

# ANALISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM SUBSTITUIÇÃO E ADIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR RESÍDUO DE ESMALTE CERÂMICO (REC)

Juliano Santana Carradore (1), Elaine Guglielmi Pavei Antunes (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)[juliano\\_pc2@hotmail.com](mailto:juliano_pc2@hotmail.com), (2)[elainegpa@unesc.net](mailto:elainegpa@unesc.net)

## RESUMO

O cimento é o principal material para a composição do concreto, portanto, é necessário o estudo de materiais alternativos para serem utilizados como substituição e/ou adição parcial do cimento na composição do concreto. Estes materiais, classificados como materiais pozolânicos necessitam atender uma série de requisitos mínimos para a viabilização da sua utilização. No presente artigo analisou-se a influencia do resíduo de esmalte cerâmico (REC) em algumas propriedades mecânicas do concreto, caracterizando-o quanto a suas propriedades pozolânicas. Através de um traço referência para uma resistência de 50 MPa, faz-se a partir desse traço, substituição parcial de 5, 10 e 15% e adição de 5% em relação a massa de cimento utilizada no traço. Com base nos resultados obtidos por meio dos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, obteve-se os resultados de que o traço de 5% de substituição obteve o melhor desempenho em relação ao traço referência.

*Palavras-Chave: Concreto, cimento, resíduo de esmalte cerâmico (REC), material pozolânico.*

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto é um material construtivo amplamente disseminado no ambiente da construção civil, pode ser encontrado em casas de alvenaria, rodovias, pontes, usinas hidrelétricas, obras de saneamento, dentre outros tipos de construções. Existem pesquisas, estudos acadêmicos, (JOAO, 2015; MACHADO, 2014; SILVA, 2016) voltadas à inserção de resíduos industriais na produção de concreto, algumas com ênfase na substituição do cimento, pois tal utilização pode trazer duas grandes vantagens: a diminuição do uso de cimento no concreto e a reintrodução de um resíduo no processo produtivo.

A substituição dos cimentos, em pesquisas voltadas a inserção dos resíduos, geralmente ocorrem devido à capacidade de alguns resíduos em terem alguma

atividade aglomerante através de reações pozolânicas, e, portanto, são comumente chamados de materiais pozolânicos.

A substituição parcial do cimento por pozolana implica na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento, principal material do concreto. Portanto, o conhecimento a respeito dos materiais pozolânicos (naturais e artificiais), torna-se relevante, tendo em vista os benefícios que estes materiais podem proporcionar (NETTO, 2006).

Oliveira (2010) define materiais pozolânicos como materiais silicosos ou sílico-aluminosos que têm pouca atividade aglomerante, mas que, finamente pulverizadas e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio formando produtos com capacidade cimentícias.

Para a produção das placas cerâmicas, utilizadas em larga escala no Brasil como revestimento, produziram-se mais de um milhão de metros quadrados de cerâmica para revestimento no Brasil em 2015, um dos componentes necessários na maioria dos produtos são os esmaltes (ANFACER, 2015).

Schabbach et al. 2013 define que:

Os esmaltes cerâmicos podem ser definidos como camadas que têm essencialmente duas funções: técnica e estética. A função técnica é render a superfície dos revestimentos cerâmicos completamente à prova d'água, tornando mais fácil a remoção de qualquer substância susceptível de causar sujeira ou manchas. A função estética dos esmaltes é dar ao produto cerâmico uma superfície brilhante, colorida, com decorações variadas (SCHABBACH et al., 2013).

Os esmaltes para revestimento estão constituídos habitualmente somente por fritas, com a única adição de caulim para evitar a sedimentação durante o processo de preparação e aplicação (ASSIS; BERG; STEFANI, 2002); (BARREDA, 2005).

No Brasil, a frita é o principal produto da indústria de coloríficos. Esta pode ser comercializada in natura ou adicionada com outras matérias-primas naturais ou sintéticas, formando composições de engobes, esmaltes, granilhas e tintas serigráficas (ZANATTA;2015).

A expansão da indústria de coloríficos está diretamente ligada à indústria de revestimentos cerâmicos, tendo em vista que a indústria de revestimentos cerâmicos é a maior consumidora de fritas e derivados (PRADO; BRESSIANI, 2013). Com essa expansão, aumenta-se a produção das fritas, e, paralelamente aumenta-se também a quantidade de resíduos gerados.

O resíduo de esmaltes cerâmico (REC) utilizado neste estudo deriva da água utilizada na fusão da frita onde o material leve é arrastado pelas calhas até o decantador. Ao atingir uma determinada altura o material que ficou contido no fundo é retirado e é conduzido até um atomizador onde é seco e reutilizado no processo de produção de frita. É importante mencionar que os materiais que são produzidos fora das especificações também estão presentes neste resíduo (BORGUET; 2017). Atualmente, empresas de colorifícios reincorporam esse resíduo na sua etapa de produção, mas para tal esse resíduo deve passar pelo processo de atomização, processo este bastante oneroso.

A atomização consiste na transformação de uma solução aquosa de partículas sólidas em partículas secas a partir da pulverização da solução no interior de uma câmara aquecida (atomizador) (RIBEIRO; VENTURA; LABRINCHA, 2001).

O processo de atomização envolve custos elevados, e, portanto, demonstra a importância de que novos estudos, com o propósito de reinserção desse resíduo por diferentes ramos indústrias, sejam realizados.

