

# AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROCESSOS DE CURA EM CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE ESMALTE CERÂMICO

Laura Milanez Gonçalves (1), Elaine Guglielmi Pavei Antunes (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) [lauramilanez@hotmail.com](mailto:lauramilanez@hotmail.com) (2) [elainegpa@unescc.net](mailto:elainegpa@unescc.net)

## RESUMO

Diante dos problemas causados pela produção de cimento e de tamanha utilização desse material, existem alternativas como a incorporação de adições ao cimento Portland, que venham a beneficiar o meio ambiente, e principalmente sem causar danos à resistência e durabilidade das construções. Os resíduos da indústria cerâmica apresentam-se como alternativa, pois possuem características com potencial de reduzir impactos ambientais da produção do cimento e produzir cimentos mais eficientes. Além de estudos de novos materiais, o concreto para adquirir as propriedades as quais foi especificado, é importante que as etapas do processo de controle tecnológico sejam eficientes, dentre essas etapas destaca-se o processo de cura, que restringe evaporação precoce da água responsável pela hidratação do cimento, desenvolvendo resistência e durabilidade. O presente estudo buscou avaliar propriedades mecânicas e físicas do concreto aos 14 e 28 dias por meio de ensaios em concreto referência e concreto com resíduo. A fração aglomerante do material cimentício com resíduo foi composta de 85% de cimento Portland CP IV e 15% de resíduo de esmalte cerâmico (REC). O material cimentício suplementar (SCM) foi caracterizado e os concretos produzidos submetidos a diferentes condições de cura (úmida, química, térmica e ao ar). Procurou-se identificar se o resíduo altera a resistência à compressão nos diferentes processos de cura, em relação ao concreto referência. Mediante os resultados obtidos, pode-se concluir que a substituição do cimento por resíduo REC, no teor estudado, não causou significativa redução da resistência mecânica e durabilidade dos concretos estudados nos diferentes processos de cura. Portanto, percebe-se a viabilidade de sua aplicação como material cimentício suplementar (SCM) com característica predominante de filler.

*Palavras-chave: Resíduo de esmalte cerâmico, Material Cimentício Suplementar (SCM), Processos de cura.*

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é amplamente utilizado em quase todas as atividades de construção, a tal ponto de criar uma interdependência com os sistemas construtivos (RAO et al., 2015). Atualmente é o principal material e o produto de construção mais fabricado do mundo em termos de volume. O homem

não consome nenhum outro material em tal quantidade, a não ser a água (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

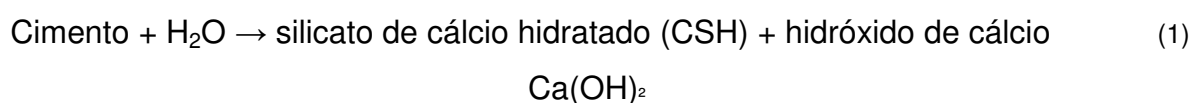
Conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2009), apesar de todas as vantagens da utilização do concreto na construção civil, a produção de tal material traz consigo uma série de problemas ambientais, principalmente os gerados durante o processo produtivo do cimento, entre os quais estão o esgotamento de matéria prima, poluição de rios, desmoronamento, erosão e emissão dos gases do efeito estufa.

A busca por materiais cimentícios suplementares (SCMs) é unânime mundialmente, pois é considerada como uma das alternativas para reduzir os impactos ambientais e por ser capaz de produzir cimentos mais eficientes, reduzindo assim, sua quantidade nas composições dos materiais (MOESGAARD et al., 2011).

Segundo Aitcin (2000), os materiais cimentícios suplementares (SCMs) são em sua maioria materiais com uma característica em comum, alguma forma de sílica vítrea reativa que, na presença de água e a temperatura ambiente, pode combinar com o hidróxido de cálcio, formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), durante a hidratação do cimento Portland melhorando a coesão da microestrutura resultante.

O termo hidratação do cimento refere-se à reação química que ocorre com os compostos do cimento quando entram em contato com a água, formando produtos chamados de hidrato. Estes produtos da reação correspondem à introdução da molécula de água na estrutura molecular das espécies, o que faz estes desenvolver características de pega e endurecimento (MEHTA, MONTEIRO, 2008).

Durante processo de hidratação do cimento Portland é produzido, silicato de cálcio hidratado (CSH) e o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), dando origem as reações pozolânicas (reatividade). A reação entre a pozolana com o hidróxido de cálcio liberado durante a hidratação do cimento produz CSH extras, e que segundo Mehta & Monteiro (2008), são os principais responsáveis por sua característica adesiva e são estáveis em meios aquosos. As reações químicas mencionadas são apresentadas na Reação 01 e Reação 02.



Para que a reação pozolânica aconteça de forma completa é inerente o controle tecnológico na etapa de cura dos concretos (SANTOS. 2006).

Segundo Bauer (2001, p. 260), entende-se por cura do concreto como “um conjunto de medidas que têm por objetivo evitar a evaporação da água utilizada na mistura do concreto, a qual deverá reagir com o cimento, hidratando-o”.

Conforme a ABNT NBR 16055 (2012, p.35), a cura do concreto deve ser executada logo após a moldagem do concreto, evitando assim a secagem prematura e possibilitando que este desenvolva a resistência e a durabilidade adequadas. Essa mesma normalização cita ainda que as mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade podem ser considerados como os agentes deletérios mais comuns ao concreto em seu início de vida.

Uma boa execução dos procedimentos de cura auxilia a garantir o desempenho esperado, assim reduzindo o custo com manutenção e diminuição de resíduos provenientes deste material (BAUER 2001, p. 260). Uma cura inadequada causará redução da resistência e da durabilidade do concreto, provocando fissura e deixando a camada superficial fraca, porosa e permeável, vulnerável à entrada de substâncias agressivas provenientes do meio-ambiente.

Esta pesquisa buscou estudar a incorporação de resíduo REC (resíduos de esmalte cerâmico), encontrada nas indústrias cerâmicas da região sul do Estado de Santa Catarina, que atua neste segmento, é oriundo da fabricação de esmaltes que não se enquadram aos padrões de qualidade da empresa (cor, textura). O Resíduo trata-se de um material fino e possivelmente reativo, que pode gerar uma redução de custos, aumentar a resistência mecânica e ainda incrementar a durabilidade das estruturas de concreto.

Conforme sua ação físico-química no concreto, os SCMs podem ser classificados com reatividade (pozolanas) ou de preenchimento de poros (fíler) (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A eficiência da classificação vai depender do tipo de material, da quantidade utilizada, de sua composição química, mineralógica e granulométrica, das condições de cura e quantidade de fases amorfas (TAVARES, 2008).

