistência característica à compressão (MPa)
MPa	Mega Pascal (unidade de força)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivo	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2 O CONCRETO	17
2.1 Tipos de concreto	18
2.2 Propriedades	18
2.2.1 Dosagem.....	18
2.3 Ensaio para avaliar as propriedades do concreto	19
2.3.1 <i>SLUMP TEST</i>	19
2.3.2 Ensaio de resistência à compressão.....	20
2.3.2.1 Determinação da resistência em mega Pascal (MPa)	21
3 O PLÁSTICO PET.....	23
3.1 Propriedades do PET	24
3.2 Mercado e problemas ambientais	24
3.3 Reciclagem do PET.....	25
3.3.1 Processo de reciclagem do PET	25
3.4. Uso do plástico PET como substituinte do agregado miúdo	26
4 METODOLOGIA.....	28
5 MATERIAIS E MÉTODO.....	29
5.1 Materiais	29
5.2 Método.....	29
5.2.1 Corpos de prova	30
5.2.2 Teste de resistência	32
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1 Resistência do concreto convencional	34
6.2 Resistência do concreto reciclado	34
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Segundo pesquisas, o Brasil é o quarto país que mais produz lixo plástico no mundo, ficando atrás apenas de Estados Unidos, China e Índia (WORLD WILDLIFE FUND - BRASIL, 2019), e dentre estes materiais um tem grande destaque no mercado nacional que é o plástico do tipo PET (polietileno tereftalato ou politereftalato de etileno).

O plástico PET é muito utilizado em embalagens de refrigerantes, shampoo, alimentos, produtos de higiene pessoal e limpeza de casa, entre outros itens, sendo usado por milhões de brasileiros diariamente. De acordo com pesquisa realizada pela Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), no Brasil, no ano de 2011, foram produzidas 572.000 toneladas de garrafas de plástico, sendo que 515.000 toneladas foram destinadas a produção de embalagens para refrigerantes, água mineral e óleo comestível (ABIPET, 2013).

Este elevado uso do PET gera também um número significativo de resíduos, já que na maioria dos casos é descartado em aterros sanitários ou de forma irregular em lixões, contaminando assim o meio ambiente, pois, este material demora em média 100 anos para se decompor de forma natural, o que gera graves problemas ambientais (VASCONCELOS, 2019).

Em contra partida, o cenário atual mostra, cada vez mais, a preocupação com as questões ambientais, principalmente por empresas, já que nos últimos anos é possível observar o avanço da degradação ambiental e o prejuízo que causa à sociedade. Isto posto, a procura por alternativas ecologicamente corretas e substituição de materiais por itens de menor índice de contaminação e/ou poluição do meio ambiente vem gerando maior procura pela indústria, de forma geral (FRIGO e SILVEIRA, 2012).

Por conseguinte, com a finalidade de incentivar a reciclagem do PET, estudos vêm sendo realizados para desenvolver produtos e técnicas de reutilização deste resíduo plástico, e uma das áreas de pesquisa envolvem o setor da construção civil, que devido ao seu grande crescimento, possui mercado para tentar “consumir” este material.

A construção civil é o setor industrial que mais cresce no Brasil, segundo dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), no ano de 2019 o setor teve um

aumento de 1,9% nas suas atividades, maior índice desde 2013, gerando muitos empregos e contribuindo de forma direta e positiva para a economia do país (REVISTA VEJA, 2020), sendo que o âmbito que mais contribuiu para este desenvolvimento foram as reformas ou obras novas direcionadas para as construções familiares, ou seja, residências de classe média, apartamentos e casas populares.

No canteiro de obras, utiliza-se matérias-primas extraída do meio ambiente, como a areia, os componentes do cimento, entre outros (FRIGO e SILVEIRA, 2012). Para tentar diminuir os impactos ambientais e reduzir o custo dos insumos as empresas vem investindo em estudos de alternativas economicamente viáveis, e é neste contexto que surge a oportunidade de unir estes dois setores industriais e criar um produto ecologicamente correto.

Portanto, levando em consideração o crescimento do setor da construção e a quantidade de plástico PET descartada no meio ambiente, este trabalho tem como intuito desenvolver um projeto, em laboratório, para a utilização do plástico do tipo PET como substituinte parcial do agregado miúdo na fabricação de concreto reciclado, que poderá ser utilizado na construção de casas populares, contribuindo para o desenvolvimento das atividades do setor da construção e ajudando o meio ambiente, já que poderá promover a redução do plástico que seria descartado e, possivelmente, contaminaria a natureza.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral utilizar as garrafas PET, trituradas, como substituinte parcial da areia (agregado miúdo) na confecção do concreto reciclado, com intuito de obter um material de resistência igual ou superior ao convencional, diminuindo assim, o descarte irregular deste material e contribuindo para a melhor qualidade do meio ambiente.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica, para obtenção de dados;
- Executar ensaios de resistência a compressão em laboratório e comparar a resistência do concreto reciclado de PET com o concreto convencional;

- Avaliar se é possível utilizar este material na construção de residências populares, contribuindo para a viabilização de edificações sustentáveis.