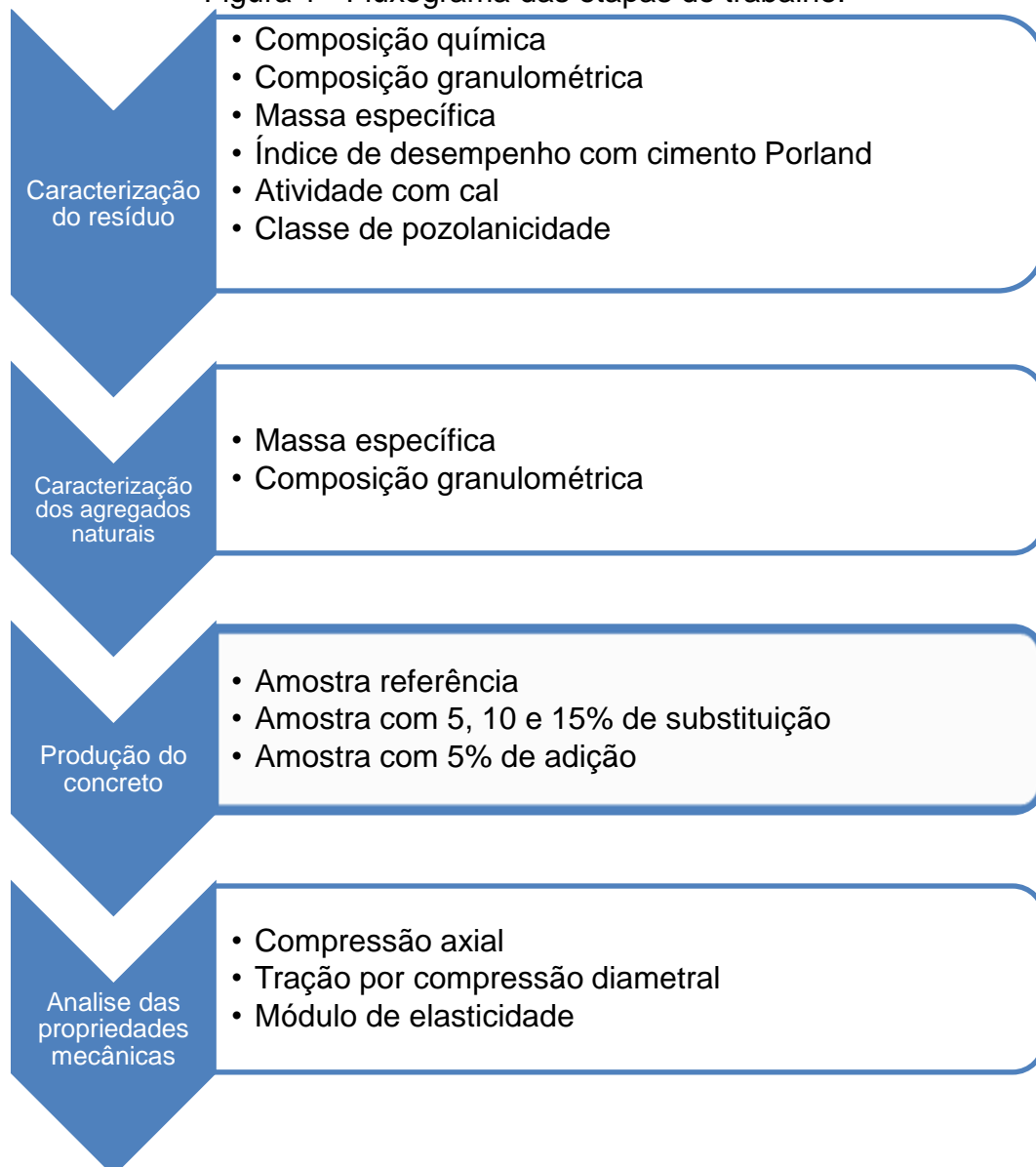
Esta pesquisa tem por objetivo avaliar a influência da incorporação do resíduo de esmalte cerâmico (REC) em concreto, através da substituição do cimento Portland e da adição do REC. Para tal, são realizados os ensaios de compressão axial, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral. Os percentuais de substituição e adição fracionária são de 5%, 10% e 15% para o primeiro e de 5% para o segundo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo segue quatro etapas experimentais. Sendo que, a primeira etapa refere-se à caracterização do resíduo (REC), e esta, obtém-se através da execução dos ensaios de massa específica, composição química, composição granulométrica e classificação da classe de pozolânicidade conforme a ABNT NBR 12653: 2014. O segundo passo consiste na caracterização dos outros componentes do concreto, tais como: agregado graúdo, agregado miúdo, tipo de cimento Portland e água. A terceira etapa refere-se à produção das amostras de concretos, com 0, 5, 10 e 15% de substituição do cimento Portland e com 5% de adição. Na última etapa, quarta, executam-se os ensaios para verificar a influência do REC em algumas das propriedades mecânicas do concreto.

As etapas experimentais adotadas seguem o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas do trabalho.



Fonte: Do autor, 2017.

## 2.1. RESÍDUO DE ESMALTE CERÂMICO (REC)

O resíduo utilizado neste trabalho (REC) tem como sua origem as indústrias de coloríficos, sendo gerado no processo de produção da frita cerâmica e esmaltes que não atendem as especificações técnicas requeridas para o produto. A Figura 2 apresenta uma imagem do REC.