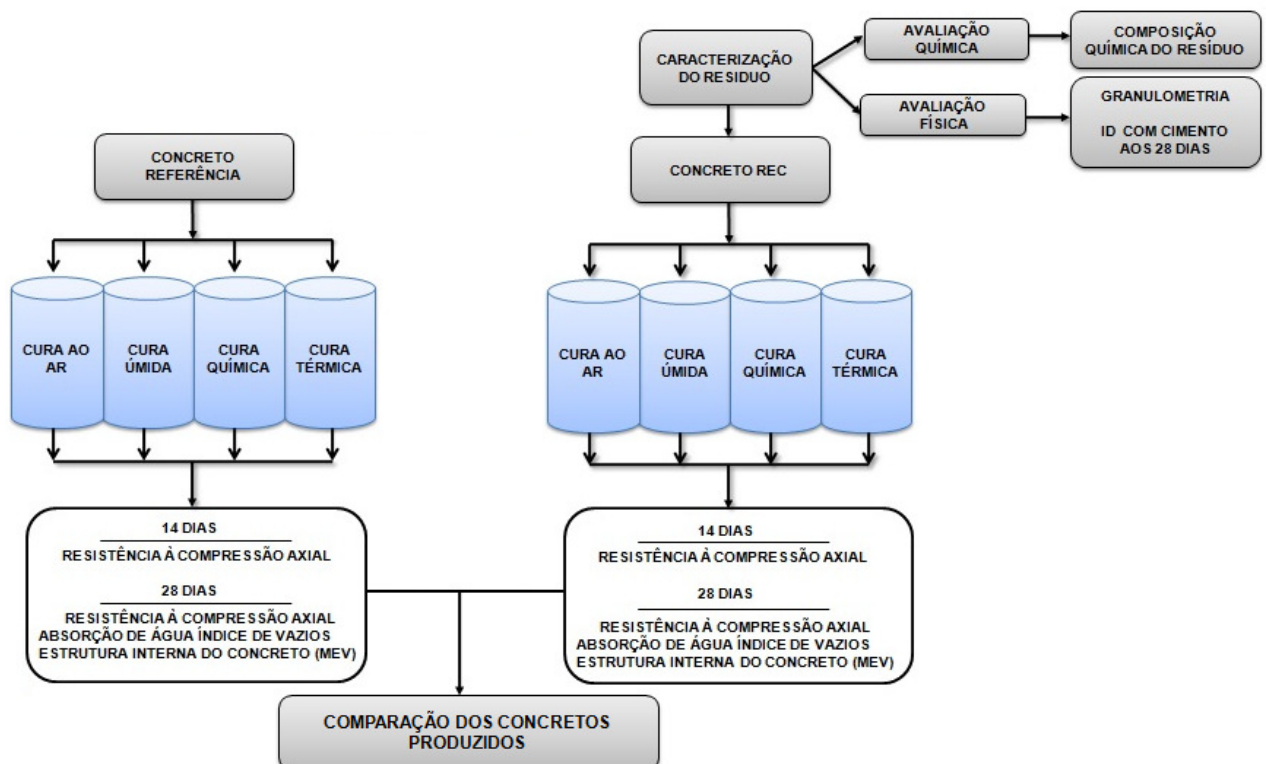
O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência de diferentes processos de cura nas propriedades do concreto com incorporação do resíduo REC (resíduo de esmalte cerâmico) em substituição parcial do cimento Portland. Para tal, fez-se necessário, primeiramente avaliar-se o resíduo possui características de reatividade (pozolanas)

ou de preenchimento de vazios (fíler). Posteriormente, submeteu-se o concreto de referência e o concreto com REC, substituição em 15% do cimento Portland, à cura ao ar, cura úmida, cura química e cura térmica. Após avaliou-se a resistência à compressão axial, absorção de água, índice de vazios e a microestrutura com a microscopia eletrônica de varredura (MEV) no referido concreto, aos 14 e 28 dias. Procurou-se identificar se o resíduo altera a resistência à compressão nos diferentes processos de cura, em relação ao concreto referência.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo divide-se em quatro etapas, sendo que a primeira delas refere-se ao estudo do resíduo, por meio de sua caracterização físico-química e de desempenho pozolânico. A segunda consiste na produção dos concretos e, posterior exposição aos diferentes tipos de cura. A terceira etapa refere-se à execução de alguns ensaios de verificação das propriedades mecânicas e físicas, a quarta, e última etapa, a análise dos resultados. Essas etapas são apresentadas sequencialmente no fluxograma apresentado na Figura 01.

Figura 01 - Fluxograma das atividades.



Fonte: O Autor, 2017.

## 2.1 MATERIAS

### 2.1.1 Cimento

O cimento Portland utilizado nesta pesquisa foi o CP IV-32, com massa específica 2,2 g/cm<sup>3</sup>.

A norma ABNT NBR 5736 (1999), específica que um cimento Portland do tipo pozolânico, deve ter as adições de materiais pozolânicos, na ordem 15% á 50% da massa total do ligante. A composição do cimento deve estar compreendida entre os limites fixados na Tabela 01.

Tabela 01 – Tipo de cimento e sua composição.

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)			
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno	Material Pozolânico	Material Carbonático
Pozolânico	CPIV	85-45	-	15-50	0-5

Fonte: NBR 5736, 1999.

### 2.1.2 Agregados

O agregado miúdo trata-se de uma areia media com módulo de finura de 2,2 e massa específica de 2,54 g/cm<sup>3</sup>. O agregado graúdo possui dimensão máxima característica (DMC) de 19 mm e massa específica de 2,83 g/cm<sup>3</sup>. Trata-se de um agregado artificial, originado de rocha basáltica.

### 2.1.3 Resíduo de esmalte cerâmico (REC)

O resíduo REC é proveniente do processo de fabricação de esmaltes cerâmicos, oriundo de esmaltes que não se enquadram nos padrões de qualidade da empresa. Camada vítrea que recobre as placas ou corpos cerâmicos, obtido pela fusão de vidro em pó, em temperaturas elevadas (em torno de 1500 °C). O pó é fundido, escorre e endurece depois na forma de um revestimento vítreo de grande durabilidade (SÁNCHEZ, 1997).

Os esmaltes oferecem beleza e funcionalidade aos produtos cerâmicos, pois são elementos fundamentais na elaboração de texturas, cores, efeitos dos produtos cerâmicos. Conferem ainda resistência mecânica, à abrasão, ao risco, ao ataque químico entre outras (VIDRES DO BRASIL, 2011).

Por se tratar de um material fino e possivelmente reativo, foi proposto a realização de algum ensaio de atividade pozolânica. Devido a isso para definir seu potencial pozolânico, á uma caracterização de acordo com a ABNT NBR 12653 (2014), que específica às exigências químicas e físicas de um material pozolânico, demonstradas nas Tabelas 02 e 03, respectivamente.

A norma ABNT NBR 12653 (2014), estabelece que pozolanas da classe N podem ser naturais (materiais vulcânicos, folhelhos calcinados e terra diatomácea) ou artificiais. Na classe C, enquadram-se as cinzas volantes produzidas pela queima do carvão mineral em termoelétricas. Qualquer pozolana que apresente requisitos que diferem das classes anteriores são classificadas em classe E.

Tabela 02 - Exigências químicas para materiais pozolânicos.

Propriedades	Classes de material Pozolânico		
	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
SO <sub>3</sub> , %	≤ 4	≤ 5	≤ 5
Teor de umidade, %	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Perda de fogo, %	≤ 10	≤ 6	≤ 6
Álcalis disponíveis em Na <sub>2</sub> O, %	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5

Fonte: NBR 12653, 2014.

Tabela 03 - Exigências físicas para materiais pozolânicos.

Propriedades	Classes de material pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45 µm.	< 20%	< 20%	< 20%
Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle.	≥ 90%	≥ 90%	≥ 90%
Atividade pozolânica com cal aos sete dias.	≥ 6 MPa	≥ 6 MPa	≥ 6 MPa

Fonte: NBR 12653, 2014.

A caracterização do REC consiste-se na análise da distribuição granulométrica, na composição química, no ensaio de difração de raio x (DRX) e no ensaio de índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias este último, conforme prescrições da ABNT NBR 5752 (2014).

### 2.1.3.1 Distribuição granulométrica

Esta técnica foi utilizada para verificar a granulometria das partículas das amostras de REC, medida com um Analisador de partículas a laser, da marca Cilas, modelo PSA 1064. As análises foram executadas no Laboratório de Caracterização de Materiais (IDT/UNESC).

### 2.1.3.2 Índice de desempenho com cimento

Para este ensaio seguiu-se o procedimento da ABNT NBR 5752 (2014). O método consiste em avaliar o efeito pozolânico do REC por meio da relação entre a resistência à compressão de uma argamassa de referência, constituída somente de cimento Portland CII-F-32 e areia, e, outra argamassa, pela adição pretendida. O ensaio foi conduzido no Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC (IDT/UNESC).

Foram preparados 12 corpos de prova de argamassa cilíndricos 5,0 cm x 10,0 cm. A ABNT NBR 12653 (2014), específica como propriedade física requerida para uma pozolana, à resistência mínima de 90% em relação à argamassa de referência. Para quantificação desse parâmetro utilizou-se a Equação 01.

$$I_{\text{cimento}} = \frac{F_{cB}}{F_{cA}} \times 100$$

(1)

Onde:

I = Índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em porcentagem.

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

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

### 2.1.3.3 Difração de raios X (DRX)

Utilizou-se a difração de raios X para caracterizar ou identificar as espécies cristalinas da amostra de REC. Para a identificação das fases foi utilizado um Difrátômetro marca Shimadzu, modelo XRD-6000, radiação k-α com tubo de cobre de comprimento de onda (λ) de 1,5406 Å operando com 25 kV de voltagem e 25 mA

de corrente elétrica. Equipamento pertencente ao Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT/UNESC).

