



MESTRADO PROFISSIONAL
EM
MATERIAIS

UniFOA
Centro Universitário
de Volta Redonda

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR POLIETILENO TEREFTALATO MICRONIZADO, PARA FINS ESTRUTURAIS

Weslen Neri de Lima

**Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro
(04/10/2019 à 18/12/2020)**

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Freitas Cabral
(14/12/2017 à 01/08/2019)**

**Volta Redonda
2020**

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO POR POLIETILENO TEREFTALATO MICRONIZADO, PARA FINS ESTRUTURAIS



Weslen Neri de Lima

Orientador: Dr. Sérgio Roberto Montoro



CENÁRIO ATUAL

- O crescimento do volume de garrafas de plástico (polietileno tereftalato (PET)) leva a falta de espaço para sua melhor reciclagem ambiental.
- Segundo a ABRETE (2015) 99% das garrafas de PET são viradas em aterro.
- O setor da construção é responsável por 20% da geração dos resíduos sólidos em aterros e em aterros ambientais adequados.

JUSTIFICATIVA

Um dos problemas ambientais surge a necessidade de desenvolver meios que favoreçam a preservação ambiental, através do uso consciente dos materiais.

Entre as muitas opções para o destino final de resíduos podem ser citadas o descarte dos materiais em aterros, a reciclagem, entre outros de acordo com a necessidade do sistema de gestão ambiental, visando a preservação da natureza.

OBJETIVOS

- Objetivo Geral: Desenvolver e caracterizar um compósito com fibras de polietileno tereftalato (PET) micronizado em concreto para fins estruturais.
- Objetivos Específicos: Avaliar a resistência mecânica e a consistência do concreto com a substituição do agregado miúdo por PET micronizado.

ÁREA DE ESTUDO

- PET
- Concreto de Cimento Portland
- Concreto Para Fins Estruturais
- Achimento Esbitular

MATERIAIS E MÉTODOS

- Fluxograma do Trabalho
- Materiais Utilizados
- Métodos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Distribuição Granulométrica
- Ensaio de Resistência Mecânica
- Ensaio de Consistência do Concreto
- Resultados MEV

CONCLUSÕES

Conclui-se que a substituição do agregado miúdo por PET micronizado em concreto para fins estruturais é viável, desde que se observe a consistência do concreto e a resistência mecânica.

BIBLIOGRÁFICAS

- ABRETE (2015) Relatório de Sustentabilidade. Disponível em: <http://www.abrete.org.br/>
- BRASIL (2010) Resolução CONAMA nº 307. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2012) Resolução CONAMA nº 431. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2013) Resolução CONAMA nº 486. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2014) Resolução CONAMA nº 530. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2015) Resolução CONAMA nº 585. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2016) Resolução CONAMA nº 630. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2017) Resolução CONAMA nº 680. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2018) Resolução CONAMA nº 730. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2019) Resolução CONAMA nº 780. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2020) Resolução CONAMA nº 830. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2021) Resolução CONAMA nº 880. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2022) Resolução CONAMA nº 930. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2023) Resolução CONAMA nº 980. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2024) Resolução CONAMA nº 1030. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>
- BRASIL (2025) Resolução CONAMA nº 1080. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/>

CENÁRIO ATUAL

- O crescimento de rejeitos de garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) levou a tomada de iniciativas sendo dada melhor importância ao tema.
- Segundo a ABIPET (2015) 49% das garrafas de PET não são recicladas no Brasil.
- O setor da construção é responsável por consumir uma grande parte dos recursos naturais não renováveis e de gerar impactos ambientais significativos

JUSTIFICATIVA

- Diante dos problemas expostos surge a necessidade de desenvolver meios que favoreçam a preservação ambiental, através do uso consciente dos resíduos
- Entre as escolhas possíveis para o destino final de resíduos podem-se destacar a descensão dos resíduos/rejeitos em aterros e a reciclagem que, além de diminuir a necessidade de geração de novos aterros, possibilita a diminuição da aplicação de novos recursos naturais não renováveis

OBJETIVOS

- Objetivou-se neste trabalho, o desenvolvimento e caracterização de um composto confeccionado de concreto com substituição da areia natural ou agregado miúdo proveniente dos leitos dos rios por PET micronizada com possibilidade compossível com as do concreto sem adições buscando finalidades estruturais.

GERAL

A finalidade desta dissertação é avaliar as propriedades de um concreto feito com substituição de uma fração do agregado miúdo (areia natural) por areia de PET micronizado para finalidades estruturais.

ESPECÍFICO

- A influência do adensamento de matrizes poliméricas resultados (PET micronizado) nas propriedades do concreto.

- Comparar com o meio técnico proposto e avaliando um material que seja como objetivo uma inovação tecnológica e ambiental no âmbito do setor de construção civil no segmento de edificações.

- Verificar o desempenho técnico, a resistência e sustentabilidade, finalidades estruturais, através de testes e ensaios.

GERAL

A finalidade desta dissertação é avaliar as propriedades de um concreto feito com substituição de uma fração do agregado miúdo (areia natural) por areia de PET micronizado para finalidades estruturais.

ESPECÍFICO

- A influência do acréscimo de materiais poliméricos reciclados (PET micronizado) nas propriedades do concreto.
- Contribuir com o meio técnico propondo e avaliando um material que terá como objetivo uma inovação tecnológica que auxilie na diminuição do impacto ambiental na engenharia civil no segmento de construção civil.
- Verificar se o composto atingirá a resistência e consistência para finalidades estruturais conforme ABNT NBR 8953: 2015.

ÁREA DE ESTUDO

→ PET

→ Concreto de Cimento Portland

→ Concreto Para Fins Estruturais

→ Elemento Estrutural

Elemento Estrutural

• Elemento estrutural é cada uma das partes diferenciadas ainda que vinculadas nas quais pode ser dividida uma estrutura para efeitos de seu projeto. O projeto e cálculo destes elementos é feito de acordo com os princípios da engenharia estrutural e a resistência dos materiais.



PET

O PET é, então, o polímero composto pela reação do ácido tereftálico e pelo etileno glicol.
No ano de 1941 os grandes químicos Whinfield e Dickson criaram o material plástico polietileno.

Concreto Para Fins Estruturais

Conforme ABNT NBR 8953:2015, o concreto pode ser decomposto em três classes de acordo com a sua função ou uso, em função da sua:

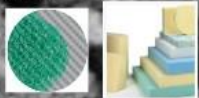
PET

- O PET é, então, o polímero composto pela reação do ácido tereftálico e pelo etilenoglicol;
- No ano de 1941 os grandes químicos Whinfield e Dickson criaram o material plástico polietileno tereftalato, tratando-se pela sigla (PET);
- O Polietileno Tereftalato é um polímero cristalino e tem suas características dependentes do ponto de cristalinidade que chega após a transformação, até 40%.

PET micronizado

- PET micronizado é o produto da micronização do Polietileno Tereftalato (PET) com objetivo de diversificação do uso no seguimento do comércio na sua produção final.

- O PET micronizado foi criado inicialmente como matéria prima na industrialização de Espumas de poliestireno.



Fonte: MICROPET, 2019

Reciclagem do PET

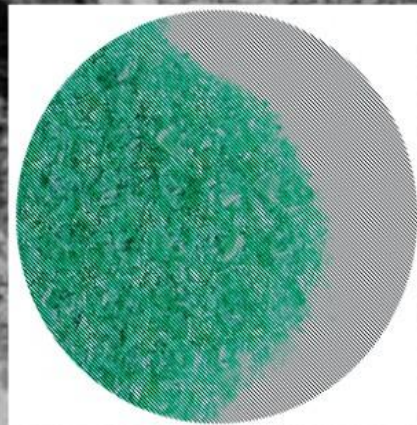
A maior porcentagem da reciclagem de PET é a partir de materiais, usados em embalagens plásticas, que ainda o petróleo e esta segunda camada.

Ano	Massa Reciclada (t)	Taxa de Reciclagem (%)
2007	250	24,8
2008	262	25,8
2010	282	28,8
2011	282	27,7
2012	331	30,8
2014	314	-
2015	378	33,8

Fonte: ABS ET, 2016

PET micronizado

- PET micronizado é o produto da micronização do Polietileno Tereftalato (PET) com objetivo de diminuição de custo no seguimento colchoeiro na sua produção final;
- O PET micronizado foi criado unicamente como matéria prima na industrialização de Espumas de poliuretano.