Figura 2 - REC



Fonte: Do autor, 2017.

A análise química do REC foi fornecida pela empresa onde o material foi coletado e realizada pelo equipamento espectrômetro XRF da marca PANalytical modelo Axios FAST.

O estudo da composição granulométrica foi realizado no equipamento da marca Cilas modelo 1064 no Laboratório de Caracterização de Materiais IDT/UNESC utilizando o Poliacrilato de Sódio como agente dispersante.

A fim de complementar-se a caracterização do REC, também foram realizados os ensaios de desempenho com cimento Portland aos 28 dias (ABNT NBR 5752:2014) e atividade com cal aos 7 dias (ABNT NBR 5751:2015).

### 2.1.1 AGREGADOS E CIMENTO PORTLAND

A caracterização da areia e da brita foi realizada de acordo com a ABNT NBR NM 248: 2003, quanto a sua composição granulométrica e ABNT NBR NM 52: 2009 para a determinação da massa específica seca da areia e ABNT NBR 53: 2009 para determinar a massa específica seca da brita.

Na Tabela 1 pode-se observar o resultado da caracterização dos agregados naturais.

Tabela 1- Caracterização dos agregados naturais

	Areia	Brita
Massa específica seca (kg/m <sup>3</sup> )	1557,333	1506,667
Módulo de finura	2,36	-
Dimensão máxima de agregado (mm)	2,4	25

Fonte: Do autor, 2017.

O cimento utilizado na composição dos traços foi o tipo CP IV-32.

## 2.2 MÉTODOS

Usou-se como traço referência de 1: 1,3: 1,7: 0,40 (cimento: areia: brita: água), sem substituição e adição do REC. Definiu-se esse traço, após estudos bibliográficos, com o objetivo de atingir-se, aproximadamente, 50 MPa de resistência a compressão por ter uma maior quantidade de cimento e maior substituição do mesmo pelo REC. É importante mencionar que não foram utilizados aditivos na mistura e a relação água/cimento (a/c) também não foi alterada. A resistência do concreto em uma determinada idade a uma temperatura normal pode ser considerada como inversamente proporcional à relação água/cimento, conhecida como Lei de Abrams (NEVILLE; BROOKS, 2013). Portanto, manteve-se a mesma relação a/c para todos os traços e verificou-se o abatimento de cada mistura utilizada. Os traços executados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Traços das composições

Tipo de mistura		Composição unitária em massa (cimento: resíduo: areia: brita)	Relação água/cimento
Referência	Tref	1: 1,3: 1,7	0,4
5% Substituição	TS5	0,95: 0,05: 1,3: 1,7	0,4
10% Substituição	TS10	0,90: 0,10: 1,3: 1,7	0,4
15% Substituição	TS15	0,85: 0,15: 1,3: 1,7	0,4
5% Adição	TA5	1: 0,05 :1,3: 1,7	0,4

Fonte: Do autor, 2017.

Para obter os resultados de caracterização do REC e a sua influencia nas propriedades mecânicas do concreto, foram realizados os ensaios de índice de desempenho pozolânico (ABNT NBR 5752:2014) e desempenho com cal aos sete

dias (ABNT NBR 5751:2014). As alterações nas propriedades mecânicas do concreto foram obtidas por meio dos ensaios de resistência a compressão axial (ABNT NBR 5739:2007), resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222:2011) e módulo estático de elasticidade (ABNT NBR 8522:2008).

### 2.2.1 ENSAIO ÍNDICE DESEMPENHO POZOLÂNICO

Para o cálculo do índice de desempenho pozolânico, foi utilizada a Equação 1 encontrada na ABNT NBR 5752:2014.

$$I = \frac{F_{cB}}{F_{cA}} \cdot 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

I= é o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. O resultado é expresso em porcentagem e deve ser arredondado ao inteiro.

F<sub>cB</sub>=é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados com cimento CP II-F-32 e 25% de material pozolânico (argamassa B), aproximada ao décimo e expressa em megapascals (Mpa).

F<sub>cA</sub>=é a resistência média aos 28 dias dos corpos de prova moldados apenas com cimento CP II-F-32 (argamassa A), aproximada ao décimo e expressa em megapascals (MPa).

### 2.2.2 ENSAIO ATIVIDADE COM CAL

Para realizar o ensaio de atividade pozolânica com cal aos sete dias, foi necessário primeiramente verificar-se qual a massa específica do REC. O ensaio de determinação da massa específica foi realizado como determina a ABNT NBR NM 23: 2000. Após determinação da massa específica realizou-se o ensaio de índice de atividade pozolânica com cal conforme ABNT NBR 5751:2015 utilizando 3 corpos de prova.

### 2.2.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência à compressão, moldaram-se três corpos de prova com diâmetro de 10 cm e comprimento de 20 cm para cada tipo de mistura. Os ensaios foram realizados com os corpos de prova nas idades de 14 e 28 dias. O procedimento aconteceu no Laboratório de Materiais de Construção Civil/IDT/UNESC utilizando a prensa da marca EMIC modelo PC200I e seguindo os procedimentos da ABNT NBR 5739:2007.