#### 2.1.4 Resina acrílica

A resina acrílica foi utilizada na execução da cura química. As propriedades físico-químicas do produto encontram-se na Tabela 04 e foram extraídas do boletim técnico do material, fornecido pelo fabricante.

Tabela 04 – Propriedades físico-químicas do produto.

<b>Propriedades Físico-Químicas</b>	
Estado físico	Líquido
Cor	Branco leitoso
Odor	Característico
Nome químico	Resina Acrílica
pH	6-8
Peso específico	>1,000 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidade em água	Solúvel
Viscosidade	20 a 30 segundos
Teor de sólidos	10 a 15%

Fonte: Fabricante, 2010.

## 2.2 METODOLOGIA

### 2.2.1 Concreto Referência

O traço do concreto foi 1:1,3:1,7 (cimento: areia: brita) com relação água/cimento de 0,37 e abatimento de tronco de cone 10,00 cm  $\pm$  2 cm, medido segundo a norma NBR NM 67 (1998), para atender a uma resistência de compressão média aproximada de 50 MPa.

A relação água/cimento de 0,37 e resistência almejada de 50 MPa deu-se devido ao objetivo de obterem-se concretos que atendam a classe de agressividade IV (expostos a meios agressivos). A ABNT NBR 6118 (2014), na qual se especifica uma relação água/cimento menor que 0,45 e resistências à compressão aos 28 dias maiores do que 40 MPa.

Primeiramente foi realizada a secagem dos agregados por 24h em estufa com temperatura máxima de 105<sup>o</sup>  $\pm$  5<sup>o</sup>C, após, pesados e separados conforme o traço. Em seguida, a mistura dos componentes, e a moldagem dos corpos de prova, cilíndricos de 10cm de diâmetro e 20cm altura, conforme especificações da ABNT NBR 5738 (2016). Após foram desmoldados, identificados e levados aos diferentes



processos de cura, sendo 09 corpos de prova para cada método de cura (cura ao ar, cura úmida, cura química e cura térmica), totalizando 36 corpos de prova com concreto referência.

### 2.2.2 Concreto com incorporação do resíduo REC

O concreto com substituição de 15% do cimento Portland pelo material REC, foi moldado similarmente ao concreto referência e seguiu-se as mesmas especificações do referência em relação ao abatimento de (10,00 cm  $\pm$  2 cm) e água/cimento (0,37). Confeccionaram-se 36 corpos de prova de concreto com inserção do REC.

A escolha dos 15% de teor de substituição foi devido à utilização do cimento CPIV, que já é um cimento Portland pozolânico. Buscou-se com o fornecedor a informação de qual o percentual de pozolana adicionado na composição do cimento (CPIV-32). Conforme o fabricante, a média de material com características pozolânicas incorporados no cimento desta pesquisa é de 35%.

A partir da informação do fabricante, definido 15% na massa do cimento Portland, com objetivo de se obter a máxima da substituição permitida (%) de teor de material pozolânico (50%) no cimento CPIV, de acordo com a norma ABNT NBR 5736 (1999). Os traços do concreto de referência e do concreto com substituição de REC estão apresentados na Tabela 05.

Tabela 05 - Traços utilizados nos experimentos.

<b>Tipo de mistura</b>	<b>Composição unitária em massa (cimento/resíduo: areia: brita: a/c)</b>
Referência	1: 1,3: 1,7: 0,37
15% de substituição	(0,85 + 0,15) 1,3: 1,7: 0,37

Fonte: O Autor, 2017.

A Figura 02 apresenta os corpos de prova do concreto com utilização de REC codificados segundo o tipo de cura ao qual ficaram submetidos.

Ao total, foram confeccionados 72 corpos de prova de concreto cimento Portland, submetidos em diferentes processos de cura, sendo: ao ar, úmida, química e térmica.

Figura 02 - CP's separados por métodos de cura.



Fonte: O Autor, 2017.

## 2.2.3 Sistemas de cura empregados

### 2.2.3.1 Cura ao ar

Neste tipo de cura os corpos de prova ficaram expostos em ambiente externo, às intempéries da localidade (chuva, sol e vento), até a data dos ensaios.

Figura 03 – Cura ao ar em ambiente externo.



Fonte: O Autor, 2017.

### 2.2.3.2 Cura Úmida

Os corpos de prova foram submersos em um tanque de com água e cal, em temperatura ambiente (23°C), conforme norma ABNT NBR 5738 (2016), até a data dos ensaios.

Figura 04 – Corpos de prova de concreto submetidos à cura úmida em tanque com água e cal.



Fonte: O Autor, 2017.

### 2.2.3.3 Cura Química

Consistiu em aspergir um produto, especificado para tal uso, a base de resina acrílica. O produto forma uma película na superfície dos corpos de prova, impedindo que haja evaporação da água do concreto. Aplicação do produto, conforme a Figura 05.

Figura 05 – Cura química com aplicação do produto a base de resina.



Fonte: O Autor, 2017.

### 2.2.3.4 Cura Térmica

Os corpos de prova foram inseridos e submersos em água com temperatura controlada em 60°C, até a data dos ensaios. Optou-se pela temperatura de 60°C em virtude de temperatura acima de 65°C, poder trazer efeitos prejudiciais ao concreto, ou seja, tensões internas, possivelmente resultando em fissuração térmica, devido ao choque térmico, conforme Neville & Brooks (2013).

Figura 06 – Cura térmica por imersão à 60°C.



Fonte: O Autor, 2017.

## 2.2.4 Ensaios e análises realizadas

Após a cura dos concretos, verificou-se a resistência à compressão axial, de acordo com a norma ABNT NBR 5739 (2007), os valores de absorção de água e índice de vazios, segundo as especificações da ABNT NBR 9778 (2009). Ao final, efetuou-se a última verificação que se trata da análise da microestrutura dos corpos de prova, pela microscopia eletrônica de Varredura (MEV).

### 2.2.4.1 Resistência à compressão axial

Os ensaios para a determinação da resistência à compressão axial foram realizados de acordo com as orientações da ABNT NBR 5739 (2007), que estabelece a Equação 02 para o cálculo da resistência ( $F_c$ ). Realizou-se o ensaio nos corpos de prova, nas idades de 14 e 28 dias. O equipamento utilizado trata-se de uma prensa hidráulica com capacidade de carga de 200 toneladas, modelo PC200I, da marca EMIC, que conectada a um computador e através do software TESC – Test Script realiza uma medição direta e emite laudos de resistência à compressão.

$$F_c \text{ (Mpa)} = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2}$$

(2)

Onde:

F = Força máxima alcançada (N);

D = Diâmetro do corpo de prova (mm).

Figura 07 – Ensaio de resistência à compressão axial.

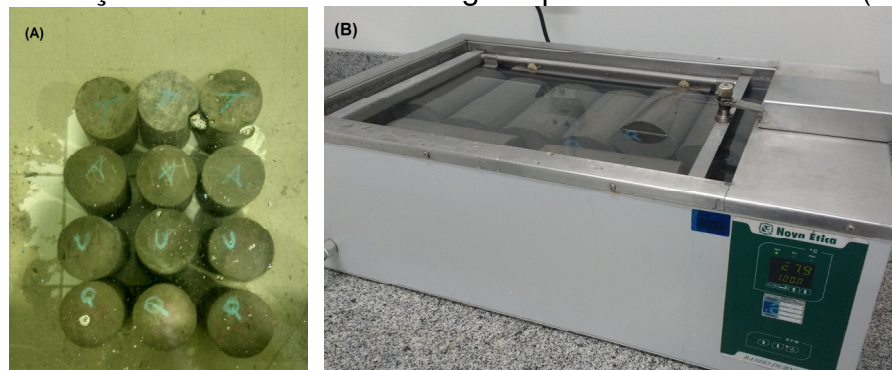


Fonte: O Autor, 2017.