Fonte: MICROPET, 2019

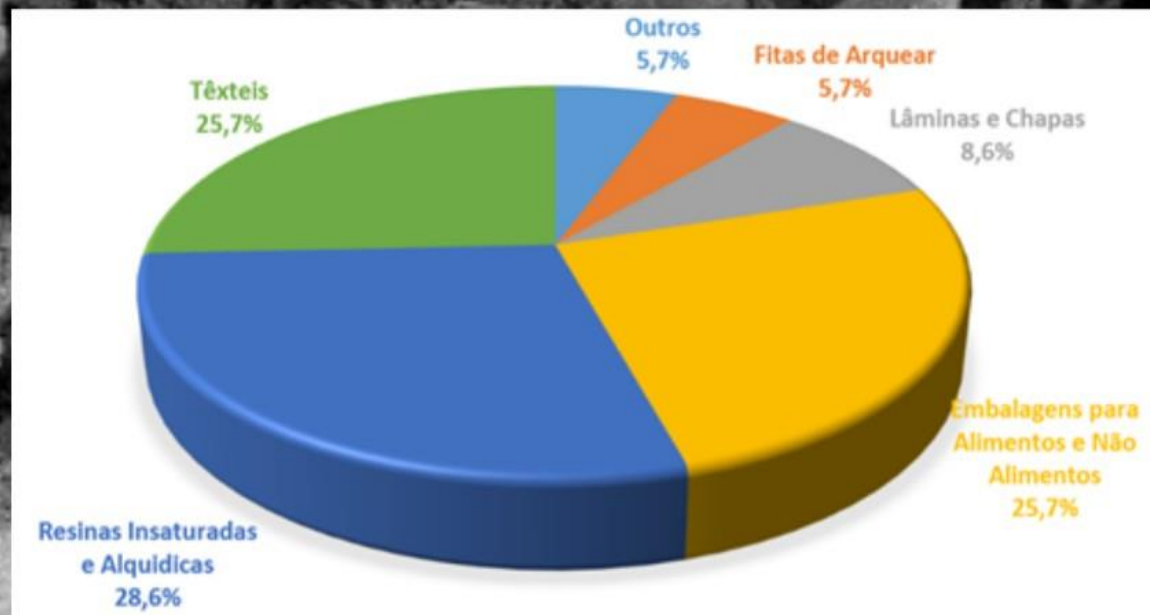
Reciclagem do PET

- A maior complexidade da reciclagem de PET é a oferta de material, apesar do aumento dos últimos anos, ela ainda é retraída e está aquém da carência;

Ano	Massa Reciclada (t)	Taxa de Reciclagem (%)
2008	253	54,8
2009	262	55,6
2010	282	55,8
2011	294	57,1
2012	331	58,9
2014	314	-
2015	274	51,0

Fonte: ABIPET, 2016

Aplicações do PET Reciclado



Fonte: ABIPET, 2015

Concreto de Cimento Portland

- O concreto é uma matéria composta, constituída por aglomerante (cimento), água limpa, areia natural (agregado miúdo) e pedra ou brita (agregado graúdo).
- O compósito pode também incluir adições e aditivos químicos, com o objetivo de melhorar ou mudar suas propriedades básicas.

Tipos de Cimento

CLASSIFICAÇÃO ABNT	Tipo	Resistência característica (MPa)	Resistência mínima (MPa)	Resistência máxima (MPa)	Composição (%)
CP II	Comum	30	25	35	1-10
CP II-F	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-3	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-4	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-5	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-6	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-7	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-8	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-9	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-10	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-11	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-12	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-13	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-14	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-15	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-16	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-17	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-18	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-19	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-20	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-21	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-22	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-23	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-24	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-25	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-26	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-27	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-28	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-29	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-30	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-31	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-32	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-33	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-34	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-35	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-36	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-37	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-38	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-39	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-40	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-41	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-42	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-43	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-44	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-45	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-46	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-47	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-48	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-49	Resistência	30	25	35	1-10
CP II-50	Resistência	30	25	35	1-10

Fonte: ABCP, 2015

Tipos de Aditivo

ADITIVO	Função
PA	Aditivo Plastificante
RE	Aditivo Retardante
AC	Aditivo Acelerante
FE	Aditivo Espumante
FA	Aditivo Aerante
ME	Aditivo Modificador de Módulo
MP	Aditivo Superplastificante
MS	Aditivo Superplastificante Modificado
MA	Aditivo Superplastificante Modificado

Fonte: ABNT NBR 11768, 2011

Tipos de Cimento

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clinker + gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I - S	Comum	95 - 99	1 - 5	1 - 5	1 - 5
CP II - E	Composto	56 - 94	6 - 34	-	0 - 10
CP II - Z	Composto	76 - 94	-	6 - 14	0 - 10
CP II - F	Composto	90 - 94	-	-	6 - 10
CP III	Alto-forno	25 - 65	35 - 70	-	0 - 5
CP IV	Pozolânico	45 - 85	-	15 - 50	0 - 5
CP V - ARI	Alta resistência inicial	95 - 100	-	-	0 - 5

Fonte: ABCP, 2018

Tipos de Aditivo

ADITIVOS	
TIPO	FUNÇÃO
P	Aditivo Plastificante
R	Aditivo Retardador
A	Aditivo Acelerador
PR	Plastificante Retardador
PA	Plastificante Acelerador
IAR	Aditivo Incorporador de Ar
SP	Aditivo Superplastificante
SPR	Aditivo Superplastificante Retardador
SPA	Aditivo Superplastificante Acelerador

Fonte: ABNT NBR 11768, 2011

Concreto Para Fins Estruturais

Conforme ABNT NBR 8953:2015, o concreto pode ser decomposto em três classes de acordo com a sua função, ou seja, em função da sua:

- massa específica,
- resistência à compressão e
- consistência.

Consistência

Os concretos são classificados quanto sua consistência no regime ou estado líquido, definido a partir da análise de sua deformação sob o efeito de uma dada carga para a ABNT NBR 8953:2015.

Classe	Intervalo (%)	Descrição
CS	81 a 100	Devido à baixa deformabilidade e alta rigidez
CSL	55 a 80	Apresenta boa a excelente e máxima a fluidez
CSM	35 a 50	Devido à baixa deformabilidade e alta rigidez
CSL	10 a 30	Devido à baixa deformabilidade e alta rigidez
CSM	> 10	Devido à baixa deformabilidade e alta rigidez

Fonte: ABNT NBR 8953:2015

Resistência à compressão

As classes de resistências de compressão com finalidades estruturais são classificadas em grupos I e II, conforme a resistência característica à compressão (f_{cd}).

Classe de resistência	Resistência característica à compressão (f _{cd})	Classe de resistência	Resistência característica à compressão (f _{cd})
CS20	20	CS30	30
CS25	25	CS35	35
CS30	30	CS40	40
CS35	35	CS45	45
CS40	40	CS50	50
CS45	45	CS55	55
CS50	50	CS60	60

Fonte: ABNT NBR 8953:2015

Massa específica

Concreto	Massa Específica
Normal (C)	2300 kg/m ³ a 2380 kg/m ³
Concreto leve (CL)	1800 kg/m ³
Concreto pesado ou denso (CD)	2300 kg/m ³

Fonte: ABNT NBR 8953:2015

Massa específica

Concreto	Massa Específica
Normal (C)	2000 kg/m ³ e 2800 kg/m ³
Concreto leve (CL)	Inferior 2000 kg/m ³
Concreto pesado ou denso (CD)	Superior 2800 kg/m ³

Fonte: ABNT NBR 8953, 2015

Resistência à compressão

- As classes de resistências de compósitos com finalidades estruturais são classificadas nos grupos I e II, conforme a resistência características à compressão (F_{ck}).

Classe de resistência GRUPO I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência GRUPO II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT NBR 8953, 2015

Consistência

- Os concretos são classificados quando sua consistência no regime ou estado fresco, definida a partir da análise de abatimento do troco de cone definida pela ABNT NBR NM 67.

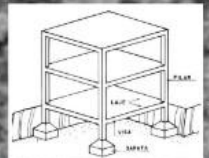
Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
Nota 1	De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento	
Nota 2	Os exemplos desta tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicação	