#### **2.2.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL**

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado como estabelece a ABNT NBR 7222:2011. Foram moldados três corpos de prova com diâmetro de 10 cm e comprimento de 20 cm para cada mistura. Os ensaios foram realizados com os corpos de prova nas idades de 14 e 28 dias. O procedimento aconteceu no LMCC/IDT/UNESC utilizando a prensa da marca EMIC modelo PC200I. Para o cálculo da resistência à tração por compressão diametral, empregou-se a Equação 2, encontrada na ABNT NBR 7222:2011.

$$f_{ct,D} = \frac{2F}{\pi dl} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$f_{ct,D}$ : resistência à tração por compressão diametral (MPa);

F: força máxima obtida no ensaio (N);

d: diâmetro do corpo de prova (mm) e

l: comprimento do corpo de prova (mm).

#### **2.2.5 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE**

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado conforme estabelece a ABNT NBR 8522:2008. Moldaram-se três corpos de prova com diâmetro de 10 cm e comprimento de 20 cm para cada tipo de mistura. Os ensaios foram realizados com os corpos de prova nas idades de 14 e 28 dias na prensa da marca EMIC modelo PC200CS.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO REC

Para poder-se caracterizar o REC como um material pozolânico, foram realizados uma série de ensaios prescritos pela ABNT NBR 12653: 2015 e obteve-se os seguintes resultados.

##### 3.1.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A análise química do REC fornecida pela empresa onde o resíduo foi coletado, como mencionado anteriormente, encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química do resíduo

Elementos	Teor (%)
SiO <sub>2</sub>	54,91
TiO <sub>2</sub>	0,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21
MgO	1,94
CaO	10,69
Na <sub>2</sub> O	2,31
k <sub>2</sub> O	1,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,36
ZrO <sub>2</sub>	4,52
BaO	1,24
ZnO	4,33
PbO	0,76
HfO <sub>2</sub>	0,09
P.F.	4,5

Fonte: Do fornecedor, 2017.

Segundo a ABNT NBR 12653: 2014, um material para ser caracterizado como pozolânico, deve atender aos requisitos químicos demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Requisitos químicos

Propriedades	Classe de material pozolânico		
	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\geq 70\%$	$\geq 70\%$	$\geq 50\%$
$\text{SO}_3$	$\leq 4\%$	$\leq 5\%$	$\leq 5\%$
Teor de umidade	$\leq 3\%$	$\leq 3\%$	$\leq 3\%$
Perda ao fogo	$\leq 10\%$	$\leq 6\%$	$\leq 6\%$
Álcalis disponível em $\text{Na}_2\text{O}$	$\leq 1,5\%$	$\leq 1,5\%$	$\leq 1,5\%$

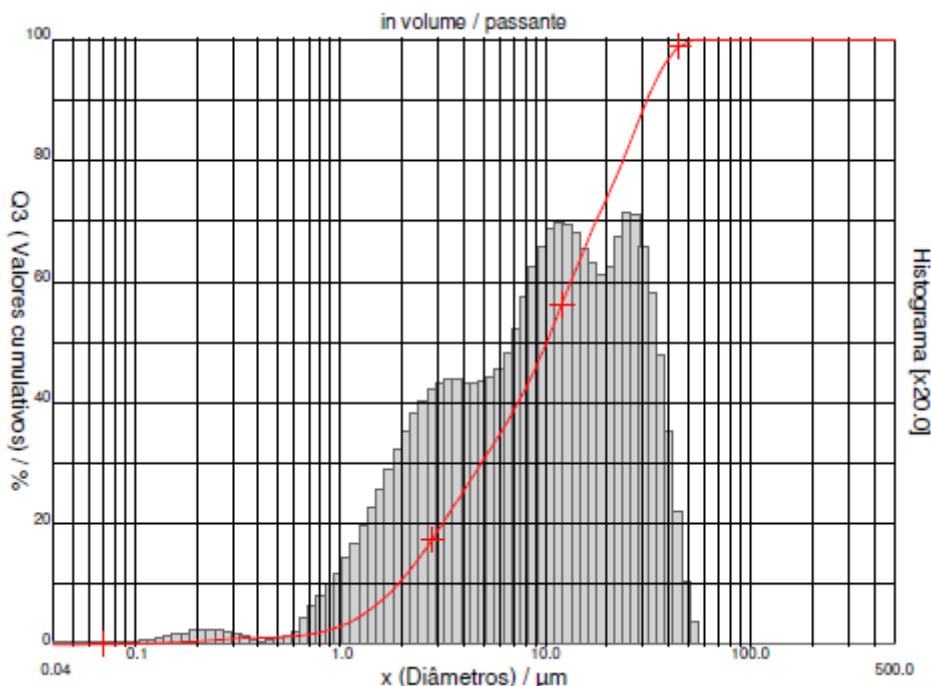
Fonte: ABNT NBR 12653.

A soma de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do resíduo é de 64,52%, atendendo a classe E de pozolânicidade, conforme requisito da ABNT NBR 12653:2014. Analisando a composição química do REC e comparando aos requisitos químicos da norma, pode-se observar que o  $\text{Na}_2\text{O}$  é maior que o limite de norma. Este limite deve-se a reação álcali-agregado (RAA). A RAA é uma reação química que se processa, numa argamassa ou concreto, entre os íons hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) associados aos álcalis óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e óxido de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ), provenientes do cimento ou de outras fontes, e certos tipos de agregado (FIGUERÔA & ANDRADE, 2008). Em resumo, entende-se por reação álcali-agregado o processo de deterioração do concreto endurecido, provocando assim a formação do gel expansivo a partir de reação química que ocorre em alguns tipos de agregados reativos ou potencialmente reativos, quando em contato com os álcalis existentes no cimento Portland, Óxido de Sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e Óxidos de Potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) (LIMA; SILVA; COSTA, 2017).