2 O CONCRETO

O concreto é um material muito utilizado na construção civil, sendo obtido através da mistura dos seguintes componentes: cimento (aglomerante), areia (agregado miúdo), brita (agregado graúdo) e água, em proporções pré-determinadas, que garantem resistência a esforços de compressão, porém baixa resistência a tração (PINHEIRO *et al*, 2016).

Cada componente possui uma função, que proporciona uma determinada característica ao concreto. Sendo assim temos:

- Cimento Portland: é um aglomerante hidráulico, ou seja, endurece em contato com a água, e tem como função realizar a união entre os grãos dos agregados (LISBOA *et. al*, 2017). Existem vários tipos de cimento Portland, que variam de acordo com a sua composição e aplicação, são eles:
 - Cimento Portland comum
 - CP I: cimento Portland comum;
 - CP I-S: cimento Portland comum com adição.
 - Cimento Portland composto
 - CP II-E: com escória;
 - CP II-Z: com pozolana;
 - CP II-F: com fíle;
 - CP III: de alto forno;
 - CP IV: pozolâmico;
 - CP V-ARI: alta resistência inicial.
- Brita ou agregado graúdo: usado para reduzir custos, são rochas fragmentadas em pedaços de dimensões grandes (de 4,5mm a 76mm, conforme a NBR 7211) com a finalidade de dar volume ao concreto (PINHEIRO *et al*, 2016), gerando uma maior economia, visto que por ajudar a preencher a área a ser concretada economiza na quantidade de cimento gasto, sem interferir na resistência do concreto.
- Areia ou agregado miúdo: por possuir dimensões pequenas, contribui para o preenchimento dos vazios, principalmente causados pelo uso da brita (PINHEIRO *et al*, 2016).

- Água: além de promover o endurecimento do aglomerante, contribui para a trabalhabilidade da massa, ajudando a obter uma mistura homogênea.

2.1 Tipos de concreto

Existem diferentes concretos devido a sua variação na composição, mas estes são geralmente classificados em três tipos básico:

- Concreto simples: é o concreto preparado apenas com os quatro elementos básicos, muito usado como base em fundações (BOTELHO,2017).
- Concreto armado: utiliza-se a armadura (aço) que proporciona uma resistência a tração elevada.
- Concreto protendido: obtido quando se aplica uma tensão nos cabos de aço, para estica-los antes da cura do concreto, aumentando a resistência.

2.2 Propriedades

O cimento Portland possui como característica principal elevada resistência a compressão, sendo determinada através de testes conforme previsto na norma brasileira NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

O concreto pode ser produzido *in loco* no canteiro de obras, misturado manualmente ou com auxílio de betoneiras, ou pode ser adquirido em uma concreteira (concreto usinado) sendo assim transportado até a obra por caminhões-betoneiras (BOTELHO,2017). Independente da forma de preparo, é necessário realizar testes para garantir a resistência do concreto usado na obra.

2.2.1 Dosagem

Dosagem é a relação entre as quantidades de cada material que será utilizado no preparo do concreto, sendo de grande importância para determinar a resistência necessária para uma obra, ou seja, evita desperdícios, visto que para uma maior resistência é necessário maior consumo de concreto, e consequentemente o custo do projeto se eleva (PARIZOTTO, 2017).

Existem várias dosagens para se obter o concreto ideal, e esses valores são obtidos na prática. Como mostra a Tabela 1, diferentes relações de areia, brita,

cimento e água fornecem concretos com diferentes valores de resistência característica à compressão (fck).

Tabela 1 - Dosagem do concreto

fck (MPa)	Traço em volume cimento: areia: brita	fcj (Kgf/cm ²)		
		3 dias	7 dias	28 dias
25	1:2:3	117	172	254
22	1: 2 ½ :3	100	150	228
20	1:2:4	90	137	210
18	1: 2 ½ :4	74	114	185

Fonte: PILOTTO NETO, 2017.

Para garantir as propriedades do concreto, deve-se fazer ensaios com corpos de prova para verificar o traço do concreto.

2.3 Ensaios para avaliar as propriedades do concreto

Existem dois tipos de ensaios que devem ser realizados para avaliar a qualidade do concreto, são eles: o *SLUMP TEST* (NBR NM 67/1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone) e o ensaio de resistência à compressão (NBR 5739/2018 Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos).

2.3.1 *SLUMP TEST*

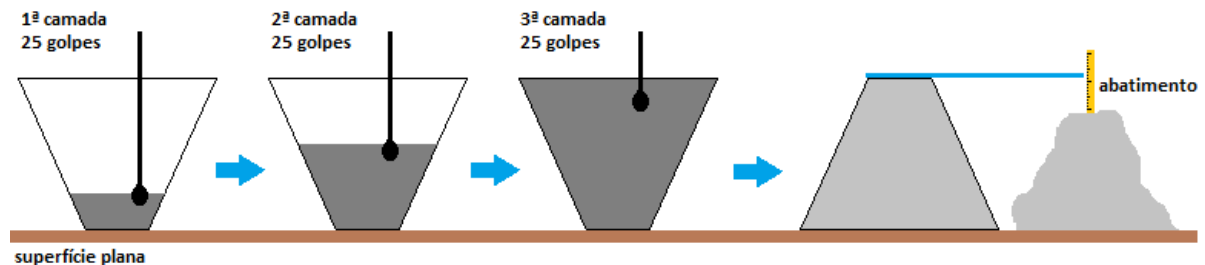
O *SLUMP TEST* é um ensaio que determina a trabalhabilidade do concreto antes de ser utilizado na obra. Consiste em um tronco de cone metálico de 30 cm de altura, com a base maior de Ø20 cm e a base menor Ø10 cm, conforme indicado na NBR NM 67/1998.