Fonte: ABNT NBR 8953, 2015

Elemento Estrutural

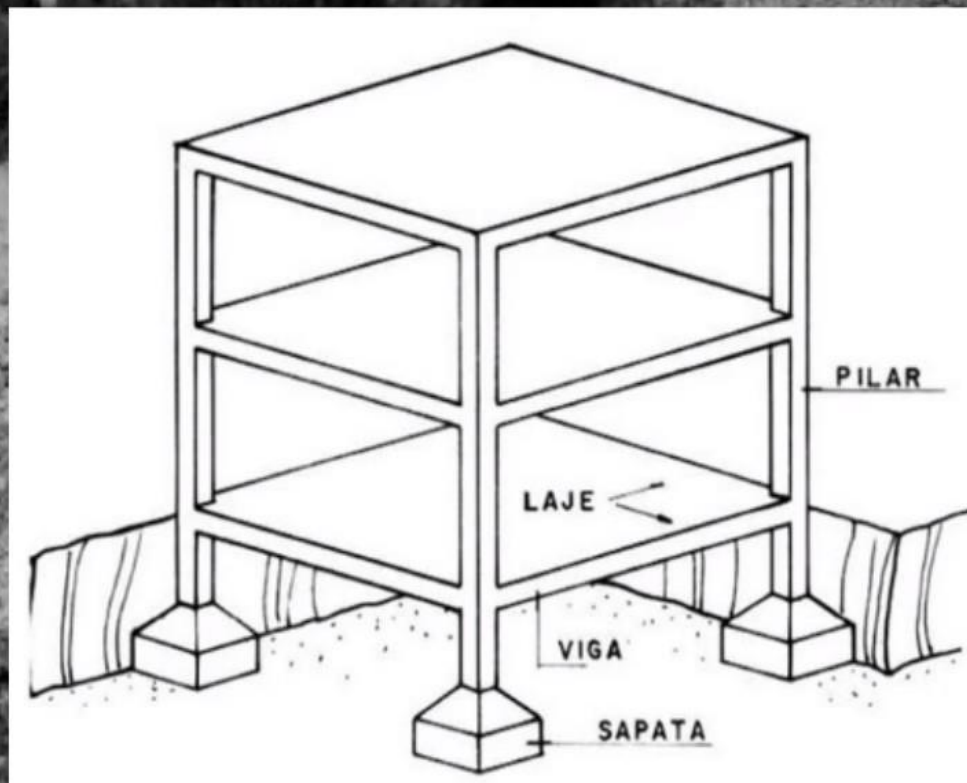
- Elemento estrutural é cada uma das partes diferenciadas ainda que vinculadas nas quais pode ser dividida uma estrutura para efeitos de seu projeto. O projeto e cálculo destes elementos é feito de acordo com os princípios da engenharia estrutural e a resistência dos materiais.

Tipos de Elementos Estruturais



Fonte: [illegível]

Tipos de Elementos Estruturais



Fonte: SlidePlayer, 2019

MATERIAIS E MÉTODOS

- Fluxograma do Trabalho
- Materiais Utilizados
- Métodos

Fluxograma

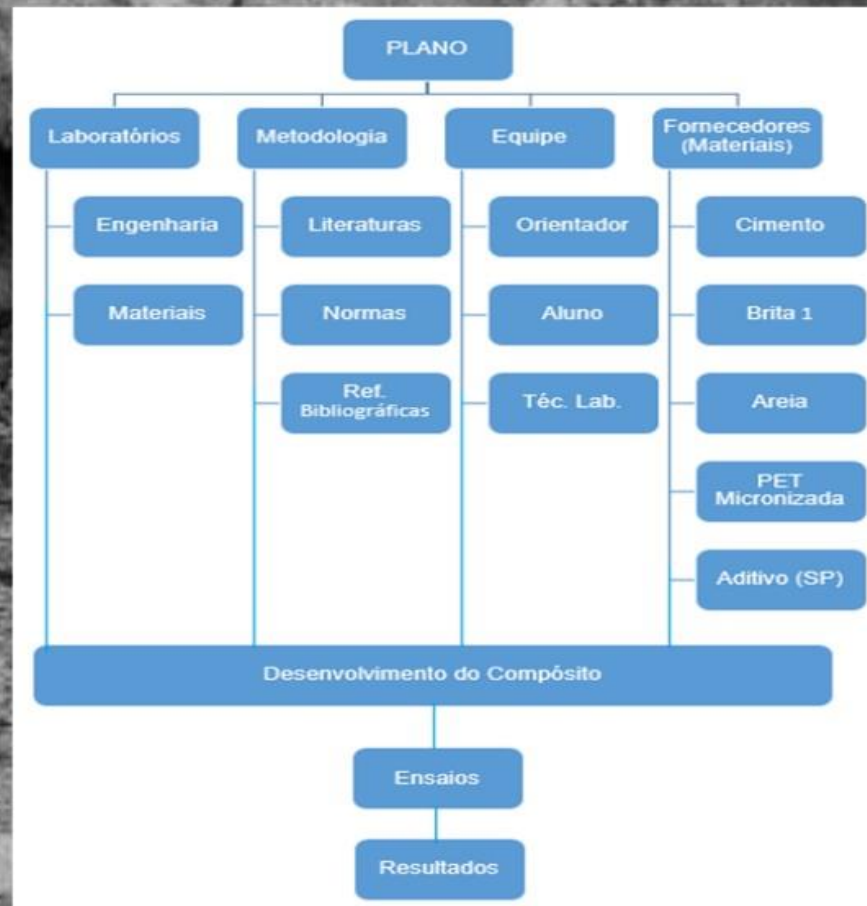


Fonte: Auta, 2009

Materiais Utilizados

- Cimento
- Brita 1

Fluxograma



Fonte: Autor, 2020

Materiais Utilizados

- Cimento
- Brita 1
- Areia
- PET micronizado
- Aditivo

Cimento CP III



Fonte: CSH, 2019

Agregado

Brita 1

Areia



Fonte: Autor, 2019

PET micronizado

- Linha PET micronizada MP - 05 e com granulometria entre 270# (0,051mm) a 400# (0,037mm).



Fonte: Autor, 2019

Aditivo

- Aditivo utilizado foi o Super Plastificante

Cimento CP III



TIPO DE CIMENTO	CLINQUER E GESSO	ESCÓRIA GRANULADA DE ALTO-FORNO				MATERIAL CARBONÁTICO
CP III	25 - 65%	35 - 70%				0 - 5%

TIPO DE CIMENTO	Classe	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO				FINURA Resíduo na Peneira 75 µm	TEMPO DE PEGA		EXPANSIBILIDADE	
		MPa 3 dias	MPa 7 dias	MPa 28 dias	MPa 91 dias		Início (horas)	Fim (horas)	À frio (mm)	À quente (mm)
CP III	40	≥ 12	≥ 23	≥ 40	≥ 48	≤ 8,0	≥ 1	≤ 12	≤ 5	≤ 5
	32	≥ 10	≥ 20	≥ 32	≥ 40					

Fonte: CSN, 2019

Agregado

Brita 1



Areia



Fonte: Autor, 2020

PET micronizado

- Linha PET micronizada MP - 05 e com granulometria entre 270# (0,052mm) a 400# (0,037mm).



Fonte: Autor, 2020

Aditivo

- Aditivo utilizado foi o Super Plastificante (SP) Sulfocim NSS 40, fornecido pela empresa Sisterquímica.



Aspecto Físico	Não Voláteis	pH(100%)	Densidade(g/cm ³)	Sulfato de Sódio
Líquido marrom	39,0 - 41,0 %	7,0 - 9,0	1.205 - 1.225	Máximo 7,0 %

Fonte: Sisterquímica, 2019

Métodos

a) Normas de engenharia

b) Laboratórios e equipamentos

c) Traços do compósito

d) Conformação dos CPs

e) Ensaios

Normas de engenharia

- NBR 5738:
 - Características das Formas
 - Preparação dos Moldes
 - Mistura e Adesão do Concreto
 - Abastecimento
 - Modo de Estocagem dos Corpos de Prova
 - Lançamento na Câmara Úmida
- NBR NM 67:
 - Método de Abatimento do Tronco de Cone
- NBR 5739:
 - Ensaios de Compressão - Rompimento a 7 dias de Cura

Laboratórios e Equipamentos

Para esta etapa, são listados os equipamentos do UNIFPA e da UES, usados na preparação e produção do compósito. Laboratório de Engenharia Civil do Centro Universitário Unifpa de São José, laminagem, compactação, conformação e massa. Conforme as normas (NBR 5738:2015, NBR 5739: 2007) e laboratório de Materiais - CII para realização de MEV do Centro Universitário de Volta Redonda (univred.org.br/quimica).



Fonte: Autor, 2019

Ensaios

Esta etapa trata dos ensaios de:

- Análise de distribuição granulométrica;
- Resistência mecânica (NBR 5739: 2007);
- Abatimento do tronco do cone (NBR NM 67: 1998);
- Análise morfológica através do MEV.

Traços do compósito

CP	Matriz (cimento/areia)	Fibra	% de fibra no compósito	
			em peso	em volume
CP 1	100/100	0	0	0
CP 2	100/100	10	10	10
CP 3	100/100	20	20	20
CP 4	100/100	30	30	30
CP 5	100/100	40	40	40

Fonte: Autor, 2019

Conformação dos CPs



Fonte: Autor, 2019

Normas de engenharia

→ NBR 5738:

- Características das Fôrmas
- Preparação dos Moldes
- Mistura e Adequação do Concreto
- Adensamento
- Local de Estocagem dos Corpos de Prova
- Lançamento na Câmara Úmida

→ NBR NM 67:

- Método de Abatimento do Tronco de Cone

→ NBR 5739:

- Ensaio de Compressão -
Rompimento a “j” dias de Cura

Laboratórios e Equipamentos

Equipamentos de Ensaios
Mecânicos e MEV



Fonte: Autor, 2019

- Nesta seção, são listados os equipamentos do UniFOA e da UGB, usados na preparação e produção do compósito. Laboratório de Eng.^a Civil do Centro Universitário Geraldo Di Biase (armazenagem, preparação, conformação e ensaios) conforme as normas (NBR5738,2015; NBR5739, 2007) e laboratório de Materiais – CIT para realização do MEV, do Centro Universitário de Volta Redonda (análises morfológica e química).