### 3.1.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Realizou-se a verificação da sua granulometria e chegou-se ao resultado observado na Figura 4.

Figura 4 - Curva de distribuição de tamanho de partícula do resíduo



Fonte: Do autor, 2017.

Segundo a ABNT NBR 12653:2014, um material é considerado pozolânico quando somente 20%, ou menos, da amostra ficam retidas em peneira com abertura de 45  $\mu\text{m}$ . No resíduo, 98,82% das partículas foram passante granulometria de 45  $\mu\text{m}$ . A Tabela 5 demonstra a distribuição do tamanho de partículas do resíduo.

Tabela 5 - Análise da distribuição de tamanho de partícula dos resíduos

10% das partículas abaixo de	1,91 $\mu\text{m}$
50% das partículas abaixo de	10,13 $\mu\text{m}$
90% das partículas abaixo de	31,34 $\mu\text{m}$

Fonte: Do autor, 2017.

### 3.1.3 MASSA ESPECÍFICA

A massa específica do REC foi determinada conforme a ABNT NBR NM 23: 2000, por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier. Chegou-se a uma massa específica de 2,675  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

### 3.1.4 ÍNDICE DE DESEMPENHO COM CIMENTO PORTLAND AOS 28 DIAS

A Tabela 6 demonstra os valores obtidos de resistência à compressão dos corpos de prova de referência e com o REC.

Tabela 6 - Valores de resistência à compressão

Argamassa A	Resistência à compressão (MPa)	Argamassa B	Resistência à compressão (MPa)
Média	33,54 ± 2,62	Média	27,52 ± 0,81

Fonte: Do autor, 2017

Por meio da média dos resultados obtidos e utilizando a Equação 1 da ABNT NBR 5752: 2014, chegou-se ao índice de desempenho aos 28 dias de 84,97%.

### 3.1.5 ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CAL AOS 07 DIAS

Foram moldados três corpos de prova para o ensaio do índice de atividade com cal aos 07 dias, conforme determina a ABNT NBR 5751: 2015. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 7:

Tabela 7 - Atividade com cal aos 07 dias

Amostra	Resistência à compressão em MPa
CP-1	0,29
CP-2	0,32
CP-3	0,25

Fonte: Do autor, 2017.

### 3.1.6 ANÁLISE DO ÍNDICE DE DESEMPENHO COM CIMENTO PORTLAND AOS 28 DIAS E DO ÍNDICE DE ATIVIDADE COM CAL AOS 7 DIAS

Com base nos resultados de resistência a compressão axial e a exigência da ABNT NBR 12653: 2015, que prescreve que a média dos resultados obtidos deve ser maior ou igual a 6 MPa, para que o material seja classificado como material pozolânico, pode-se afirmar que o REC não atendeu a especificação mínima.

Após os ensaios de caracterização do REC e análise dos resultados, pode-se atestar que o mesmo não atende aos requisitos mínimos para ser caracterizado

como um material pozolânico, segundo as normas específicas. Na Tabela 8 podem-se observar os requisitos mínimos e os resultados obtidos do REC.

Tabela 8 - Caracterização REC

Propriedades	Classe de material pozolânico			REC
	N	C	E	
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≥ 70%	≥ 70%	≥ 50%	64,52%
Material retido na peneira de 45µm	< 20%	< 20%	< 20%	1,18%
Índice de desempenho com cimento portland aos 28 dias, em relação ao controle	≥ 90%	≥ 90%	≥ 90%	84,97%
Atividade pozolânica com cal aos 7 dias	≥ 6MPa	≥ 6MPa	≥ 6MPa	0,29MPa

Fonte: Do autor, 2017.

### 3.2 PRODUÇÃO DO CONCRETO

O processo de mistura do concreto foi executado como determina a ABNT NBR 12665: 2015 no LMCC/IDT/UNESC. Os valores de abatimento obtidos para as composições podem ser observados na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9 - Teste de abatimento

Amostra	Abatimento (cm)
Tref	95
TS5	115
TS10	110
TS15	105
TA5	100

Fonte: Do autor, 2017.

Na Figura 6, pode-se observar o teste para determinação do abatimento através do tronco de cone.

Figura 6 - Abatimento por tronco de cone



Fonte: Do autor, 2017.

Após a verificação do abatimento de cada mistura, moldaram-se 09 corpos de prova de cada traço e realizada a cura de acordo com a ABNT NBR 5738: 2016, por 14 e 28 dias, idade aos quais os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de suas propriedades mecânicas. Na Figura 7 e na Figura 8, respectivamente, observam-se os corpos de prova moldados e em seguida no processo de cura.

Figura 7 – a) Corpos de prova moldados b) Corpos de prova em cura



a)

b)

Fonte: Do autor, 2017.

### 3.3 ANÁLISES DA INFLUÊNCIA DO REC NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os resultados foram obtidos por meio dos ensaios mencionados anteriormente e analisados pela análise de variância (ANOVA) com um intervalo de confiança de 95%.