#### 2.2.4.2 Absorção de água e índice de vazios

A determinação de absorção de água e índice de vazios foi realizada baseando-se na ABNT NBR 9778 (2009). Primeiramente 03 corpos de prova de cada método de cura foram imersos em água por 03 dias (Figura 8A) e após, passaram por processo de fervura (Figura 8B) por 5 h, sendo ao final determinada a massa imersa em água, em balança hidrostática ( $M_i$ ) (Figura 8C). Em seguida determinou-se a massa saturada em água após imersão e fervura (Figura 8D), com secagem superficial com pano seco ( $M_{sat}$ ).

Figura 08 – (A) Corpos de prova em imerso em água e (B) em fervura (C) determinação da massa imersa em água, em balança hidrostática e (D) determinação massa saturada em água após imersão e fervura ( $M_{sat}$ ).





Fonte: O Autor, 2017.

Em seguida colocados em estufa, a 105 °C, por três dias, e foi determinada sua massa seca (Ms) (Figura 09).

Figura 09 – Determinação massa seca (Ms).



Fonte: O Autor, 2017.

Assim determinando as propriedades de absorção de água (A), índice de vazios (Iv), massa específica da amostra seca (Ps), massa específica da amostra saturada (Psat) e massa específica real (Pr), cujos resultados foram obtidos, respectivamente, pelas Equações 03, 04, 05, 06 e 07, a seguir, conforme ABNT NBR 9778 (2009).

$$A = \frac{M(\text{Sat}) - M(s)}{M(s)} \times 100 \quad (3)$$

$$Iv = \frac{M(\text{Sat}) - M(s)}{M(\text{Sat}) - M(i)} \times 100 \quad (4)$$

$$Ps = \frac{M(s)}{M(\text{Sat}) - M(i)} \quad (5)$$

$$Psat = \frac{M(\text{Sat})}{M(\text{Sat}) - M(i)} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{M(s)}{M(s) - M(i)} \quad (7)$$

Onde:

M(Sat) = Massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g/cm<sup>3</sup>).

M(s) = Massa da amostra seco em estufa (g/cm<sup>3</sup>).

M(i) = Massa da amostra saturada imersa em água após fervura (g/cm<sup>3</sup>).

#### 2.2.4.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Esta técnica permite observar a estrutura cristalina com efeito de terceira dimensão de superfície irregulares e identificar as fases do material com base na análise da microscopia eletrônica de varredura (MEV). Realizou-se o estudo da microestrutura do concreto REC e do concreto de referência, apenas para a cura úmida, pois conforme a norma ABNT NBR 5738 (2016) é o procedimento padrão para comprovar a qualidade de um concreto de cimento Portland.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 ANÁLISES DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROCESSOS DE CURA EM CONCRETO REFERÊNCIA

##### 3.1.1 Determinações da resistência de compressão axial

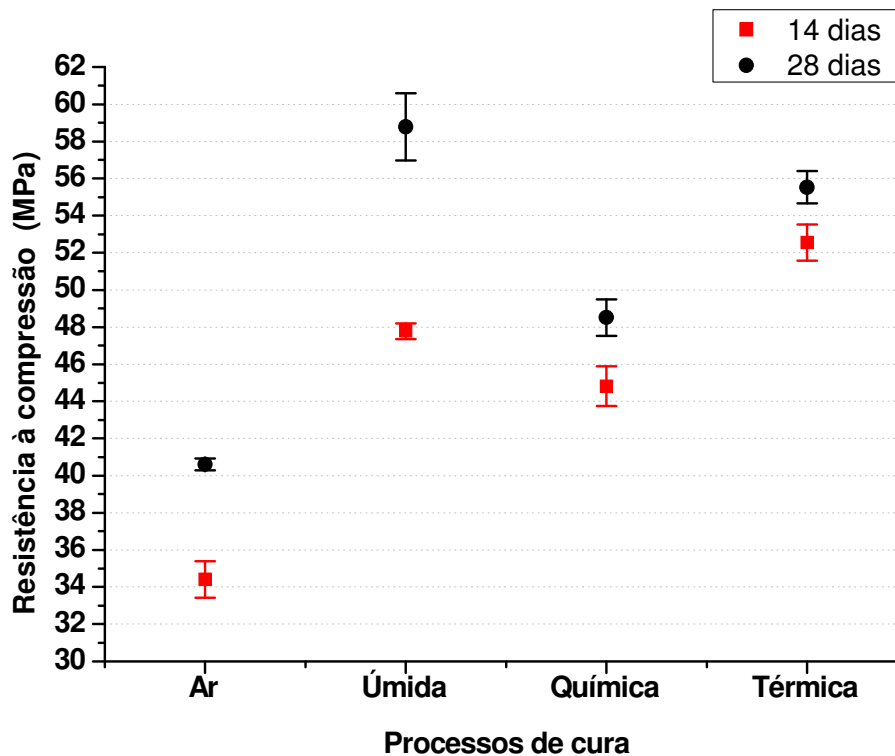
A Tabela 06 e Figura 10 identificam os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão do concreto referência, com 14 e 28 dias de cura.

Tabela 06 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

Processos de cura	Concreto Referência	
	Ensaio de Resistência à Compressão	
	Média (MPa) 14 dias	Média (MPa) 28 dias
Cura ao Ar	34,41 ± 0,99	40,59 ± 0,32
Cura Úmida	47,78 ± 0,42	58,78 ± 1,81
Cura Química	44,81 ± 1,07	48,51 ± 0,98
Cura Térmica	52,54 ± 0,97	55,53 ± 0,88

Fonte: O Autor, 2017.

Figura 10 – Resistência à compressão axial - concreto referência.



Fonte: O Autor, 2017.

De acordo com Camarini & Cincotto (1995) a cura térmica tem como objetivo principal tornar mais rápido o processo de cura dos concretos e obter uma resistência mecânica mínima desejada, em um curto período de tempo.

Este fato comprova-se aos 14 dias, observou-se que para o concreto referência, a cura térmica apresentou o melhor desempenho (52,54 MPa ± 0,97).

Segundo Neville, Brooks (2013), quando se utiliza cura térmica os produtos de concreto podem ser manuseados logo após a moldagem, permitindo a remoção das fôrmas ou liberação das pistas de protensão mais cedo, além de diminuir a necessidade de espaço de armazenamento. Devido a estas vantagens o processo de cura térmica é utilizado principalmente em produtos pré-moldados.

Segundo Neville (2016), deve-se ter rigor quanto ao controle de temperatura empregado, pois quanto maior a temperatura do concreto em idades iniciais, menor a resistência em longo prazo. Tal fato se explica pela rápida hidratação inicial que ocasiona uma distribuição não uniforme do gel de cimento com uma estrutura física mais pobre, com isso não há tempo disponível suficiente para que os produtos de hidratação se afastem dos grãos de cimento e para uma precipitação uniforme nos espaços intersticiais. Ainda de acordo com o mesmo autor como resultado, a



concentração de produtos hidratados se localiza nas proximidades dos grãos de cimento em hidratação, um processo que retarda a hidratação subsequente e, conseqüentemente o desenvolvimento da resistência em longo prazo.

Este fato comprova-se aos 28 dias, quando a cura úmida ultrapassa a cura térmica, que inicialmente desenvolve a resistência mais lenta, porém é intenso até os 28 dias (58,78 Mpa  $\pm$  1,81).

De acordo com a norma ABNT NBR 5738 (2016) que estabelece, para comprovar a qualidade de um concreto de cimento Portland, a cura úmida (saturada com cal) como procedimento padrão. Segundo Neville (2016), a presença do cal auxilia no desenvolvimento das resistências mecânicas, pois o concreto de cimento Portland é alcalino.

### 3.1.2 Determinações da absorção e índice de vazios

A Tabela 07 mostra os resultados obtidos nos ensaios absorção e índice de vazios do concreto referência, aos 28 dias de cura.

Tabela 07 – Concreto Referência aos 28 dias.

Propriedades	Cura ao Ar	Cura Úmida	Cura Química	Cura Térmica
Massa específica seca (g/cm <sup>3</sup> )	2,29	2,42	2,41	2,41
Massa específica saturada (g/cm <sup>3</sup> )	2,43	2,50	2,50	2,47
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,64	2,61	2,63	2,58
Absorção (%)	5,72	2,99	3,35	2,74
Índice de vazios (%)	13,12	7,25	8,08	6,60

Fonte: O Autor, 2017.