Este cone é colocado sob uma superfície lisa e nivelada, com a base estreita para baixo, e preenchido com concreto em três etapas. A cada camada de concreto adicionada aplica-se 25 golpes com uma haste metálica, para remover os vazios. Na última camada, após os golpes, é feito o arrasamento para retirada do excesso de material e nivelamento da massa no topo. Em seguida o cone é virado ficando com a base larga sob a superfície lisa, e então é removido, como mostrado na Figura 1.

Após a remoção, com uma trena, mede-se o abatimento do concreto avaliando assim sua trabalhabilidade de acordo com os seguintes valores: 5 - 10mm: muito

baixa; 15 - 30mm: baixa; 35 - 75mm: média; 80 - 115mm: alta e 160mm ao colapso (PARIZOTTO, 2017).

Figura 1 - Ensaio de abatimento do cone

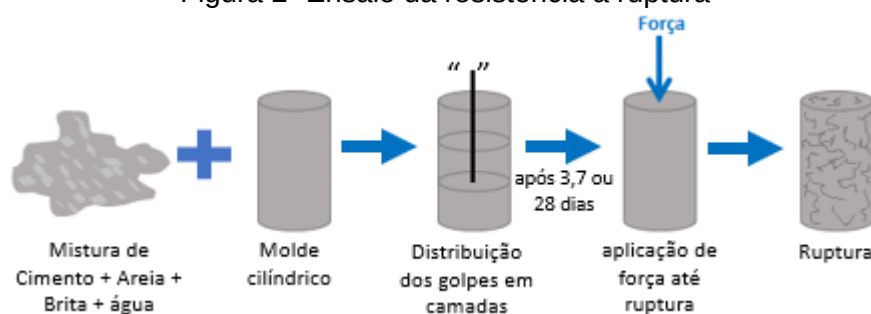


Fonte: a autora

2.3.2 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão serve para determinar a resistência que o concreto atingiu em um determinado período de tempo. Para este teste, são confeccionados corpos de provas (conforme previsto na norma NBR 5738/2015) que são deixados nos períodos de 3, 7 e 28 dias em câmara úmida ou submersos. Em cada prazo são realizados o rompimento destes corpos de prova em uma prensa, obtendo-se assim a resistência a compressão (f_{ck}) do concreto, ou seja, a quantidade de força resistente por área aplicada (kgf/cm^2), (BOTELHO, 2017) conforme representado na Figura 2.

Figura 2- Ensaio da resistência a ruptura



Fonte: a autora

Para o cimento comum, temos os valores de resistência tabelados na norma, como indicado na Tabela 2, é possível observar que a resistência aumenta gradativamente, atingindo o ideal aos 28 dias.

Tabela 2 - Resistência do Cimento Portland Comum CPC (MPa)

Dias	Tipo 25 MPa	Tipo 32 MPa	Tipo 40 MPa
3	8	10	14
7	15	20	24
28	25	32	40

Fonte: PINHEIRO *et al*, 2016.

É importante ressaltar que, de acordo com a NBR 6118/2003, a resistência mínima para o concreto estrutural é de 200 kgf/cm² ou 20 MPa (BOTELHO, 2017).

2.3.2.1 Determinação da resistência em mega Pascal (MPa)

Na determinar a resistência os corpos de provas são submetidos a um esforço de compressão utilizando um equipamento denominado prensa hidráulica, que fornecem a resistência em tonelada força (tf).

Para obtenção dos valores em Mega Pascal (MPa) é necessário dividir o valor obtido de resistência pela a área da seção transversal do corpo de prova, no caso de corpos cilíndricos, o cálculo da área da seção transversal é realizado utilizando a Equação 1:

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

A: área da seção transversal (cm²);

D: diâmetro do molde cilíndrico (cm);

π : constante numérica (adimensional).

Em seguida realiza-se a conversão do valor de resistência a compressão em tonelada força (tf), fornecidos pelo equipamento, para quilograma força (kgf) utilizando a relação abaixo:

$$1 \text{ tonelada força (tf)} = 1.000 \text{ quilograma força (kgf)}$$

Após, utiliza-se a Equação 2 para obtenção da resistência em kgf/cm²;

$$R = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

R: resistência a compressão (kgf/cm²);

F: força (kgf);

A: área da seção transversal (cm²).

Por fim, utilizando a relação abaixo, realiza-se a conversão da resistência para obtenção dos valores em Mega Pascal (MPa):

$$1 \frac{kgf}{cm^2} = 0,098067 MPa$$

Desta forma é possível comparar a resistência dos corpos de provas testados em laboratório com os valores da literatura.

3 O PLÁSTICO PET

A primeira versão do material que hoje conhecemos pelo nome de plástico foi desenvolvido a mais de 100 anos, por Parker, que tentava encontrar um material decorativo para substituir os utilizados na época como o marfim e o casco de tartaruga (TWEDE e GODDARD 2010).