#### 3.3.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados do ensaio foram analisados por meio da análise de variância estatística de ANOVA comparando os resultados dos traços obtidos com o traço referência. De acordo com ABNT NBR 5739:2007 obtiveram-se os resultados da Tabela 10:

Tabela 10 - Compressão axial em MPa

Amostra	Média aos 14 dias	Média aos 28 dias
Tref	41,41 ±0,33	49,26 ±0,65
TS5	41,85 ±0,41	50,00 ±2,19
TS10	38,00 ±1,04	45,32 ±4,51
TS15	35,48 ±1,98	45,24 ±2,63
TA5	37,91 ±0,66	45,71 ±2,61

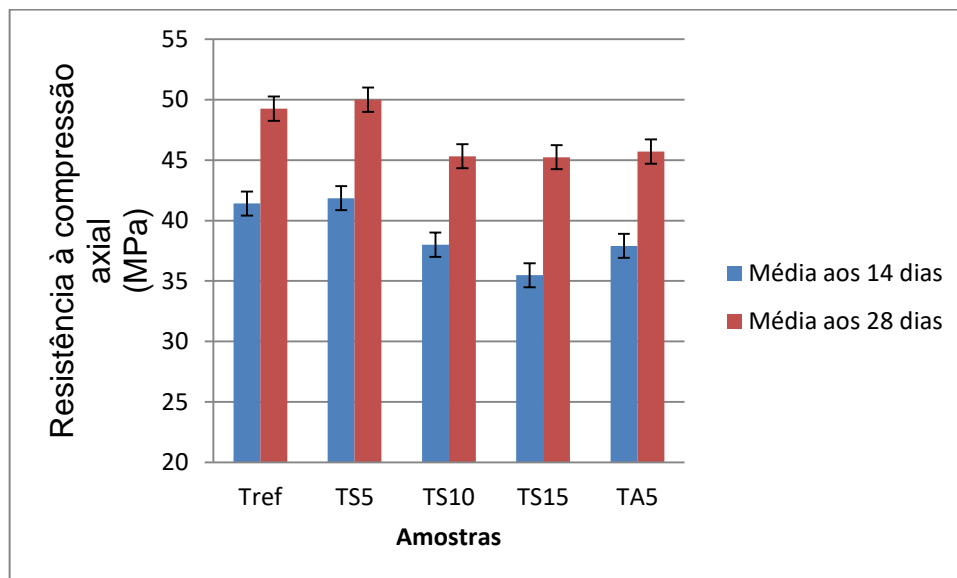
Fonte: Do autor, 2017.

Aos 14 dias de idade, o traço TS5 não apresentou diferença significativa em relação ao Tref, tendo um acréscimo de apenas 1,06% na sua resistência em relação ao Tref. Já os traços TS10, TS15 e TA5 tiveram uma queda significativa, conforme ANOVA realizada, de 8,23%, 14,32% e 8,45%, respectivamente, na resistência à compressão comparado ao Tref. Aos 28 dias de idade, o traço TS10 apresentou uma queda significativa de 8% de sua resistência em relação ao traço Tref, o TS5 apresentou um aumento de 1,5% e o TS15 e TA5 um decréscimo de 8,16% e 7,21%, respectivamente. Analisando os resultados, observa-se que o TS5 e o Tref não teve diferença significativa na sua resistência à compressão ao provável fato de que com uma substituição apenas de 5% da massa de cimento e o REC, mesmo não caracterizado como material pozolânico, pode ter gerado um efeito filler, ou seja, material fino que preenche vazios, e não aferiu diferença significativa na sua propriedade, os traços TS10 e TS15, conforme aumentou a substituição do cimento por REC, diminuiu a quantidade de cimento no traço e assim reduzindo

substancialmente a resistência à compressão do concreto. O TA5 mesmo mantendo a mesma quantidade de cimento que o Tref e adicionando o REC observou-se uma grande queda na sua resistência, aferindo a provável causa de que conforme a mistura teve maior quantidade de finos, a água não reagiu totalmente com o cimento por ter de envolver também o REC e assim reduzindo a sua capacidade de resistência à compressão.

Na Figura 9 observa-se a média das resistências obtidas nos ensaios aos 14 e 28 dias de idade.

Figura 9 - Resistência à compressão axial



Fonte: Do autor, 2017.

### 3.3.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os corpos de prova foram ensaiados LMCC/IDT/UNESC, de acordo com ABNT NBR 7222:2011, e obtiveram-se os resultados que estão apresentados na Tabela 11.

Amostra	Média aos 14 dias	Média aos 28 dias
Tref	3,64 ±0,40	5,06 ±0,53
TS5	4,44 ±0,42	4,39 ±0,20
TS10	4,12 ±0,36	4,51 ±0,14
TS15	3,49 ±0,39	3,92 ±0,33
TA5	4,07 ±0,70	4,68 ±0,35

Fonte: Do autor, 2017.