As mais eficientes curas na resistência à compressão do concreto referência aos 28 dias foram obtidas através da cura úmida e cura térmica. O ensaio de absorção e índice de vazios comprova estes resultados finais, pois para estes tipos de cura obtiveram-se as menores taxas de absorção e índice de vazios.

Sabe-se que a porosidade do material é um dos principais fatores que afetam a durabilidade das estruturas e propriedades mecânicas, baixa porosidade proporciona um aumento de resistência mecânica do concreto. Conforme Mehta & Monteiro (2008), a resistência mecânica está associada à parte sólida e os vazios são prejudiciais ao desempenho da mesma.

## 3.2 ANÁLISES DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROCESSOS DE CURA EM CONCRETO COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO REC

Primeiramente foi feito uma análise do potencial do resíduo REC químico-física, identificando se há reatividade (pozolana) ou apenas contribui para preenchimentos de vazios (fíler).

### 3.2.1 Caracterizações do resíduo REC

Cabe salientar que antes de fazer-se a análise da influência dos tipos de cura com o concreto com REC, fez-se, primeiramente, a caracterização do resíduo através dos ensaios de composição químico-física, a análise de difração de raios X (DRX) e avaliação de imagens pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV), que visa identificar as características do resíduo.

#### 3.2.1.1 Análise Química

A composição química do resíduo pesquisado, descrita na Tabela 08, fornecido pelo fabricante.

Tabela 08 – Composição química do resíduo.

Elementos	Teor (%)
SiO <sub>2</sub>	54.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21
TiO <sub>2</sub>	0.47
MgO	1.94
CaO	10.69
Na <sub>2</sub> O	2.31
K <sub>2</sub> O	1.80
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	4.50

Fonte: Fabricante, 2017.

A norma ABNT NBR 12653 (2014), estabelece teor de óxidos (SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) deve ser ≥ 70% para um material pozolânico de classes N e C, ou ≥ 50% para um material de classe E. O resíduo atingiu um resultado de 64,52%, atendendo ao requisito, classe E.

Em relação ao teor de umidade e o composto químico  $\text{SO}_3$ , não estão apresentados na análise química, pois não há esses compostos no material, considerado de acordo com a norma, que cita teor de umidade  $\leq 3\%$  e  $\text{SO}_3 \leq 5\%$ .

A perda de fogo, citada na norma deve ser menor que  $\leq 6\%$  para uma pozolana classe E o resíduo atende ao parâmetro, atingindo apenas 4,50%.

Com base nestes requisitos, pode-se afirmar, que o resíduo REC, tem um potencial pozolânico, no entanto na análise dos álcalis disponíveis em  $\text{Na}_2\text{O}$ , o resíduo REC não atende a prescrição, pois ele excede o valor descrito pela norma.

Assim ao final da análise química, por não atender este requisito o resíduo REC, não é classificado como um material pozolânico, porém deve-se analisar as propriedades físicas para observar se há alguma reatividade em outros requisitos.

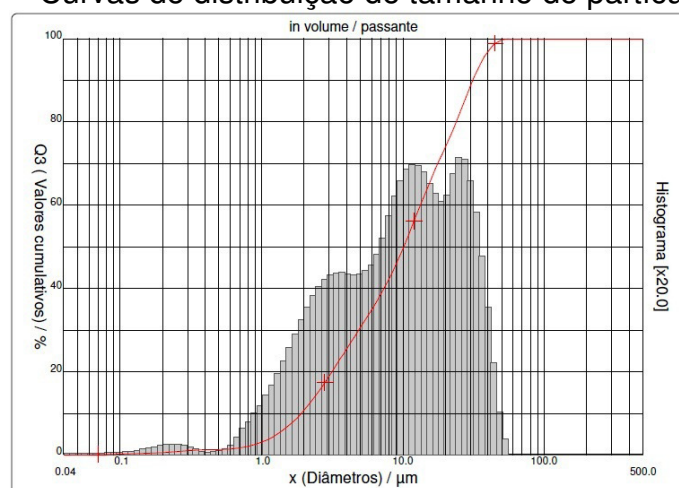
### 3.2.1.2 Análise Física

#### 3.2.1.2.1 Análise Granulométrica

A granulometria a laser, mostrada na Figura 11, indica que a amostra do REC utilizada atendeu o parâmetro estabelecido pela ABNT NBR 12653 (2014) que define um limite mínimo de finura para as pozolanas tipo E, em que o percentual máximo retido na peneira  $45\mu\text{m}$  tem que ser menor de  $<20\%$ , A amostra do resíduo pesquisada, possui mais de 90% dos seus grãos inferiores a  $31,34\mu\text{m}$  e diâmetro médio de  $13,59\mu\text{m}$ .

Quanto mais fina e vítrea for à pozolana, mais rápida será a reação com o hidróxido de cálcio, que é liberada em grande quantidade na hidratação (STEINER, 2014).

Figura 11 – Curvas de distribuição de tamanho de partícula do REC.



Fonte: O Autor, 2017.

### 3.2.1.2.2 Índice de desempenho com cimento Portland (ID)

A norma ABNT NBR 5752 (2014), menciona o ensaio de ID com cimento Portland aos 28 dias, onde a argamassa com substituição do cimento por resíduo pesquisado deve apresentar resistência mínima de 90%, quando comparado com uma argamassa de referência confeccionada com CP II-F-32. Resultados do ensaio de resistência à compressão expressos na Tabela 09.

Tabela 09 - Ensaio de resistência à compressão axial.

Mistura	Média (MPa)
Argamassa Referência	32,54
Argamassa REC	27,52

Fonte: O Autor, 2017.

De acordo com os resultados, verifica-se que a média dos CP's da argamassa REC (27,52 MPa) em comparação com a de referência (32,54 MPa) é de 84,57%. Os resultados de índice de desempenho não atingiram o mínimo exigido pela norma ( $\geq 90\%$ ), não sendo possível classificá-la como material pozolânico neste requisito.

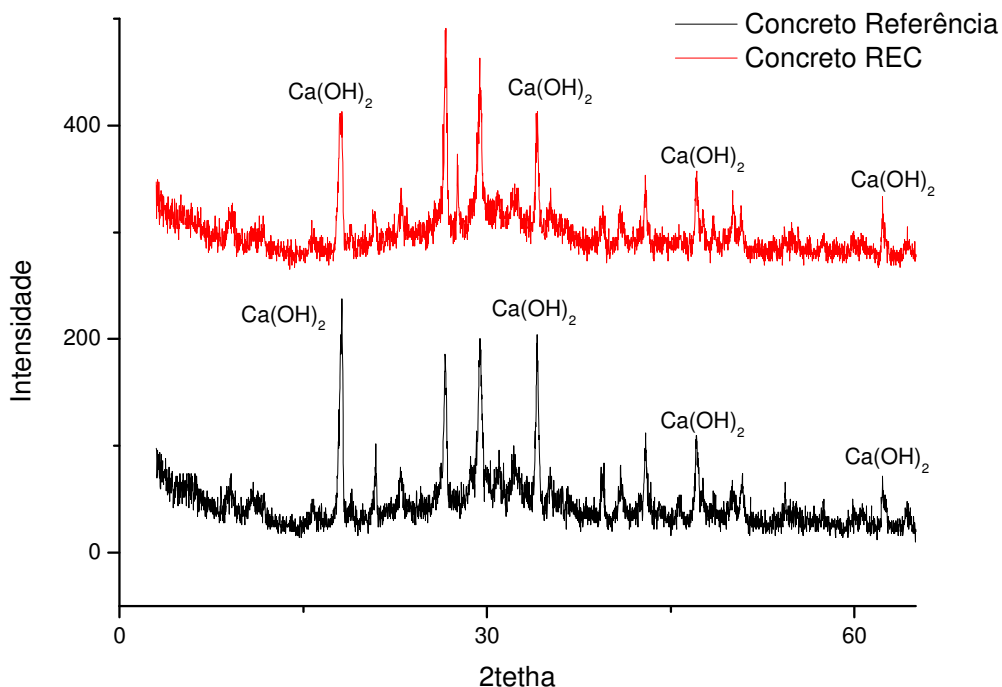
### 3.2.1.3 Difração de raios X (DRX)

Na seqüência, pasta com e sem resíduo, foram avaliadas por meio do ensaio de DRX. Com objetivo de identificar se ocorreu alguma reatividade com hidróxidos de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , pela reação pozolânica. O ensaio foi realizado em pastas aos 28 dias. Identificados no difratogramas os picos de hidróxidos de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , conforme apresentado na Figura 12.