Fonte: Autor, 2020

Equipamentos de Ensaios Mecânicos e MEV



Fonte: Autor, 2020

Traços do compósito

Compósito I

Quantidade	Objetivo	Quantidade	Objetivo	Quantidade	Objetivo
10	Compressão	10	Compressão	10	Compressão
6	Análise morfológica	6	Análise morfológica	6	Análise morfológica

Fonte: Autor, 2019

Compósito II

Quantidade	Objetivo	Quantidade	Objetivo	Quantidade	Objetivo
10	Compressão	10	Compressão	10	Compressão
6	Análise morfológica	6	Análise morfológica	6	Análise morfológica

Fonte: Autor, 2019

Compósito III

Quantidade	Objetivo	Quantidade	Objetivo	Quantidade	Objetivo
10	Compressão	10	Compressão	10	Compressão
6	Análise morfológica	6	Análise morfológica	6	Análise morfológica

Fonte: Autor, 2019

CPs	Destino (Ensaio / Análise)	Qt. Mínima	Qt. CPs x Qt. Rompimento x Qt. adições	Qt. CPs
CPs sem Aditivo	Compressão (axial 7, e 28dd).	10	5 x 2 x 4	40
CPs 1,5% Aditivo	Compressão (axial 7, e 28dd).	10	5 x 2 x 4	40
CPs 3,0% Aditivo	Compressão (axial 7, e 28dd).	10	5 x 2 x 4	40
Amostra	Análise morfológica (0,5,10 e 15%)	6	6 x 4	24

TRAÇO EM VOLUME

Para 1 metro cúbico				Para 1 kg de cimento		
Cimento(kg)	Areia (litros)	Brita (litros)	Água(litros)	Areia(litros)	Brita(litros)	a/c
374,00	628,00	660,00	206,00	1,679	1,765	0,55

Fonte: Autor, 2020

Compósito I

COMPÓSITO I					
Material	Traço Referente - TR (1kg de cimento)	Quantidade estimada para 10 CPs - Traço Referência (TR)	Traço 5% PET micronizado	Traço 10% PET micronizado	Traço 15% PET micronizado
Cimento	1,00 kg	9,350 kg	9,350 kg	9,350 kg	9,350 kg
Areia	1,679 L	15,699 L	14,914 L	14,1291 L	13,3442 L
Brita 1	1,765 L	16,503 L	16,503 L	16,503 L	16,503 L
Água	0,55 L	5,143 L	5,143 L	5,143 L	5,143 L
a/c	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
PET micronizado	-	-	0,785 L	1,5699 L	2,3548 L

Fonte: Autor, 2020

Compósito II

COMPÓSITO II					
Material	Traço Referente - TR (1kg de cimento)	Quantidade estimada para 10 CPs - Traço Referência (TR)	Traço 5% PET micronizado	Traço 10% PET micronizado	Traço 15% PET micronizado
Cimento	1,00 kg	9,350 kg	9,350 kg	9,350 kg	9,350 kg
Areia	1,679 L	15,699 L	14,914 L	14,1291 L	13,3442 L
Brita 1	1,765 L	16,503 L	16,503 L	16,503 L	16,503 L
Água	0,55 L	5,143 L	5,143 L	5,143 L	5,143 L
a/c	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
PET micronizado	-	-	0,785 L	1,5699 L	2,3548 L
Aditivo (SP) - 1,5%	0,015 L	0,1403 L	0,1403 L	0,1403 L	0,1403 L

Fonte: Autor, 2020

Compósito III

COMPÓSITO III					
Material	Traço Referente - TR (1kg de cimento)	Quantidade estimada para 10 CPs - Traço Referência (TR)	Traço 5% PET micronizado	Traço 10% PET micronizado	Traço 15% PET micronizado
Cimento	1,00 kg	9,350 kg	6,233 kg	6,233 kg	6,233 kg
Areia	1,679 L	15,699 L	14,914 L	14,1291 L	13,3442 L
Brita 1	1,765 L	16,503 L	16,503 L	16,503 L	16,503 L
Água	0,55 L	5,143 L	5,143 L	5,143 L	5,143 L
a/c	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
PET micronizado	-	-	0,785 L	1,5699 L	2,3548 L
Aditivo (SP) - 3,0%	0,030 L	0,2805 L	0,2805 L	0,2805 L	0,2805 L

Fonte: Autor, 2020

Conformação dos CPs



Fonte: Autor, 2020

Ensaaios

Esta etapa trata dos ensaios de:

- Análise de distribuição granulométrica;
- Resistência mecânica (NBR5739, 2007);
- Abatimento do tronco do cone (NBR NM 67, 1998);
- Análise morfológica através do MEV.

Análise de distribuição granulométrica

A ABNT NBR NM 248:2003, prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados mistos e suas frações areia e silte.

Para essa análise, as amostras foram inicialmente submetidas ao processo de peneiragem na balança da marca Bel Mark 5000 de agregados mistos e gravadas. Depois, as pedras foram submetidas ao processo no agitador de pedras da marca H.Roth de forma decrescente. Posteriormente, foram secadas durante dez minutos na prensa para um modo automático de aquecimento a temperatura de 110 °C.



Fonte: Autor 2019

Resistência mecânica à compressão

Foram realizados ensaios de resistência à compressão (ensaios C) CP, foi utilizado o equipamento de prensa hidráulica, até o seu rompimento com o registro da tensão.



Fonte: Autor 2019

Abatimento do tronco do cone

Após a mistura foi realizado o abatimento do concreto (Slump Test) ou ensaio do abatimento do tronco de cone em conformidade para verificar a qualidade do concreto em seu estado plástico, medindo sua consistência e avaliando se está aderente à pá e se está aderente ao molde para a cura.



Fonte: Autor 2019

Análise morfológica através do MEV

Com o objetivo de verificar a incorporação do PET reutilizado no concreto e sua interação com os agregados e adjuvantes na pasta e zona de transição, foram realizadas análises por MEV.



Análise de distribuição granulométrica

- A ABNT NBR NM 248: 2003, prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e grãos para concreto.
- Para essa análise, os agregados foram inicialmente submetidos ao processo de pesagem na balança da marca Bel Mark 5200 de agregados miúdos e grãos. Depois, as peneiras foram individualmente introduzidas no agitador de peneira da marca H.Roth de forma decrescente. Posteriormente, foram recolocadas durante dez minutos na peneira para um novo processo de pesagem na frequência de 15 Hz.



Fonte: Autor, 2020

Resistência mecânica à compressão

- Foram realizados ensaios de resistência a compressão (axial). O CP foi submetido à compressão via prensa hidráulica, até o seu rompimento com o registro da tensão.



Fonte: Autor, 2020

Abatimento do tronco do cone

- Após a mistura foi realizado o abatimento do concreto (Slump Test) ou ensaio do abatimento do tronco de cone e conforme, para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, medindo sua consistência e avaliando se está adequada para determinado uso na engenharia civil.



Fonte: Autor, 2020

Análise morfológica através do MEV.

- Com o objetivo de verificar a incorporação do PET micronizado no compósito e sua interação com os agregados e aglomerantes na pasta e zona de transição, foram realizadas análises por MEV.



Fonte: Autor, 2020

Distribuição Granulométrica

- Granulometria do Agregado Miúdo e Graúdo
- Granulometria do PET micronizado

Granulometria do Agregado Miúdo e Graúdo

Agregado Miúdo

- Área Grossa - Mf (m) = 3,31 e 4,05
- Área Média - Mf (m) = 2,40 e 3,300 mm (e) = 0,075 mm
- Área Fina - Mf (m) = 0,075 e 2,40

- Área Média - Mf (m) = 0,075 e 1,00
A área média é a soma das áreas finas e médias com o módulo de finura (MF) de 3,75

Agregado Graúdo

- Área G - 4,8 e 9,5 mm
- Área I - 9,5 e 19,0 mm
- Área 2 - 19,0 e 25,0 mm
- Área 3 - 25,0 e 50,0 mm
- Área 4 - 50,0 e 75,0 mm

A área utilizada refere-se à classificação com base 1, com o tamanho máximo do agregado de 19,0 mm.

Granulometria do PET micronizado

A granulometria do PET micronizado foi utilizada para confirmar a distribuição com base 1 e para determinar a granulometria entre 20 e 100 micrometros (µm).

Tamanho (µm)	Porcentagem Retida (%)	Porcentagem Passada (%)	Porcentagem Retida (%)
20	0,0	100,0	0,0
25	0,0	100,0	0,0
30	0,0	100,0	0,0
35	0,0	100,0	0,0
40	0,0	100,0	0,0
45	0,0	100,0	0,0
50	0,0	100,0	0,0
55	0,0	100,0	0,0
60	0,0	100,0	0,0
65	0,0	100,0	0,0
70	0,0	100,0	0,0
75	0,0	100,0	0,0
80	0,0	100,0	0,0
85	0,0	100,0	0,0
90	0,0	100,0	0,0
95	0,0	100,0	0,0
100	0,0	100,0	0,0

Fonte: NBR 12219

O PET micronizado utilizado em amarelo foi classificado como material muito fino com base 1 e MF = 1,05.