Com o passar dos anos, o material foi sendo aperfeiçoado e a partir do original surgiram novas derivações. Atualmente os plásticos são classificados de acordo com suas características em dois grupos os termoplásticos e termorrígidos:

- Termoplásticos: quando aquecidos podem ser moldados e após o processo de resfriamento ficam sólidos. Exemplos: polietileno tereftalado (PET), policloreto de vinila (PVC), polipropileno (PP).
- Termorrígidos ou termofixos: quando aquecidos não podem ser moldados, ou seja, não derretem, dificultando a sua reciclagem. Exemplo: poliuretano (PU) e poliacetato de etileno vinil (EVA).

O plástico PET foi desenvolvido em 1941 por Whinfield e Dickson, dois químicos ingleses e por volta de 1980, este material passou a ser utilizado como embalagens de alimentos e bebidas por ser leve e inerte, ou seja, não alterava as propriedades físicas e químicas dos produtos, como odor e gosto (ABITANTE e LISBOA, 2017). Atualmente, o plástico PET é utilizado em diversos setores, chegando até a substituir as embalagens de vidro, sendo utilizados atualmente como embalagens para alimentos, medicamentos, produtos de higiene pessoal e de limpeza, produtos químicos, entre outros, Figura 3.

Figura 3 - Diferentes embalagens feitas com plástico PET

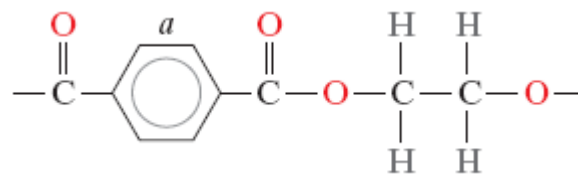


Fonte: a autora.

3.1 Propriedades do PET

O plástico PET é um polímero constituída por unidades menores repetidas denominadas de monômeros, formando um macromolécula, Figura 4, que possuem um conjunto de propriedades com características específicas (CALLISTER e RETHWISCH, 2016.)

Figura 4 - Monômero do polímero PET



Fonte: CALLISTER e RETHWISCH, 2016.

Suas principais características, que determinam sua aplicabilidade em diversos setores da indústria são:

- Moldável: por ser um material fácil de ser moldado pode obter diferentes formas e volumes, tornando-se muito útil para embalagens (ABIPET 2, 2020).
- Material leve: facilita o transporte de grande quantidade de produto (ABIPET 2, 2020).
- Resistência mecânica: possui alta resistência a impacto, não danificando sua estrutura, principalmente durante o transporte, por isso, é muito utilizado na fabricação de garrafas (ABIPET, 2020).
- Transparente: esta característica está mais relacionada a estética, já que esta propriedade proporciona embalagens atrativas ao consumidor, visto que é possível ver a cor do produto (GAUTO e ROSA, 2013).
- Baixo custo: viabiliza a sua utilização em grande escala (ABITANTE e LISBOA, 2017).

3.2 Mercado e problemas ambientais

Por sua ampla aplicação em diversos setores da indústria, o plástico PET tem um elevado consumo em diversos países, inclusive no Brasil, e apesar de suas vantagens é um material com alto índice poluidor, por causa de seu tempo de degradação ambiental - levando cerca de 100 anos para se decompor de forma natural

e por, na maioria das vezes, serem descartado de forma irregular, acaba por contaminar solos e rios (VASCONCELOS, 2019).

Dados da Associação Brasileira da Indústria do PET mostram que 90% do plástico do tipo PET consumidos no país são destinados para a fabricação de embalagens de bebidas e alimentos, dado que em 2011 foram consumidos 515 Ktons deste material com esta finalidade.

Com bases nestes dados fica evidente que o consumo do PET, em diversos setores, é alto e dificilmente terá uma redução, sendo necessário utilizar de alternativas para 'consumir' este material, impedindo que ele contamine o meio ambiente, e uma forma é incentivar a sua reciclagem.

3.3 Reciclagem do PET

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) elaborou a norma NBR 13230/2008 - Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia, responsável por regularizar as embalagens de plástico. Esta norma traz uma simbologia específica, Figura 5, para cada tipo de plástico, baseado em seus componentes, com o objetivo de facilitar a separação para a reciclagem.

Figura 5 - Símbolos de identificação dos plásticos NBR 13230



Fonte: ABNT NBR 13230/2008.

3.3.1 Processo de reciclagem do PET

A reciclagem do plástico PET traz vários benefícios em diferentes âmbitos, como: ambiental, econômico e social. Segundo a ABIPET, é economicamente viável

a instalação de indústrias de reciclagem no Brasil por ser um projeto sustentável e funcional, pois, este tipo de empreendimento promove a geração de empregos, colabora com a arrecadação de impostos e contribui para o desenvolvimento econômico do país.

Outra vantagem é que através da reciclagem das garrafas de PET ocorre a substituição da matéria prima original, ou seja, reduzindo a fabricação de “nova” matéria-prima e consequentemente a quantidade de material descartado no meio ambiente.