Verifica-se que houve uma discreta diminuição na intensidade dos picos de  $\text{Ca(OH)}_2$ , mostrando que o resíduo não proporcionou o aumento da atividade pozolânica.

Portanto, verifica-se que ocorre um pequeno consumo de hidróxidos de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , ou seja, que o REC é um material reativo, porém com baixa atividade pozolânica.

Figura 12 – Difratoograma de raios X (DRX).



Fonte: O Autor, 2017.

Mediante todos os ensaios relacionados ao material pozolânico, o resíduo não pode ser caracterizado como uma pozolana, dado a pequena reatividade. No entanto, foi utilizado nesta pesquisa como SCM.

#### 3.2.1.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Devido a pouca atividade química a uma possibilidade de o resíduo atuar basicamente um efeito físico, predominante de preenchimento dos vazios e complemento de granulometria, assim analisada as imagens da microestrutura do concreto através da microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizada apenas a cura úmida, isso devido ao fato de ser a cura padrão, como já citada neste artigo.

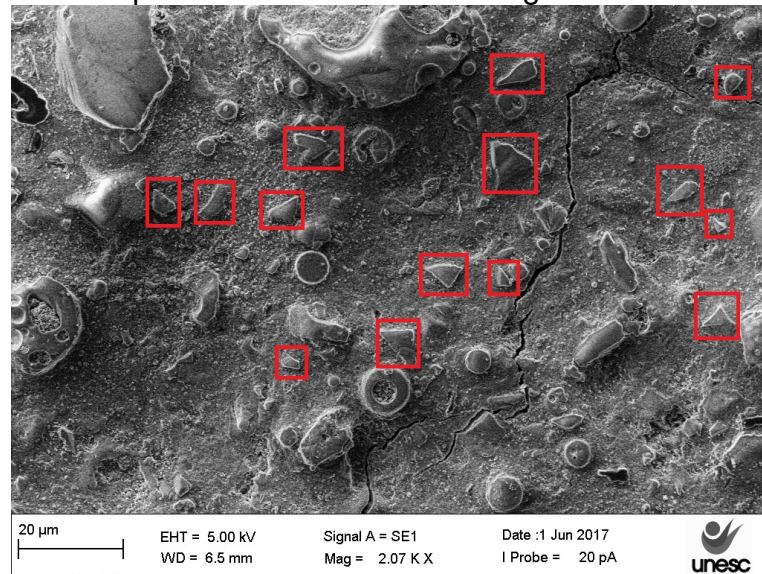
Pode-se observar na Figura 13 do concreto com REC, alguns componentes com formatos irregulares e identificados na referida Figura, possivelmente trata-se do resíduo incorporado. Portanto afere-se que a uma presença física do material, e assim ele atua como preenchimento dos vazios.

Com base, nesta análise, percebe-se que um porcentual do material reagiu com a pasta do cimento e outro porcentual age pelo processo físico auxiliando no

empacotamento do material cimentício, facilitando a aproximação das partículas, assim um concreto mais compacto quando comparado com o concreto referência, conforme apresentado na Figura 14.

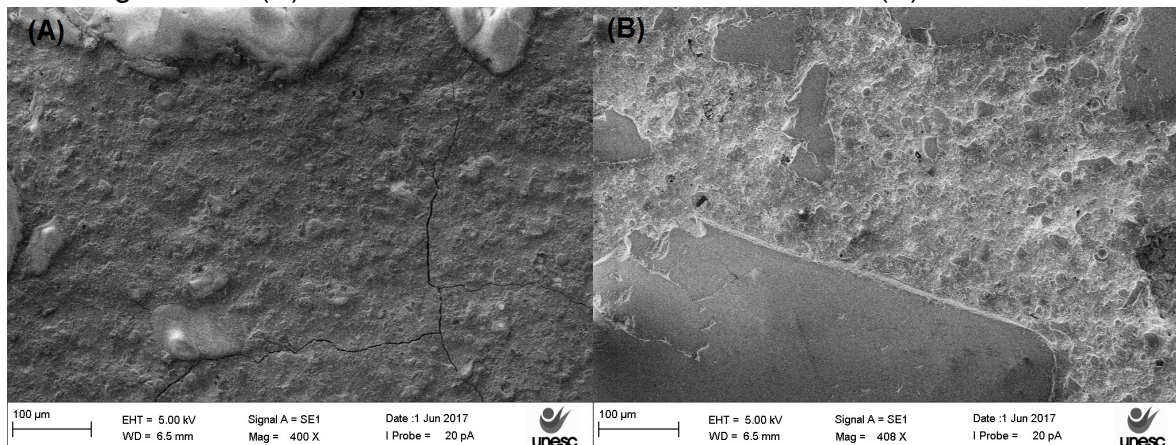
Conseqüentemente a tendência é o aumento de resistência e durabilidade do concreto, pois a menor propagação das fissuras.

Figura 13 – Componentes com formatos irregulares no concreto REC.



Fonte: O Autor, 2017.

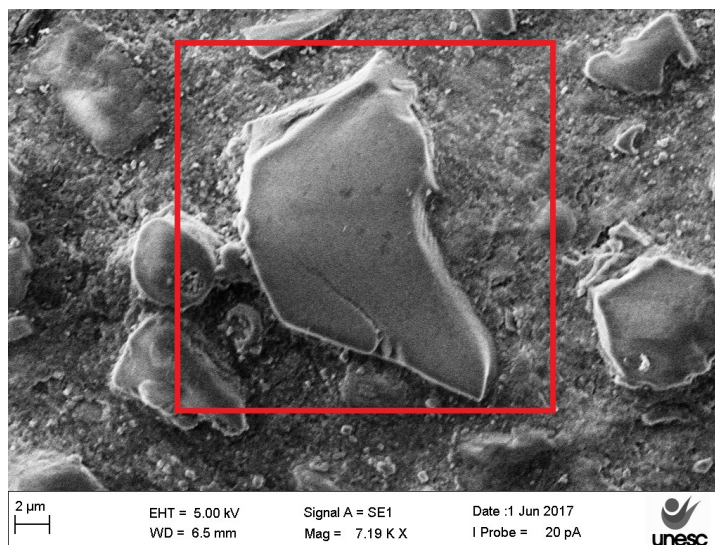
Figura 14 – (A) microestrutura do concreto referência e (B) concreto REC.



Fonte: O Autor, 2017.

Em relação ao resíduo atuar no preenchimento de vazios, identifica-se na Figura 15, que o material obteve uma boa interação com a pasta do cimento, ou seja, fazendo com que não haja fissuras entorno do resíduo, pois as fissuras se propagam em regiões mais fracas.

Figura 15 – Componente irregular do resíduo REC no concreto produzido.



Fonte: O Autor, 2017.

### 3.2.3 Determinações da resistência de compressão axial

A Tabela 10 e a Figura 16 mostram os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial do concreto REC, aos 14 e 28 dias de cura.

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial.