Granulometria do Agregado Miúdo e Graúdo

Agregado Miúdo

- Areia Grossa = MF entre 3,35 e 4,05
- **Areia Média = MF entre 2,40 e 3,35 ($0,2\text{mm} < d \leq 0,6\text{mm}$)**
- Areia Fina = MF entre 1,97 e 2,40
- Areia muito fina = MF abaixo de 1,97

A areia utilizada nos ensaios foi classificada como areia média com módulo de finura (MF) de 2,96.

Agregado Graúdo

- Brita 0 = 4,8 a 9,5mm
- **Brita 1 = 9,5 a 19,0mm**
- Brita 2 = 19,0 a 25,0mm
- Brita 3 = 25,0 a 50,0mm
- Brita 4 = 50,0 a 76,0mm

A brita utilizada nos ensaios foi classificada como brita 1, com diâmetro máximo do agregado de 19,0mm.

Granulometria do PET micronizado

- A granulometria do PET micronizado foi analisada para confirmar se está de acordo com que o fabricante fornece com granulometria entre 270# (0,052mm) a 400# (0,037mm)

Malha (mm)	Peso do Material Retido (g)	% Retida	% Acumulada
*2,0	0,0	0,00	0,00
*1,20	0,0	0,00	0,00
*0,60	0,0	0,00	0,00
*0,42	0,0	0,00	0,00
*0,25	6,4	6,40	6,40
*0,15	10,7	10,70	17,10
*0,06	44,2	44,20	61,30
*0,002	23,4	23,40	84,70
Fundo	15,3	15,30	100,00
TOTAL	100,0	100,0	-

Fonte: Autor, 2020

- O PET micronizado utilizada nos ensaios foi classificada como material muito fino, com módulo de finura (MF) = 1,695.

Ensaio de Resistência Mecânica

- Neste trabalho considerou-se como referenciais para avaliação dos resultados das resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) o valor de 20MPa, o mínimo permitido como resistência para estruturas com finalidades estruturais, conforme item 4.6, concreto com classe C20. O ensaio fornecerá a resistência do concreto aos 7 e aos 28 dias (f_{cj}), onde a equação 3 calculará o f_{ck} para classificação do concreto quanto a resistência conforme item 4.7, ABNT NBR 12655:

$$f_{ck} = f_{cj} - 1,65 \text{ sd} . \quad \text{Eq. 3}$$

Resistência à Compressão do Compósito I

Idade (dias)	Resistência Característica (MPa)	Resistência Média (MPa)	Resistência Mínima (MPa)	Resistência Máxima (MPa)
7	20,0	22,0	18,0	24,0
28	20,0	22,0	18,0	24,0

Fonte: Autor, 2019.

Resistência à Compressão do Compósito II

Idade (dias)	Resistência Característica (MPa)	Resistência Média (MPa)	Resistência Mínima (MPa)	Resistência Máxima (MPa)
7	20,0	22,0	18,0	24,0
28	20,0	22,0	18,0	24,0

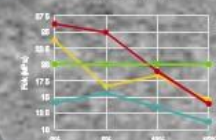
Fonte: Autor, 2019.

Resistência à Compressão do Compósito III

Idade (dias)	Resistência Característica (MPa)	Resistência Média (MPa)	Resistência Mínima (MPa)	Resistência Máxima (MPa)
7	20,0	22,0	18,0	24,0
28	20,0	22,0	18,0	24,0

Fonte: Autor, 2019.

Resistência Característica à Compressão dos Compositos

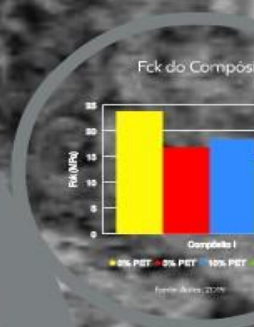


Percentagem de Adição de FET: 0%
 • Compósito I
 • Compósito II
 • Compósito III

Resistência à Compressão do Compósito I

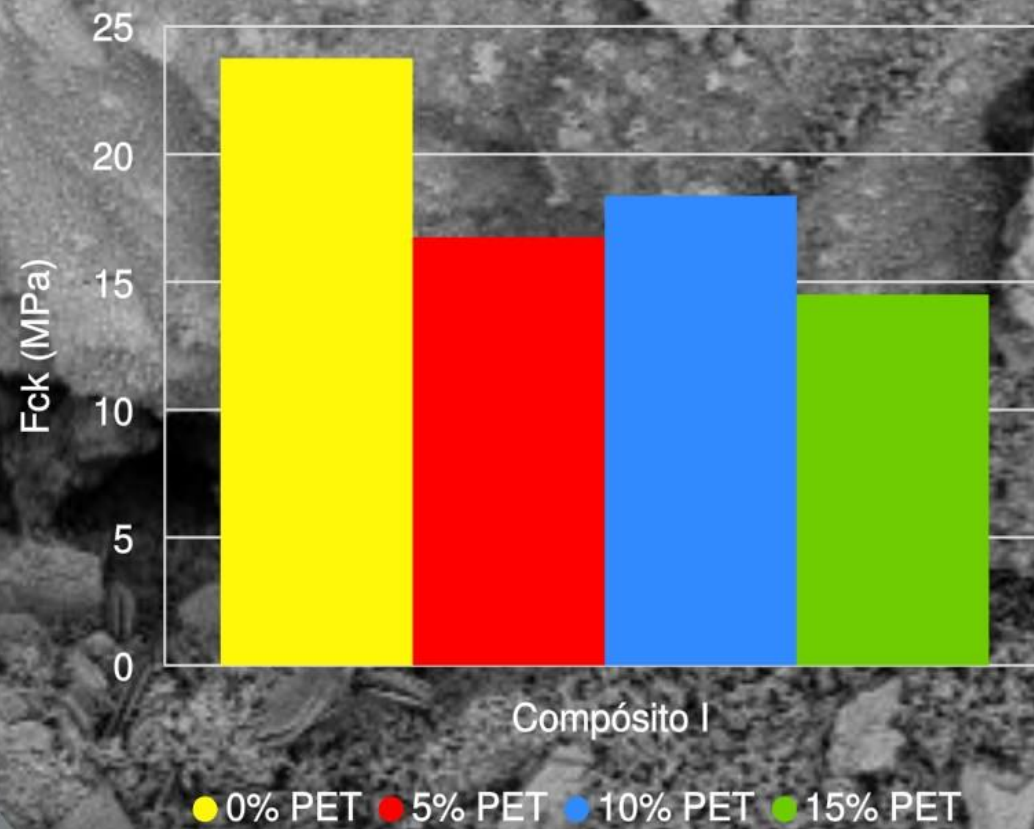
COMPÓSITO I								
Composição	Idade	Resistência CPs (MPa)					Média (MPa)	Desvio Padrão
(R.F. 0% de PET micro)	7 dias	15,0	15,4	16,0	14,9	15,2	15,30	0,44
	28 dias	26,7	27,0	28,0	26,3	26,9	26,98	0,63
(5% de PET micro)	7 dias	11,6	13,6	11,8	12,6	12,0	12,32	0,81
	28 dias	18,4	19,4	21,9	22,0	18,0	19,94	1,90
(10% de PET micro)	7 dias	12,0	16,0	15,4	14,0	15,1	14,50	1,57
	28 dias	20,2	19,9	24,9	22,0	21,2	21,64	2,00
(15% de PET micro)	7 dias	11,6	11,2	11,7	12,1	11,5	11,62	0,33
	28 dias	17,5	17,7	18,0	18,5	17,0	17,74	0,56

Composição	Idade	fc28 Medio (MPa)	Desvio Padrão (sd)	fck (MPa)
(R.F. 0% de PET micro)	28 dias	26,98	2,00	23,68
(5% de PET micro)	28 dias	19,94	2,00	16,64
(10% de PET micro)	28 dias	21,64	2,00	18,34
(15% de PET micro)	28 dias	17,74	2,00	14,44