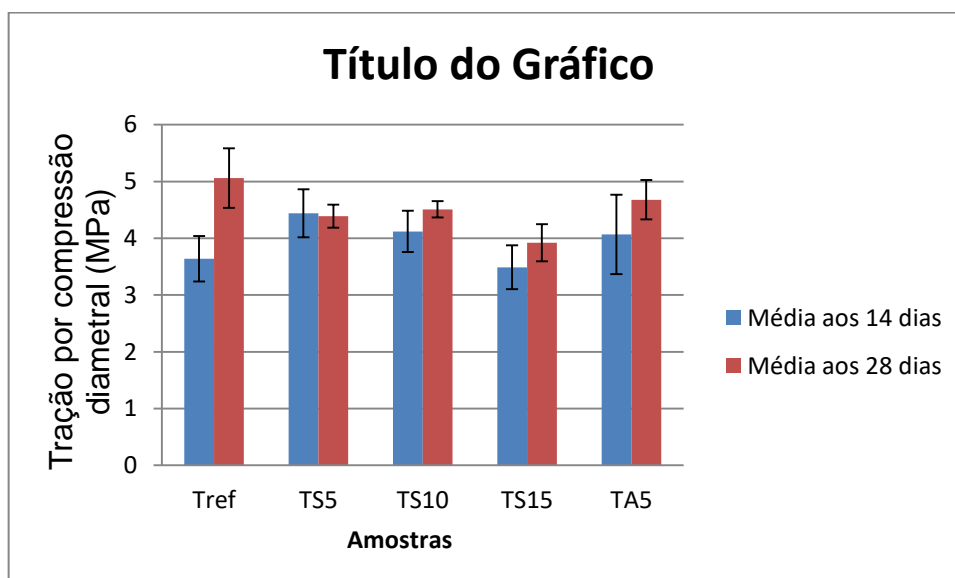
Por meio da análise de variância estatística ANOVA, verificou-se que, aos 14 dias de idade, todos os traços não obtiveram diferença significativa em relação ao Tref e observou-se um aumento de 21,97%, 13,18% e 11,81% na resistência a tração do TS5, TS10 e TA5, respectivamente, e uma queda de 4,12% do TS15 em relação ao Tref.

Aos 28 dias, os traços TS5, TS10 e TA5 não demonstraram uma diferença significativa em relação ao Tref, mesmo tendo uma queda de 13,24%, 10,87% e 7,51%, respectivamente, na sua capacidade de resistência. O TS15 obteve uma queda significativa de 22,53% na resistência à tração do concreto, sendo significativamente inferior à referência.

Apesar do REC não ser caracterizado como um material pozolânico, ele não causou perdas na resistência a tração, mesmo não sendo um material aglomerante, o REC se caracteriza com um efeito filler, preenchendo os vazios internos e, portanto, não ocasionando diferença significativa dos traços em relação ao Tref.

Na Figura 10 observa-se a média dos resultados obtidos nos ensaios para a resistência a tração por compressão diametral.

Figura 10 - Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Do autor, 2017.

### 3.3.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os corpos de prova foram ensaiados no LMCC/IDT/UNESC de acordo com ABNT NBR 8522:2008 e obtiveram-se os resultados demonstrados na Tabela 12:

Tabela 12 - Módulo de elasticidade em GPa

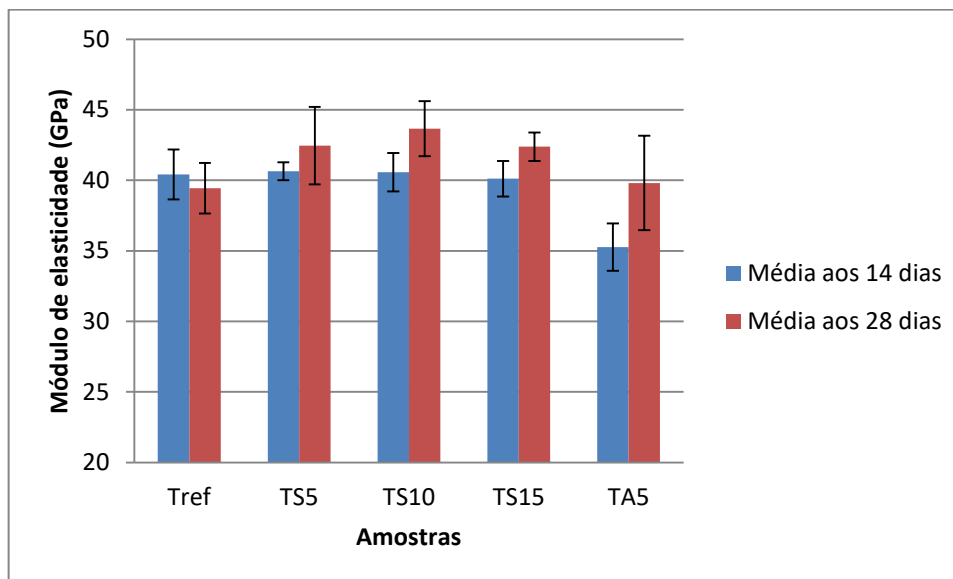
Amostra	Média aos 14 dias	Média aos 28 dias
Tref	40,41 ±1,77	39,43 ±1,79
TS5	40,64 ±0,64	42,45 ±2,75
TS10	40,57 ±1,36	43,66 ±1,96
TS15	40,11 ±1,27	42,38 ±1,01
TA5	35,26 ±1,68	39,81 ±3,35

Fonte: Do autor, 2017.

Analisando os resultados obtidos para o módulo de elasticidade por meio do método estatístico de ANOVA observou-se que, aos 14 dias, somente o traço TA5 teve uma queda significativa de 12,74% em relação ao Tref. O TS5 e TS10 apresentaram um aumento de 0,57% e 0,40%, respectivamente, em sua capacidade de resistência e o TS15 uma redução de 0,74% em relação ao Tref. Aos 28 dias de idade nenhum dos traços teve diferença significativa com relação ao Tref, tendo um acréscimo nos traços TS5, TS10, TS15 e TA5 de 7,66%, 10,73%, 7,48% e 0,96%, respectivamente. Comparando os traços estudados com o Tref, não observou-se diferença significativa no módulo de elasticidade, mesmo o REC não sendo um material aglomerante, não aferiu redução no módulo elástico, porém o TA5 observou-se uma grande queda no módulo de elasticidade em relação ao Tref aos 14 dias, com a provável causa de que conforme adicionou-se mais material fino e manteve-se a mesma relação água/cimento, a mesma quantidade de água teve que preencher todos os grãos finos e assim não reagindo apropriadamente com toda a quantidade de cimento e provavelmente gerou uma queda significativa no módulo de elasticidade com relação ao Tref.