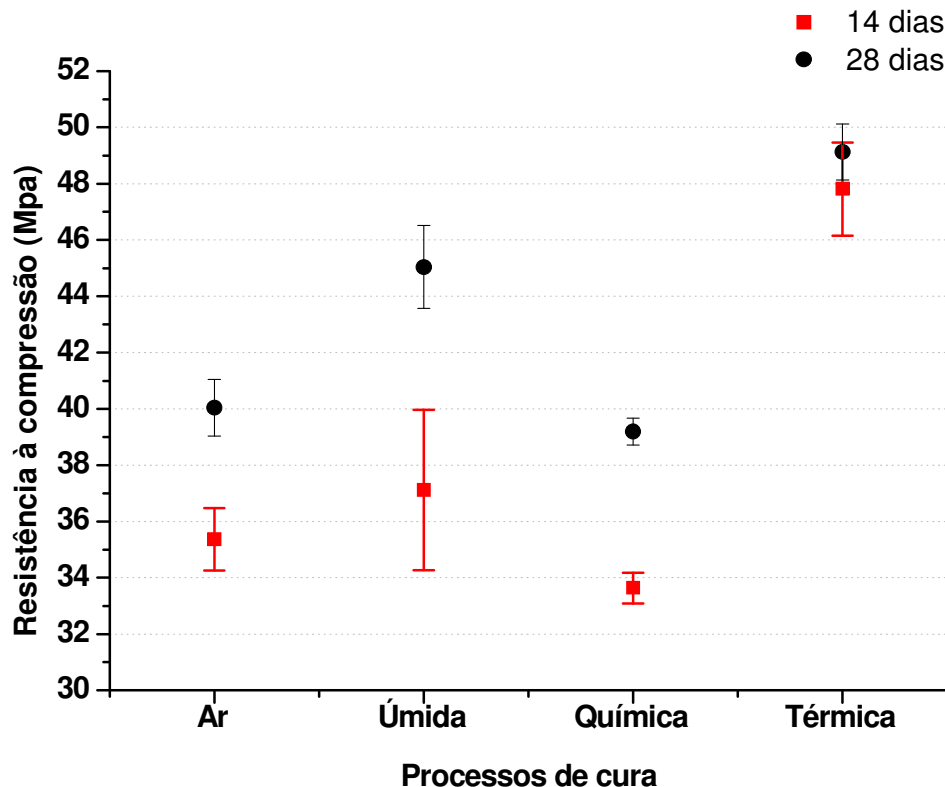
Concreto REC		
Ensaio de Resistência à Compressão		
Processos de cura	Média (MPa) 14 dias	Média (MPa) 28 dias
Cura ao Ar	35,37 ± 1,10	40,04 ± 1,00
Cura Úmida	37,12 ± 2,85	45,04 ± 1,48
Cura Química	33,64 ± 0,54	39,19 ± 0,48
Cura Térmica	47,81 ± 1,66	49,13 ± 0,99

Fonte: O Autor, 2017

Os resultados de resistência à compressão no concreto REC, representados na Tabela 10, mostram que aos 14 dias, a cura térmica obteve a melhor resistência entre os outros processos (47,81 Mpa ± 1,66), assim acontece o mesmo aos 28 dias (49,13 Mpa ± 0,99).

Com base no estudo estatístico de variância (ANOVA), á um nível de significância adotado ( $\alpha = 0,05$ ), verifica-se as diferenças significativas de resistência das curas, podem ser considerados o resultados da cura térmica aos 14 e 28 dias, são significativos, ou seja, esta cura proporciona um concreto com maior resistência.

Figura 16 - Resistência à compressão axial - concreto REC.



Fonte: O Autor, 2017

Para Massazza (2003), há um consenso geral que a quantidade total de hidróxido de cálcio combinado depende de diversos fatores, dos quais, destaca-se a temperatura, pois a taxa de reação pozolânica aumenta com o aumento de temperatura.

### 3.2.3 Determinações da absorção e índice de vazios

A Tabela 11 demonstra os resultados dos parâmetros de absorção e índice de vazios em corpos de prova de concreto com resíduo REC, analisados aos 28 dias.

Tabela 11 – Parâmetros de porosidade do Concreto REC.

Propriedades	Cura ao Ar	Cura Úmida	Cura Química	Cura Térmica
Massa específica seca ( $\text{g/cm}^3$ )	2,32	2,34	2,16	2,32
Massa específica saturada ( $\text{g/cm}^3$ )	2,43	2,45	2,34	2,42
Massa específica real ( $\text{g/cm}^3$ )	2,62	2,62	2,62	2,59
Absorção (%)	4,99	4,45	8,06	4,45
Índice de vazios (%)	11,57	10,42	17,42	10,32

Fonte: O Autor, 2017.



Os resultados absorção e índice de vazios comprovam os resultados de resistência à compressão axial, pois a cura térmica que obteve maior valor de resistência apresentaram a absorção e o índice de vazios menores, o mesmo ocorre para os outros tipos de cura.

### 3.3 COMPARAÇÕES DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES PROCESSOS DE CURA NO CONCRETO REC COM CONCRETO REFÊRENCIA

#### 3.3.1 Resistência de compressão axial

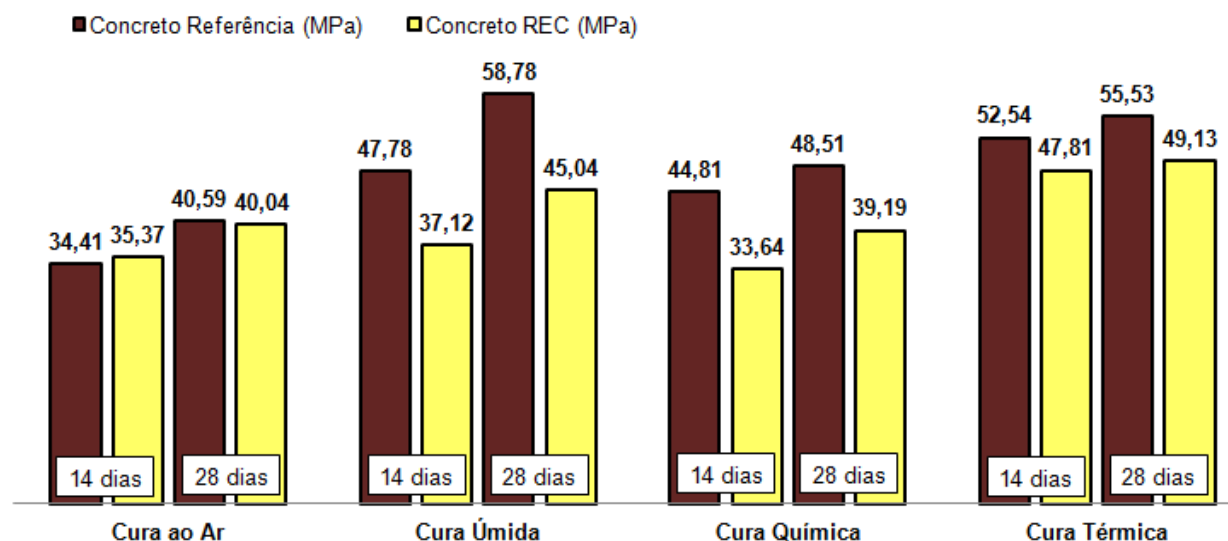
A Tabela 12 e Figura 17 mostram as resistências de compressão entre concreto referência e concreto REC, aos 14 dias e 28 dias.

Tabela 12 – Comparação do concreto referência e concreto REC aos 14 e 28 dias.

14 Dias	Cura ao Ar (MPa)	Cura Úmida (MPa)	Cura Química (MPa)	Cura Térmica (MPa)
Concreto Referência	34,41 ± 0,99	47,78 ± 0,42	44,81 ± 1,07	52,54 ± 0,97
Concreto REC	35,37 ± 1,10	37,12 ± 2,85	33,64 ± 0,54	47,81 ± 1,66
28 Dias	Cura ao Ar (MPa)	Cura Úmida (MPa)	Cura Química (MPa)	Cura Térmica (MPa)
Concreto Referência	40,59 ± 0,32	58,78 ± 1,81	48,51 ± 0,98	55,53 ± 0,88
Concreto REC	40,04 ± 1,00	45,04 ± 1,48	39,19 ± 0,48	49,13 ± 0,99

Fonte: O Autor, 2017.

Figura 17 – Comparação entre resistência à compressão axial



Fonte: O Autor, 2017.

Por meio dos resultados obtidos, nota-se que o concreto com a substituição fracionária do cimento pelo REC, obteve menores valores de resistências, tanto aos 14 dias, quanto aos 28 dias. Acredita-se que tal resultado deve-se a baixa reatividade pozolânica do resíduo e também a velocidade mais lenta de reação pozolânica interferindo no ganho de resistência.