3.4. Uso do plástico PET como substituinte do agregado miúdo

Alguns pesquisadores como MENDES *et al.* e CAMPOS e PAULON realizaram trabalhos sobre a substituição do agregado miúdo por resíduos. No trabalho de MENDES *et al.*, 2014, foi observado que aos 21 dias de cura, o concreto obteve 11,9 MPa para uma amostra com 10% de magnetita, valor satisfatório segundo os autores, quando comparado com o controle. Já no trabalho de CAMPOS e PAULON, 2015, foram utilizados isoladores elétricos de porcelana moídos para substituição da areia. Neste trabalho os autores observaram que quanto maior o teor de porcelana, maiores foram as resistências obtidas, quando comparado ao traço referência, sendo assim aos 28 dias de idade, o concreto teve um aumento de resistência de 18%.

Já em relação ao plástico PET, foram encontrados na literatura trabalhos com resultados bem distintos, como a pesquisa realizada por CORREA e SANTANA, 2014, que fizeram um estudo sobre a substituição do agregado miúdo pelo plástico PET (5% vol.) em concreto leve, no qual obtiveram um resultado satisfatório para a resistência do concreto reciclado, com uma média de 25 MPa para as amostras analisadas, quando comparada ao concreto convencional que foi de 31,3 MPa. Nos estudos de MODRO e OLIVEIRA, 2009, foram utilizados *flakes* de PET em diferentes concentrações: 10, 20, 30 e 40%. Neste estudo, o resultado observado foi que com o aumento da quantidade de plástico (maior a porcentagem de substituição do agregado miúdo pelo PET) ocorreu uma redução da resistência a compressão.

Com base nestes trabalhos, e tendo em vista o cenário atual de degradação ambiental causado pelo descarte irregular do PET, surge a proposta de avaliar a viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo (areia) no preparo do concreto por resíduos plástico, com foco para o material PET, podendo assim reduzir o seu descarte no meio ambiente.

O agregado miúdo influencia na porosidade e trabalhabilidade da massa. Ao contrário da areia, o plástico não absorve água, logo entende-se que quando utilizar este material a trabalhabilidade irá ser maior (PARIZOTTO, 2017). Outro ponto é que, pelo fato do plástico ser um material resistente e moldável, supõem que o concreto obtido utilizando este composto também seja mais resistente.

Tendo conhecimento das funções do agregado miúdo e as características do PET, é considerável realizar este estudo para obtenção de uma massa de concreto reciclado com melhor trabalhabilidade e possivelmente mais resistente.

4 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido em duas etapas. A primeira parte foi através do levantamento de dados encontrados na literatura já existente. Foram realizadas pesquisas bibliográficas por meio dos livros dispostos no acervo da Biblioteca da Faculdade Presidente Antônio Carlos, nas bases de dados da *Scielo*, no site da Associação Brasileira da Indústria do PET, consultas nas Normas ABNT voltadas para o setor da construção civil, e em artigos e projetos apresentados em congressos. Os descritores utilizados foram: concreto reciclado, utilização de plástico na construção civil, substituição do agregado miúdo, resistência do concreto estrutural, para obter informações sobre o cenário atual do consumo e reciclagem do PET no Brasil e obter informações das principais propriedades do concreto.

A segunda parte, foi a obtenção de dados quantitativos, ou seja, realização de experimentos para definir a possibilidade da utilização do plástico PET no concreto, como substituinte parcial do agregado miúdo. Nesta etapa, os experimentos foram realizados seguindo as orientações das normas (NBRs) para confecção dos corpos de prova, cura e ruptura, e orientações de segurança para execução das atividades. O rompimento ocorreu no laboratório de testes de concreto da Concreteira Real Beton, localizada na cidade de Conselheiro Lafaiete/MG.

5 MATERIAIS E MÉTODO

5.1 Materiais

Para a confecção dos corpos de provas de concreto reciclado 20% de PET e do controle, foram utilizados os seguintes materiais mostrados na Figura 6:

- Areia média lavada e peneirada;
- Cimento Portland CPII-E-32;
- Brita nº 1;
- Flocos de plástico PET (com granulometria média de entre 4 a 8 mm);
- Água;
- Moldes cilíndricos de PVC.

Figura 6 - Materiais utilizados



Fonte: a autora.

5.2 Método

Para realizar o teste de resistência foram moldados corpos de prova, segundo indicado na Norma NBR 5738/2015 versão corrigida.

Conforme a norma os moldes utilizados devem ser de aço ou material não absorvente. Por isso, neste trabalho foram utilizados tubo de PVC $\varnothing 100\text{mm}$ com a altura igual ao dobro do diâmetro, ou seja, os corpos de provas possuem dimensões de 10,00 cm de diâmetro de 20,00 cm de altura, com base plana, Figura 7. Realizou-se um corte na lateral dos moldes e em seguida foi feito o fechamento com arame para facilitar o desmolde, evitando assim possíveis danos nos corpos de prova.

Figura 7 - Tubos de PVC Ø100mm utilizados como forma



Fonte: a autora.

5.2.1 Corpos de prova

No experimento o traço de concreto escolhido foi de 1:2:3:½, por ser o traço mais utilizado pelos pedreiros nas obras da região de Conselheiro Lafaiete. Para o preparo da massa realizou-se o seguinte procedimento:

- **Controle (concreto convencional):** realizou-se a mistura do cimento, areia média lavada e brita nº 1, em seguida adicionou-se a água. A massa foi misturada manualmente até a homogeneidade.
- **Concreto reciclado:** neste corpo de prova realizou-se a substituição de 20% da areia pelo plástico PET em flocos, mantendo as mesmas quantidades de brita, cimento e água do concreto convencional.