A Figura 11 demonstra a média dos resultados obtidos para o módulo de elasticidade.

Figura 11- Módulo de elasticidade



Fonte: Do autor, 2017.

#### 4 CONCLUSÕES

Com a utilização do concreto em larga escala na construção civil e por consequência a grande utilização do cimento para a produção do mesmo, é necessário o estudo de alternativas de substituição parcial ou total do cimento na composição do concreto, já que o cimento demanda uma grande quantidade de energia para ser produzido e gera grandes quantidades de poluição ao meio ambiente.

O presente artigo buscou analisar a influência da substituição e adição parcial do cimento pelo resíduo de esmalte cerâmico (REC) nas propriedades mecânicas do concreto. Após os ensaios de caracterização do REC chegou-se ao resultado de que o material não pode ser classificado como um material pozolânico segundo as diretrizes da ABNT NBR 12653:2015, por não cumprir os requisitos mínimos repassados pela referida norma. Portanto o REC não é indicado para ser utilizado como substituição parcial do cimento na composição do concreto.

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios realizados, chegou-se a conclusão de que o TS5 foi o traço mais eficiente em relação ao Tref, pois não gerou diferença significativa nas resistências à compressão, tração e módulo de elasticidade em relação ao traço referência. O TA5 apresentou o pior desempenho nas três propriedades mecânicas analisadas em relação ao Tref enquanto o TS10 e TS15 mostrou-se mais deficiente apenas na resistência à compressão e não

apresentando diferença significativa nas resistências à tração e no módulo de elasticidade em relação ao traço referência.

## 5 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar o mesmo estudo com diferentes percentuais de adição
- Utilizar outros traços com maior quantidade de cimento
- Verificar a utilização do REC para outras propriedades do concreto

## 6 REFERÊNCIAS

ASSIS, Wilson de; BERG, Egon; STEFANI, Roberval. **Desenvolvimento de Esmaltes com Formulações a Base de Riolito**. 2002. Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v07n03/v7n3\\_6.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v07n03/v7n3_6.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2017.

ANFACER. **Perfil da Produção**. 2015. Disponível em: <<http://www.anfacer.org.br/produo>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais Pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751**: Materiais Pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cal aos 07 dias. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BARREDA, M<sup>a</sup> Fernanda Gazuela. **Estudio cinetico de la disolución de componentes de una frita en medio acuoso**. 2005. 307 f. Tese (Doutorado em Ciências Químicas) - : Universitat Jaume I de Castelló, Castellón.

BORGUET, Marcos. **Geração de resíduos do processo de produção de frita cerâmica**: depoimento. 02/03/2017. Entrevista concedida a Juliano Santana Carradore.

FIGUERÔA, JOSÉ DO PATROCÍNIO. Andrade, Tibério - **O ataque da Reação Álcali Agregado sobre as estruturas de Concreto**: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na Região Metropolitana do Recife – Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007. 228 p. Il., fig., tab., graf., fotos.

LIMA, Renilda Batista da Silva; SILVA, Antonio Sergio Ramos da; COSTA, Fernanda Nepomuceno. **REAÇÃO ÁLCALI AGREGADO E SEUS EFEITOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS**. Disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carmeane/materiais/ART\\_020709](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/carmeane/materiais/ART_020709)>. Acesso em: 18 jun. 2017.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NETTO, Rafael Mantuano. **MATERIAIS POZOLÂNICOS**. 2006. 149 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, A.m.; BROOKS, J.j.. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Aline Fernandes de. **Materiais de Construção**. 2010. Disponível em: <[https://notedi2.files.wordpress.com/2010/06/aula-mc-04\\_-pozolana\\_escoria.pdf](https://notedi2.files.wordpress.com/2010/06/aula-mc-04_-pozolana_escoria.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2017.

PRADO, U.S; BRESSIANI, J.C. **Panorama da Indústria Cerâmica Brasileira na Última Década**. Cerâmica Industrial, São Paulo, v.18, n.1, p. 07-11, 2013.

RIBEIRO, Manuel J.; VENTURA, José M.; LABRINCHA, João A.. **A Atomização como Processo de Obtenção de Pós para a Indústria Cerâmica**. 2001.

Disponível em: <[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n05/v6n5\\_5.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v06n05/v6n5_5.pdf)>.  
Acesso em: 29 maio 2017.

SCHABBACH, Luciana Maccarini et al. **Reformulação de um Esmalte Cerâmico Industrial Utilizando Resíduos Beneficiados em Substituição de Fritas e Matérias-primas Naturais.** 2013. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v18n5-6/v18n5-6a04.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2017.

ZANATTA, Luiz Otavio da Soler. **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO SÓLIDO PROVENIENTE DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE FRITAS PARA A PRODUÇÃO DE ESMALTES CERÂMICOS.** 2015. 19 f. Relatório de estágio - Curso de Tecnologia em Cerâmica e Vidro, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.