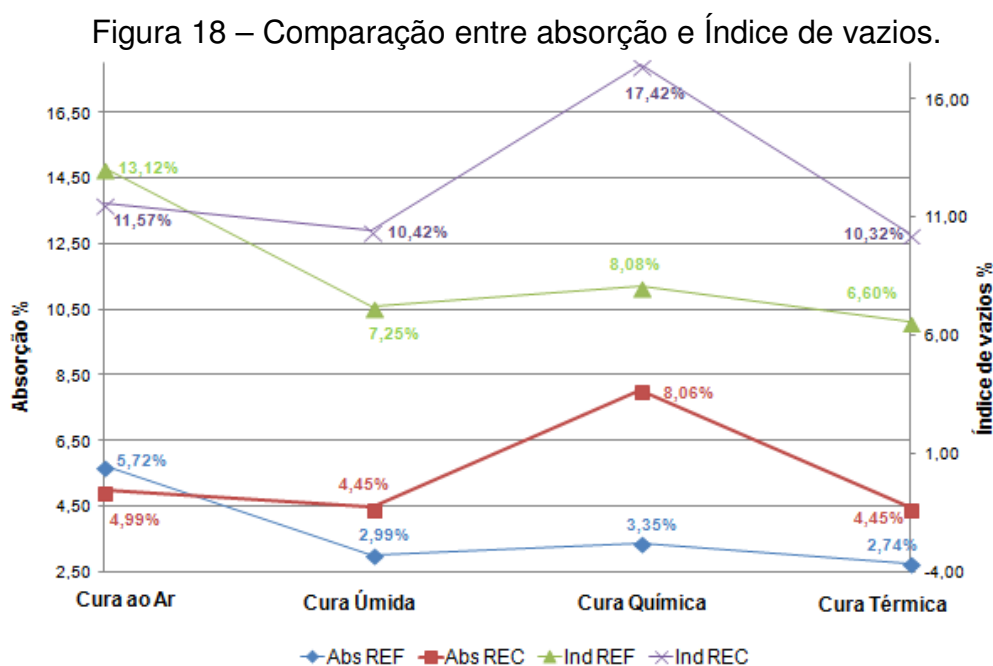
A reação pozolânica, segundo Mehta (1987), ocorre de forma lenta, acordo com Massazza (1979) apud Souza (2004), o cimento e a pozolana apresentam processos de reação muito diferentes, cada um reagindo em diferentes estágios da hidratação. A reação pozolânica tem início entre 7 e 15 dias após a mistura, quando a hidratação do cimento se apresenta já em estado avançado.

Outro motivo a ser mencionado, refere-se à substituição e conseqüentemente retirada de 15% de material reativo, cimento Portland, por um material com menor reatividade.

Apesar de o resíduo possuir pouca reatividade, as curas chegaram a uma resistência satisfatória em relação ao de referência, não comprometendo o comportamento do material cimentício quanto à resistência à compressão.

### 3.3.2 Comparação da absorção e índice de vazios

A Figura 18 representa resultados dos parâmetros de porosidade em corpos de prova de concreto referência e concreto com resíduo REC, analisados aos 28 dias.



Fonte: O Autor, 2017.

O Concreto REC apresentou menores resistências em relação ao concreto referência, e nesta mesma linha apresentaram taxa de absorção e índice de vazios maiores.

A resistência da pasta de cimento endurecido está ligada à sua estrutura porosa. Como todo material poroso, a pasta de cimento endurecido tem sua resistência reduzida com o aumento da porosidade (MOURET, 1997)

#### 4 CONCLUSÕES

Após a análise dos dados obtidos nos experimentos, pode-se concluir que:

- Em relação à influência dos distintos processos de cura no concreto referência, observou-se que os corpos de prova submetidos aos processos de cura térmica obtiveram o melhor desempenho, aos 14 dias ( $52,54 \text{ MPa} \pm 0,97$ ), comprovando a escolha de empresas de peças pré-moldadas por este tipo de cura, pois tem um ganho significativo de resistência em suas idades iniciais. Já aos 28 dias, a cura úmida apresentou uma maior resistência ( $58,78 \text{ MPa} \pm 1,81$ ). A cura ao ar apresentou os menores valores.
- Em relação à influência dos distintos processos de cura no concreto REC observou-se que as caracterizações químico-física do resíduo, não atingiram algumas exigências de material pozolânico citadas na norma ABNT NBR 12653 (2014), assim não classificando o resíduo como uma pozolana. Por meio do ensaio de difração de raio X (DRX) e imagens analisadas na microscopia eletrônica de varredura (MEV) identifica-se que o material utilizado na incorporação do cimento, apresentou pouca reatividade, mas também atua como preenchimento dos vazios, fazendo com que o concreto produzido seja mais compacto.
- Em comparação os resultados finais da compressão axial, absorção e índice de vazios do concreto REC com concreto referência, nota-se que no ensaio de compressão, os resultados apontam para um retardo no ganho de resistência quando comparados o concreto REC. Tal fato acredita-se que pode ter ocorrido devido ao resíduo possuir uma hidratação mais lenta e também por retirar-se (15%) do material reativo, cimento Portland e substituir um por menos reativo.

- Mediante os resultados obtidos, pode-se concluir que a substituição do cimento por resíduo REC, no teor estudado, não causou significativa redução da resistência mecânica e durabilidade dos concretos estudados nos diferentes processos de cura. Portanto, percebe-se a viabilidade de sua aplicação como material cimentício suplementar (SCM) com característica predominante de fíler.

## 5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Analisar o concreto com menor percentual de substituição no cimento Portland.
- Analisar em idades mais avançadas aos 56 e 72 dias.
- Analisar o resíduo em cimentos CP V ou CP I (sem adição de material pozolânico na sua formulação original).
- Verificar o comportamento da incorporação do resíduo em diferentes temperaturas de cura térmica para estudar o ganho de resistência superior em relação à cura úmida.

## 6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. NBR 5738. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. NBR 9778. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico**. NBR 5736. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações - Requisitos e procedimentos**. NBR 16055. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos**. NBR 12653. Rio de Janeiro, 2015.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** NM 67. Rio de Janeiro, 1998.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland.** 7. ed. São Paulo, 2009.

ACORDI, Juliana. **Desenvolvimento e caracterização de produtos cimentícios a partir de resíduos de madeira: cinza volante e cinza de grelha.** 2017. 140p. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma. Brasil.

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho.** São Paulo: Editora Pini, 2000.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. p 260.

CAMARINI, G.; CINCOTTO, M.A. **Cura térmica de argamassas e concretos por agentes térmicos – Aspectos Gerais.** In: **Seminário Nacional sobre Desenvolvimento Tecnológico dos Pré-moldados e Autoconstrução.** FAU-USP, Anais, p.141-51, maio 1995.

SÁNCHEZ. **Matérias-Primas para a Fabricação de Fritas e Esmaltes Cerâmicos.** Cerâmica Industria, Maio/Agosto, 1997 Disponível em:  
<[http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n34/v2n34\\_5.pdf](http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v02n34/v2n34_5.pdf)>  
Acesso em: Junho 2017.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3. Ed. São Paulo: IBRACON. 2008.

MEHTA, P. Kumar. Natural pozzolans. In: **Supplementary cementing materials for concrete.** Edited by V. M. Malhotra. Canadá, 1987.

MOESGAARD, M.; HERFORT, D.; STEENBERG, M.; KIRKEGAARD, L.F.; YUE, Y. Physical performances of blended cements containing calcium aluminosilicate glass powder and limestone. **Cement and concrete research.** Disponível em:  
< <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00088846/41/3>>. Acesso em: Maio 2017.

RAO, N. V. et al. **The future of civil engineering with the influence and impact of nanotechnology on properties of materials.** Procedia materials Science. v. 10. p. 111-115. 2015.

RESENDE, Domingos. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar**. 2013. 165p. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, Ouro Preto. Brasil.

SANTOS, Silvia. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. 2006. 267f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, 2006. Disponível: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88861/227966.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 13 abril. 2017.

STEINER, Luiz. **Efeito do resíduo do polimento de porcelanato como material cimentício suplementar**. 2014. 128p. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma. Brasil.

VIDRES DO BRASIL. **Mix de produtos**. 2011. Disponível em:  
<<http://www.vidres.com.br/produtos.html>> Acesso em: Junho 2017.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Boletim de análises de cimento: CPIV ARI RS**. Imbituba: Jan 2017. Boletim Técnico s.n.