As quantidades exatas de materiais utilizadas para moldar cada corpo de prova estão listadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de material utilizada na prática

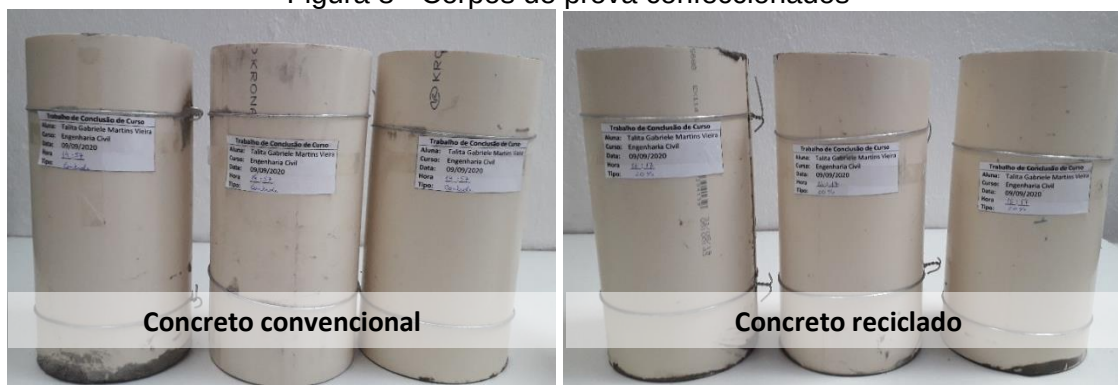
Corpo de prova	Cimento* (Kg)	Brita nº1 (Kg)	Areia média (Kg)	Plástico (Kg)	Água (L)
Concreto convencional	2,475	5,295	7,170	0	1,500
Concreto reciclado PET 20%	2,475	5,295	5,736	1,434	1,500

*Cimento TUPI CPII-32-E.

Fonte: a autora.

Conforme a NBR 5738/2015, para as dimensões dos moldes utilizados, o preenchimento das formas ocorreu da seguinte maneira: primeiramente adicionou-se uma quantidade de massa até a metade dos moldes, aplicou-se 12 golpes com haste metálica, e em seguida completou-se o volume do molde realizando mais 12 golpes e o arrasamento até a borda. Após a confecção dos corpos de prova, as amostras foram identificadas, Figura 8, e deixadas em repouso em local sem vibração, longe do sol e humidade durante 24 horas.

Figura 8 - Corpos de prova confeccionados



Fonte: a autora.

Depois de 24 horas as amostras foram desenformadas e deixadas submersas em solução saturada de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), com a quantidade de 1,2g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para cada 1L de água utilizado, pelo período de 28 dias, conforme Figura 9.

Os experimentos, tanto de concreto convencional quanto do concreto reciclado, foram realizados em triplicata.

Figura 9 - Copos de provas submersos em solução de saturada $\text{Ca}(\text{OH})_2$

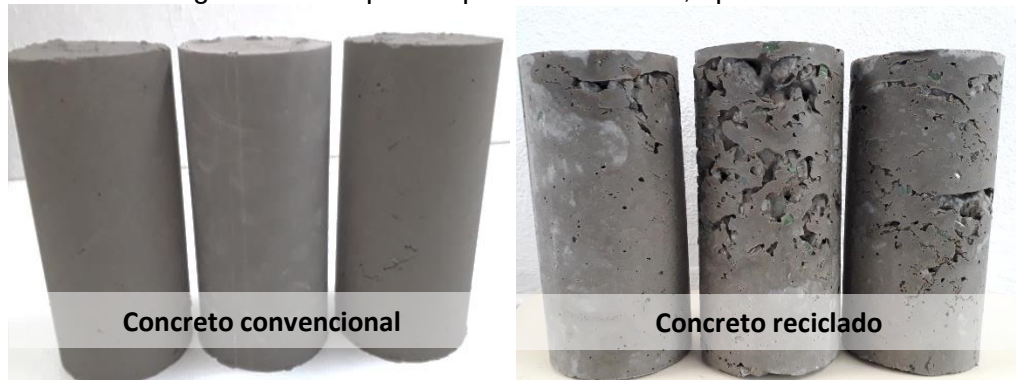


Fonte: a autora.

5.2.2 Teste de resistência

Após os 28 dias os corpos de prova, Figura 10, foram retirados da solução e os seus diâmetros medidos e anotados, para cálculo da área da seção transversal. Em seguida foram levados ao laboratório de testes da Concreteira Real Beton, onde sofreram rompimento para determinação de sua resistência.

Figura 10 - Corpos de prova finalizados, após 28 dias



Fonte: a autora.

Utilizando o equipamento conhecido como prensa hidráulica, Figura 11, as amostras foram submetidas ao esforço de compressão até que ocorresse a fratura. Este valor foi registrado para cálculo da resistência.