Fonte: Autor, 2020

Fck do Compósito I



Fonte: Autor, 2020

Resistência à Compressão do Compósito II

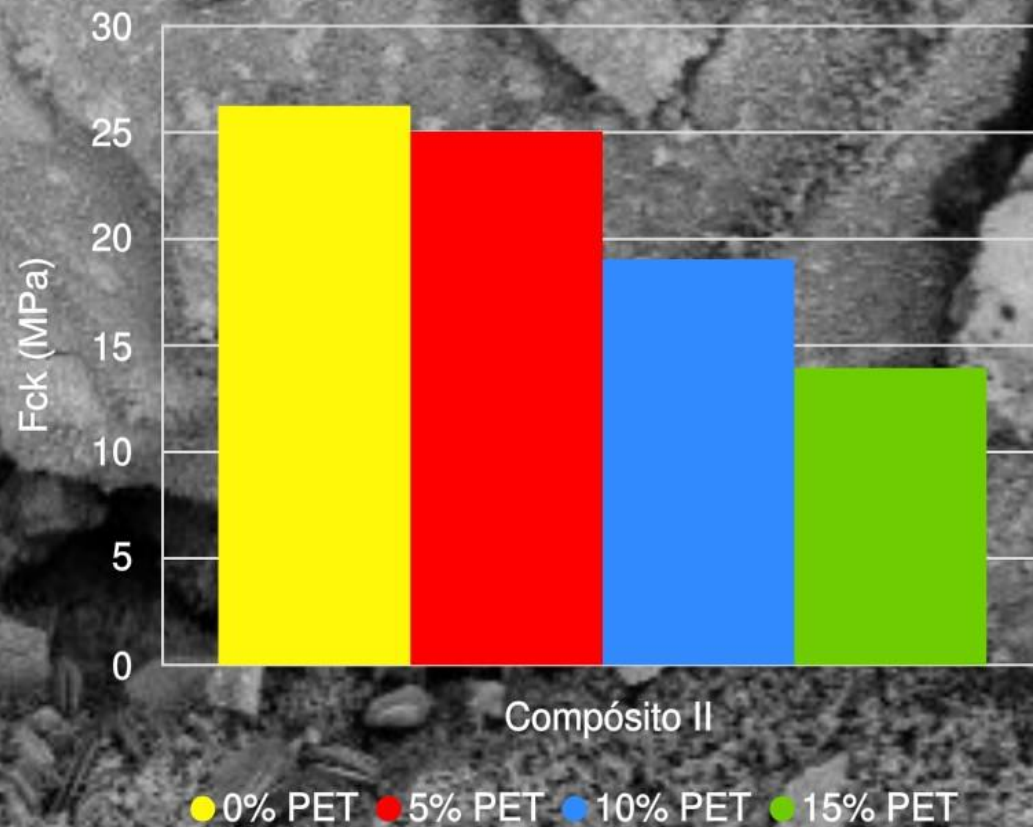
COMPÓSITO II								
Composição	Idade	Resistência CPs (MPa)					Média (MPa)	Desvio Padrão
(R.F. 0% de PET micro)	7 dias	15,2	14,6	15,8	15,0	15,4	15,20	0,45
	28 dias	31,5	28,9	28,1	29,6	29,4	29,50	1,26
(5% de PET micro)	7 dias	18,2	17,8	18,6	17,9	18,5	18,20	0,35
	28 dias	28,7	28,5	27,4	28,4	28,1	28,22	0,51
(10% de PET micro)	7 dias	15,9	15,6	16,3	15,8	16,0	15,92	0,26
	28 dias	24,0	20,1	22,6	22,0	22,4	22,22	1,40
(15% de PET micro)	7 dias	8,8	13,4	12,9	13,0	11,9	12,00	1,87
	28 dias	17,2	17,3	17,1	17,2	17,2	17,20	0,07

Composição	Idade	fc ₂₈ Medio (MPa)	Desvio Padrão (sd)	fck (MPa)
(R.F. 0% de PET micro)	28 dias	29,50	2,00	26,20
(5% de PET micro)	28 dias	28,22	2,00	24,92
(10% de PET micro)	28 dias	22,22	2,00	18,92
(15% de PET micro)	28 dias	17,20	2,00	13,90



Fonte: Autor, 2020

Fck do Compósito II

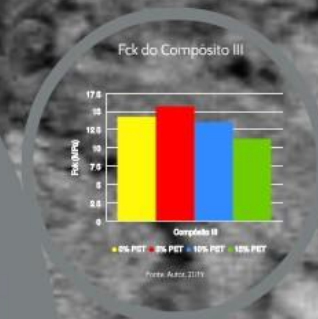


Fonte: Autor, 2020

Resistência à Compressão do Compósito III

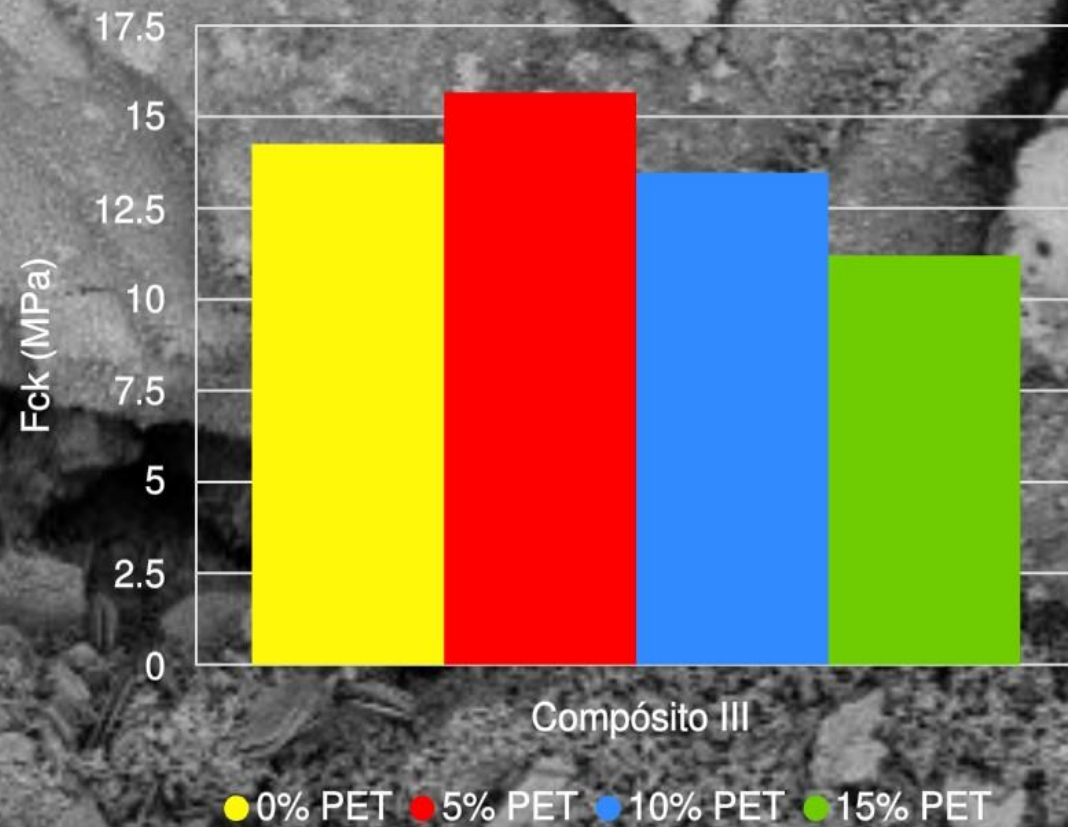
COMPÓSITO III								
Composição	Idade	Resistência CPs (MPa)					Média (MPa)	Desvio Padrão
(R.F. 0% de PET micro)	7 dias	9,7	12,7	7,9	11,5	8,7	10,10	1,98
	28 dias	15,5	18,9	17,8	17,7	17,1	17,40	1,24
(5% de PET micro)	7 dias	11,9	14,0	11,4	13,0	11,9	12,44	1,05
	28 dias	18,9	19,2	18,6	18,8	19,0	18,90	0,22
(10% de PET micro)	7 dias	12,0	11,1	11,2	11,4	11,6	11,46	0,36
	28 dias	15,4	17,3	17,4	16,5	16,9	16,70	0,81
(15% de PET micro)	7 dias	9,6	10,9	9,1	10,2	9,6	9,88	0,69
	28 dias	13,4	14,9	15,0	14,4	14,4	14,42	0,63

Composição	Idade	f _{ck} Médio (MPa)	Desvio Padrão (sd)	f _{ck} (MPa)
(R.F. 0% de PET micro)	28 dias	17,40	2,00	14,10
(5% de PET micro)	28 dias	18,90	2,00	15,60
(10% de PET micro)	28 dias	16,70	2,00	13,40
(15% de PET micro)	28 dias	14,42	2,00	11,12