Figura 11 - Prensa hidráulica utilizada no teste de compressão



Fonte: a autora, laboratório de testes da Real Beton.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prensa utilizada no teste de resistência fornece os dados em toneladas força (tf), os valores obtidos na prática estão indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados obtidos no experimento

Controle PET 0%		
Amostra	Diâmetro do corpo de prova D (cm)	Resistência a compressão F (tf)
1	9,78	12,80
2	9,92	10,07
3	9,85	15,13

Concreto PET 20%		
Amostra	Diâmetro do corpo de prova (cm)	Resistência a compressão F (tf)
1	9,79	5,66
2	9,88	6,26
3	9,89	5,92

Fonte: a autora.

Na prática os valores de resistência foram obtidos em tonelada força (tf), porém antes de realizar a comparação dos valores do concreto reciclado com o convencional é preciso determinar a resistência em Mega Pascal (MPa). Esta conversão foi realizada conforme descrito no item 2.3.2.1 Determinação da resistência em mega Pascal (MPa), presente neste trabalho, e os valores obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de resistência em MPa

Concreto convencional		
Amostra	Área da seção transversal (cm ²)	Resistência a compressão (MPa)
1	75,12	16,70
2	77,29	12,78
3	76,20	19,47

Concreto reciclado PET 20%		
Amostra	Área da seção transversal (cm ²)	Resistência a compressão (MPa)
1	75,27	7,37
2	76,66	8,00
3	76,82	7,56

Fonte: a autora.

Como pode ser observado na Tabela 5, os valores médios de resistência para o controle e para o concreto reciclado foram de 16,31 MPa e 7,64 MPa, respectivamente.

Estes valores estão abaixo de 20 MPa conforme indicado na NBR 6118/2003 referindo-se à resistência mínima para o concreto estrutural. Portanto o concreto estudado não poderia ser utilizado em vigas, pilares e lajes por não ter alcançado o valor mínimo.

6.1 Resistência do concreto convencional

O concreto convencional, utilizado como controle, obteve uma média de 16,31 MPa, valor abaixo do esperado que era 25 MPa para o tempo de 28 dias. Essa baixa resistência pode ter ocorrido pelo fato de todo o processo de produção dos corpos de prova terem sido realizados de forma manual e caseira, sem um adequado controle.

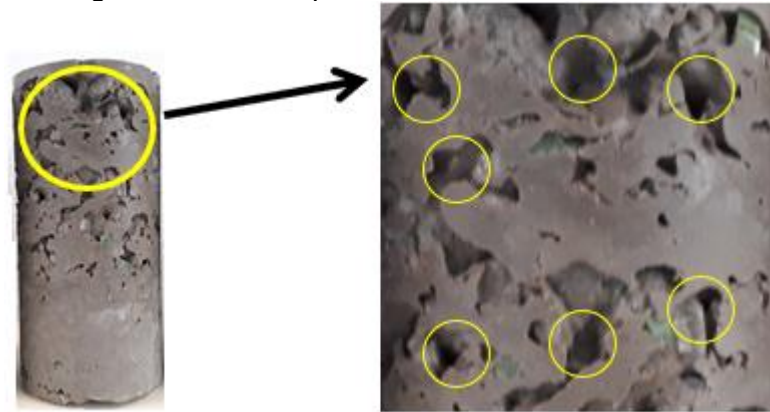
Diante disso, os materiais constituintes não foram misturados de forma ideal e, como consequência, ocorreu segregação ocasionando uma concentração de argamassa no fundo dos corpos de prova, diminuindo assim sua resistência.

6.2 Resistência do concreto reciclado

O concreto reciclado obteve uma média de resistência de 7,64 MPa, valor bem abaixo do concreto convencional testado, que foi de 16,31 MPa. Observou-se que o concreto reciclado de 20% de PET não obteve uma massa homogênea apresentando muitos vazios, fato que pode justificar a baixa resistência.

Esses vazios ou “brocas” como são mais conhecidos, identificados na Figura 12, podem ter sido causados porque o material plástico utilizado não se aglomerou de forma correta com os demais componentes do concreto. Isso pode ter acontecido devido a granulometria dos flocos de PET ou devido à baixa interação química entre o polímero e a matriz cimentícia.

Figura 12 - Vazios presentes no concreto reciclado



Fonte: a autora.

Outro motivo seria que durante o preenchimento dos moldes a distribuição dos golpes para o adensamento do concreto não tenha sido bem distribuída, deixando as partes mais próximas da forma sem compactação, proporcionando a formação dos espaços vagos.

Comparando os resultados obtidos com a literatura, observa-se que em todos os outros trabalhos estudados o processo de confecção do concreto foi realizado em betoneira, o que indica que a forma como a mistura é realizada pode sim influenciar diretamente no resultado, visto que quanto mais homogênea a massa melhor a trabalhabilidade e menor a formação de vazios.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para se obter 1kg de flocos de PET são necessárias 20 garrafas de refrigerante de 2L. No experimento foram utilizadas 29 garrafas para a confecção dos corpos de prova de concreto reciclado 20%. Para o traço utilizado no estudo estima-se que seriam utilizadas uma quantidade de 615 garrafas para o preparo de 1m³ de concreto reciclado, portanto essa quantidade de material plástico seria retirada do meio ambiente, gerando um novo produto e mobilizando a economia, principalmente de setores relacionados a reciclagem. Deste modo, mesmo que os resultados obtidos não tenham sido os ideais, sugere-se continuar a pesquisa para tentar melhorar a coesão e a resistência do concreto reciclado. Diante destes fatores, sugere-se alterar a granulometria do material utilizado, o modo de preparo e talvez escolher outro traço para estudo.