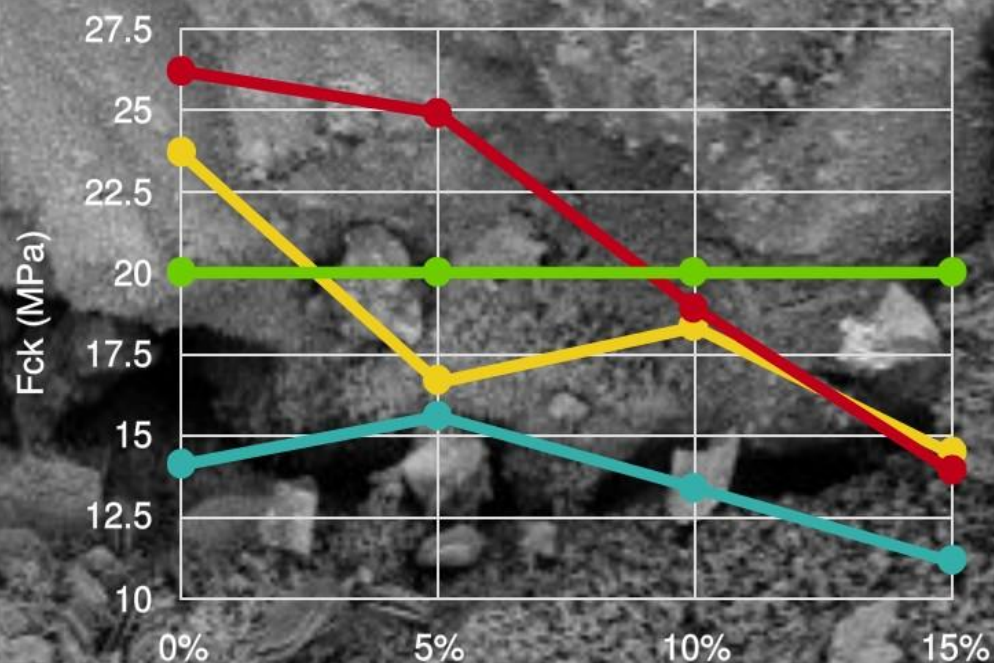
Fonte: Autor, 2020

Fck do Compósito III



Fonte: Autor, 2020

Resistência Característica à Compressão dos Compósitos



Porcentagem de Adição de PET micro

- Compósito I ● Compósito II
- Compósito III ● Concreto C20

Fonte: Autor, 2020

Ensaio de Consistência do Concreto

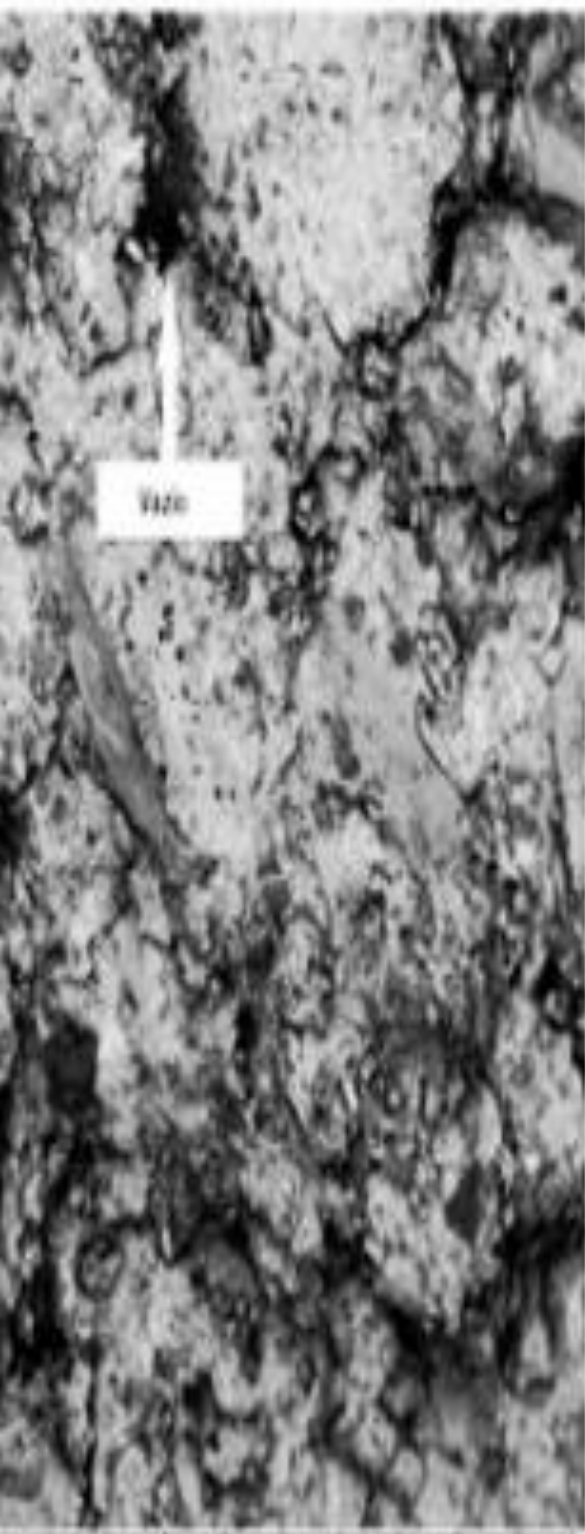
Slump Test do Compósito I	
Composição	Slump Test (cm)
(R.F. 0% de PET micro)	12,5
(5% de PET micro)	14,5
(10% de PET micro)	15,5
(15% de PET micro)	16,5

Slump Test do Compósito II	
Composição	Slump Test (cm)
(R.F. 0% de PET micro)	12,8
(5% de PET micro)	13,6
(10% de PET micro)	14,5
(15% de PET micro)	15,5

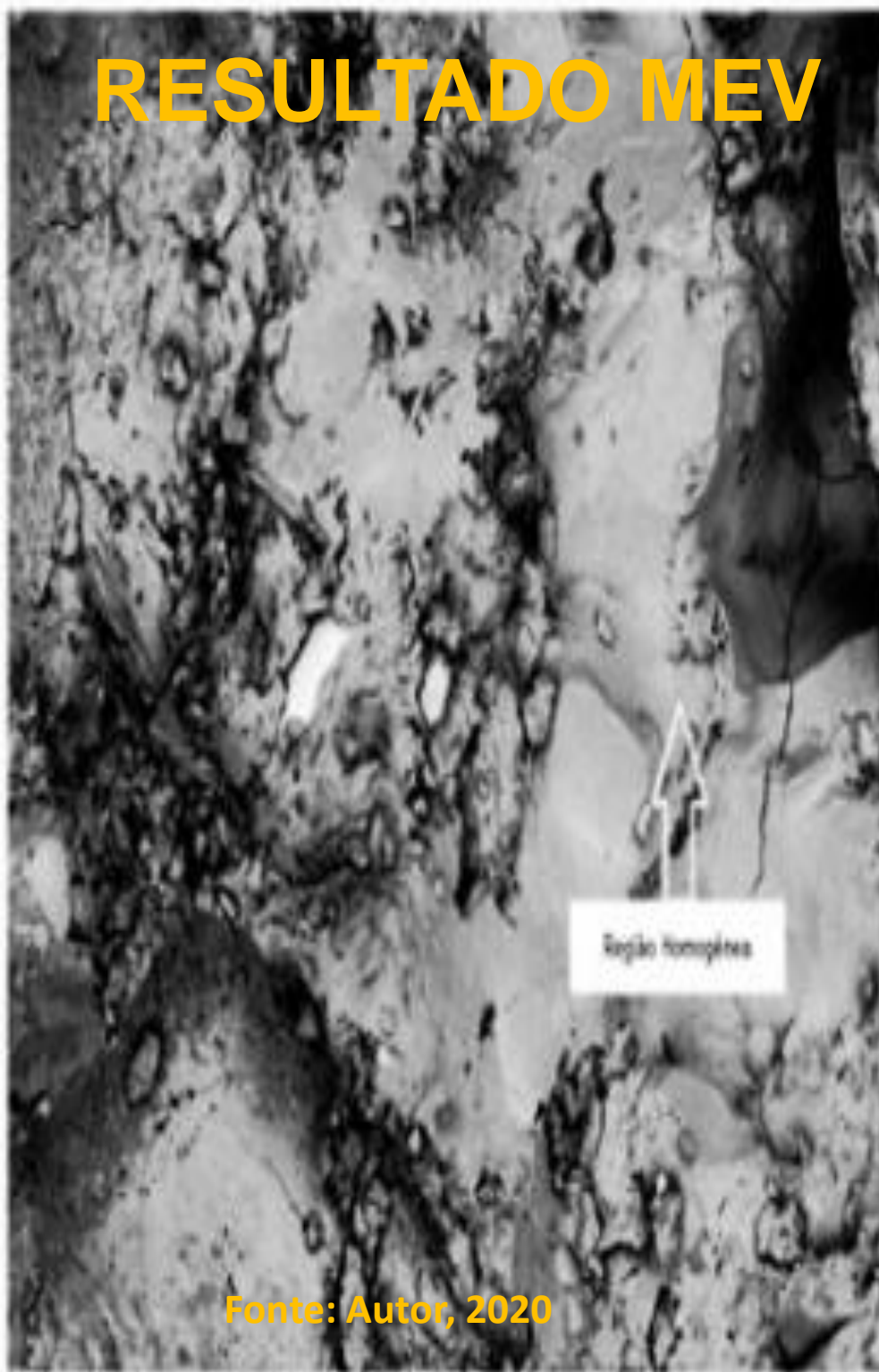
Slump Test do Compósito III	
Composição	Slump Test (cm)
(R.F. 0% de PET micro)	18,0
(5% de PET micro)	19,0
(10% de PET micro)	20,0
(15% de PET micro)	20,0

Fonte: Autor, 2020

RESULTADO MEV

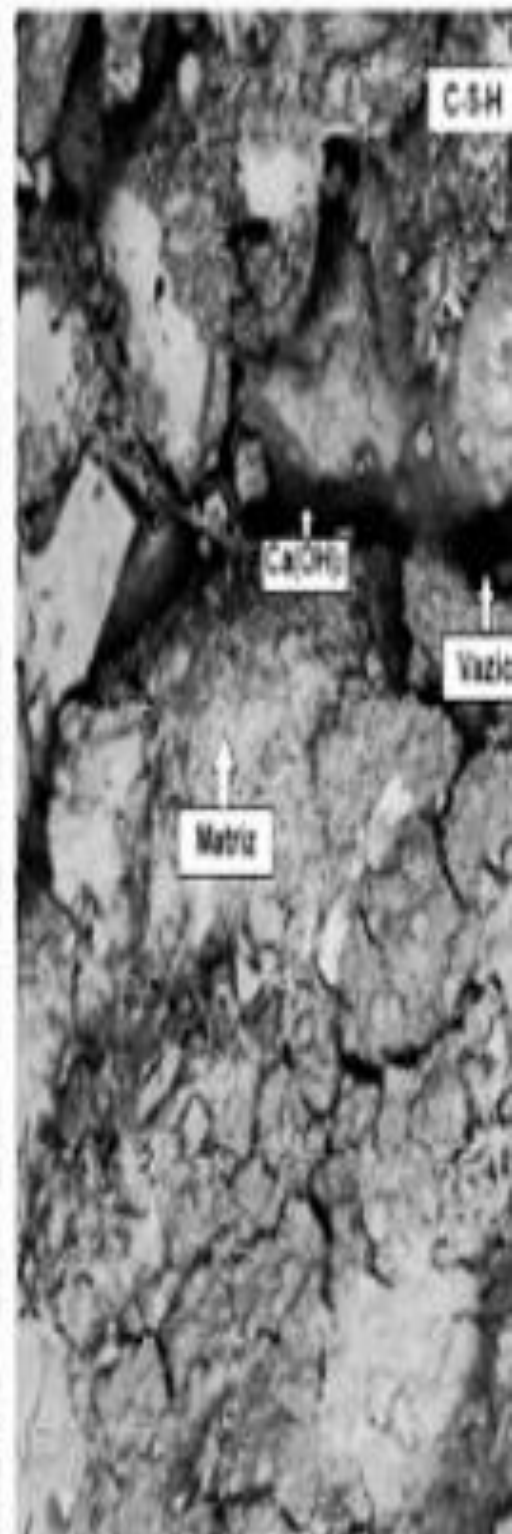


F D5.5 x50 2mm



1,5%SP RF

F D5.8 x200 500 um



Fonte: Autor, 2020

CONCLUSÕES

- O teste para a resistência à compressão, fator relevante para esse estudo, obteve resultado importante de 24,92 MPa (fck), visto que o Compósito II (5% de PET micronizado) obteve-se resistência ao que é solicitado em norma para concreto com finalidade estrutural. A adição de 1,5% aditivo melhorou a resistência à compressão do Compósito II em 41,52% em relação ao Compósito I, o aumento de adição de 3,0% diminui a resistência do Compósito III em 49,3%,
- No ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump) obteve-se resultados satisfatório ao que se estabelece na norma, onde todos os compósitos apresentam aplicações para elementos estruturais, o Compósito III apresentou maior Slump com um aumento de 60% em relação ao Compósito I, esse fato se deve ao aumento na adição de aditivo, outro fato também observado é que conforme se aumenta a adição de PET micronizado aumenta a plasticidade do concreto.

BIBLIOGRÁFICAS

1. LOUREIRO, A. T. Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos de PEAD Reforçado por Resíduos de Eletrodos Revestidos. Volta Redonda: Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA. 2017.
2. CONCRETO. Totalmix. 2018. Disponível em: <<http://www.totalmix.com.br/construcao/index.php/servicos/concreto>>. Acesso em: 10 Junho 2018.
3. POZOLANA. pozolana in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. 2013. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/\\$pozolana](https://www.infopedia.pt/$pozolana)>. Acesso em: 10 Junho 2018.
4. TONET, K. G. Concreto Polímero com Resina Reciclada de PET: Influência na Combustibilidade Frente à Adição de Resíduos Industriais. São Leopoldo: Dissertação Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS. 2009.
5. SANTOS, S. et al. Viabilidade da Produção de Concreto com Areia de PET e Substituição Parcial de Cimento por Cinza da Casca do Arroz. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC. Fortaleza. 2015.
6. MICROPET. MICROPET Respeito ao Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <<http://www.micropet.com.br/produtos.html>>. Acesso em: 10 Junho 2018.
7. CALMON, J. L. Resíduos Industriais e Agrícolas para a Construção Civil. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo, v. 2, n. cap.48, p. 1591-1628, 2007.
8. PEREIRA, J. R. Análise da Produção de Concreto Auto Adensável (CAA) e da Adição do Pó de Poli Tereftalato de Etileno (PET) Reciclado. Limeira: Dissertação apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade Estadual de Campinas. 2016.
9. MELO, J. W. Produção e caracterização de pó de PET - Poli (Tereftalato de etileno), obtido a partir de garrafas pós-consumo. Belo Horizonte: Dissertação (Mestrado) - Rede Temática em Engenharia de Materiais - REDEMAT. Universidade Estadual de Minas Gerais. 2004. p. 122.
10. MODRO, N. L. R. et al. Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. Revista Matéria, Rio de Janeiro, 14, Abril 2009, 725-736.
11. LEITE, M. B. Avaliação de Propriedades Mecânicas de Concretos Produzidos Com Agregados. Porto Alegre: Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001. p. 290.

BIBLIOGRÁFICAS

1. LOUREIRO, A. T. Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos de PEAD Reforçado por Resíduos de Eletrodos Revestidos. Volta Redonda: Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA. 2017.

BIBLIOGRÁFICAS

1. LOUREIRO, A. T. Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos de PEAD Reforçado por Resíduos de Eletrodos Revestidos. Volta Redonda: Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA. 2017.

BIBLIOGRÁFICAS

12. OLIVEIRA, F. A. D. D. et al. Análise das Propriedades Mecânicas de Concreto Produzido com Fibras de PET (Polietileno Tereftalato). Campina Grande: ConGea - VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2016.
13. GALVÃO, J. C. A. Uso de Materiais Poliméricos Reciclados em Estruturas de Concreto para Superfícies Hidráulicas. Curitiba: Tese apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 2010. p. 132.
14. JOHN, V. M. Versão editada de capítulo a ser publicado no livro: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. USP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2017.
15. PINTO, T. P. Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: A experiência do SindusCon-SP. São Paulo: SindusCon-SP. 2005.
16. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil-CONAMA. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2002. p. 95-96.
17. JÚNIOR, J. C. D. A. Avaliação da Influência da Adição de Fibras Poliméricas nas Propriedades Térmicas e Mecânicas do Concreto. Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais do CEFET MG. 2016.
18. SALVADOR, R. P. Análises comparativas de métodos de ensaio para caracterização do comportamento mecânico de concretos reforçados com fibras. São Paulo: Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2013.
19. ASUA, J. M. Polymer Reaction Engineering. USA: Blackwell Publishing. 2007.
20. CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2010.
21. BRUICE, P. Y. Organic Chemistry. United States of America: Prentice Hal. 2010.
22. ARAGON, A. T.; GHIRALDELLO, L. Produtos a Base de Polietileno (PET) na Construção Civil: Um Estudo Diagnóstico no Município de Poços de Caldas. revista Gestão & Conhecimento, Poços de Caldas, 29 Dezembro 2014. 21. Disponível em: <http://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v2014/Artigo03_2014.pdf>.

BIBLIOGRÁFICAS

47. NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2ª. ed. Porto Aegre: Bookman, 2013. 440 p.
48. PINTO, J. D. S. Análise da influência de superfície protetoras na durabilidade do concreto para uso em meio agressivo: uma abordagem topográfica e da estrutura do material. Belo Horizonte: Tese doutorado em engenharia metalúrgica e de minas - UFMG. 2006. p. 114.
49. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2006. p. 18.
50. MORANVILLE-REGOURD, M. Microstructure of high performance concrete. London: E & FN Spon, 1992. p. 3-13.
51. SCHETTINO, R. M. Concreto com Adição de Fibras de Politereftalato de Etileno. Volta Redonda: Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA. 2015. p. 65.
52. CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado segundo NBR 6118: 2014. 4ª. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016. 415 p.
53. FILHO, A. N. C. Contribuição ao controle tecnológico de concretos estruturais de cimento Portland em ambientes marítimos. São Paulo: Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2010. p. 334.
54. ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Materials and General Properties of Concrete - Committee 222 - Part 1. Detroit: [s.n.]. 1991. p. 11.
55. CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado segundo a NBR 6118: 2003. 3ª. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007. 368 p.
56. NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
57. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014. 238 p.
58. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2015. p. 12.
59. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2007. p. 14.