Portanto, para obtenção de um melhor resultado propõem-se realizar o experimento utilizando pó de plástico PET, para diminuir os vazios que foram observados nos corpos de prova e consequentemente obter uma mistura mais homogênea, isso porque quanto maior os vazios no concreto menor sua resistência e maiores as chances de surgirem patologias, devido ao fato de que as “brocas” podem armazenar água e além disso deixar a armadura exposta.

Como o experimento foi todo realizado de forma artesanal, sugere-se utilizar uma betoneira para realizar a mistura do concreto, visto que este processo é importante para obtenção de uma massa mais homogênea.

Sugestão para pesquisas futuras

- Usar pó de PET;
- Realizar todo o procedimento em betoneira;
- Escolher outro traço;
- Realizar um comparativo de custo entre o concreto convencional e o reciclado para determinar a sua viabilidade econômica.

REFERÊNCIAS

ABITANTE, ANDRÉ LUÍS; LISBOA, EDERVAL DE SOUZA. **Materiais de construção**. Porto Alegre: SER - SAGAH, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Janeiro de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Maio de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Março 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211 - Agregado para concreto**. Maio 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13230 - Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia**. Novembro de 2008.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (ABIPET). **Cartilha Reciclabilidade de materiais plásticos pós-consumo**. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/cartilha_reciclabilidade_abiplast_web.pdf>. Acesso em: 07 de junho de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (ABIPET). **Indústria do PET no Brasil**. Publicado em 2013. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/indexAjax.html?method=baixarArquivo&id=392>>. Acesso em: 01 de maio de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET 2 (ABIPET). **Resina PET - Fabricação**. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=65>>. Acesso em: 07 de junho de 2020.

BOTELHO, MANOEL HENRIQUE CAMPOS. **Concreto armado eu te amo – para arquitetos**. São Paulo: Blucher, 2016.

CALLISTER JUNIOR, WILLIAM D.; RETHWISCH, DAVID G.. **Ciência e engenharia de materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CAMPOS, MARCO ANTONIO; PAULON, VLADIMIR ANTONIO. **Utilização de agregados alternativos de isoladores elétricos de porcelana em concretos**. Concreto y Cemento - Investigación y Desarrollo, México, v. 7, n. 1, p. 30-43, dic. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112015000200002&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 15 de junho de 2020.

CORREA, PRISCILA MARQUES; SANTANA, RUTH MARLENE CAMPOMANES. **Reciclagem de PET, visando a substituição do agregado miúdo no concreto leve**. IX Simpósio Internacional de Qualidade de Ambiental, Energia e Ambiente. Porto Alegre/RS, de 19 a 21 de maio de 2014.

FRIGO, JULIANA PIRES; SILVEIRA, DJALMA SILVA DA. **Educação ambiental e construção civil: práticas de gestão de resíduos em foz do Iguaçu – PR.** revista Monografias Ambientais UFSM, v. 9, nº 9, p. 1938 - 1952, 2012.

GAUTO, MARCELO; ROSA, GILBER. **Química industrial.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

LISBOA, EDERVAL DE SOUZA; ALVES, EDIR DOS SANTOS MELO, GUSTAVO HENRIQUE ALVES GOMES DE. **Materiais de construção.** Porto Alegre: SER - SAGAH, 2017.

MENDES, MARCOS VINICIUS AGAPITO; SILVA, ANDRÉ CARLOS; BARBOSA, DIEGO HENRIQUE BRAGA MAYA. **Substituição do agregado miúdo por magnetita na composição do concreto.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

MODRO, N.L.R.I.; OLIVEIRA, A.P.N. **Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET.** Revista Matéria, v. 14, n. 1, pp. 725 – 736, 2009.

PARIZOTTO, LIANA. **Concreto Armado.** Porto Alegre: SER - SAGAH, 2017.

PILOTTO NETO, EGYDIO. **Caderno de Receitas de Concreto Armado.** v.1. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PINHEIRO, ANTONIO CARLOS DA FONSECA BRAGANÇA; CRIVELARO, MARCOS. **Materiais de construção.** São Paulo: Erica, 2016.

TWEDE, DIANA; GODDARD, RON. **Materiais para embalagens.** São Paulo: Blucher, 2010.

REVISTA VEJA. **Com juro menor, PIB da construção civil tem maior nível desde 2013.** Por Felipe Mendes, publicado em 04 de março de 2020. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/economia/com-juro-menor-pib-da-construcao-maior-nivel-desde-2013/>>. Acesso em: 29 de abril de 2020.

VASCONCELOS, YURI. Planeta plástico. Revista Pesquisa FAPESP, edição 281, publicado em julho de 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2019/07/08/planeta-plastico/>>. Acesso em: 29 de abril de 2020.

WORLD WILDLIFE FUND BRASIL (WWF Brasil). **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.** Publicado em 04 de março de 2019. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>>. Acesso em: 29 de abril de 2020.