

# INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE CURA NO DESENVOLVIMENTO DA RESISTÊNCIA DE CIMENTOS ALUMINOSOS

**Rúbia M. Bosse<sup>(1)</sup>; Mariane de Pieri<sup>(2)</sup>; Raphael Coelli Ivanov<sup>(3)</sup> Caroline Angulski da Luz<sup>(4)</sup>;**

(1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR, Brasil, rub.mb@hotmail.com

(2) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR, Brasil, marianee.dp@gmail.com

(3) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR, Brasil, raphaelcoelli@gmail.com

(4) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco-PR, Brasil, angulski@utfpr.edu.br

## **Resumo**

*O cimento aluminoso tem como características alta resistência inicial, resistência a meios agressivos e importantes propriedades refratárias. Este estudo analisou o efeito do processo de cura, com água saturada em cal; com água; e ao ar, em diferentes idades - 3, 7, 28 e 90 dias – sobre a resistência da argamassa produzida com cimento aluminoso Fondu no traço 1:3:0,48. Para a obtenção das resistências mecânicas das amostras foi utilizado o procedimento da NBR 7215/1996 – Resistência à compressão do cimento Portland - sendo quatro corpos de prova para cada condição de cura. Após 24 horas da moldagem os corpos de prova foram desmoldados e então colocados para curar nas condições especificadas, até a respectiva idade. Os resultados mostram que a cura ao ar foi a que promoveu a maior resistência para todas as idades. Por fim através de análise térmica diferencial (ATD), foi determinado os principais compostos hidratados presentes nas argamassas de 7 dias de cura.*

**Palavras-chave:** Cimento Aluminoso, Cura, Resistência à Compressão.

## **Abstract**

*Calcium Aluminate cement has an early compressive strength, aggressive environment strength and important refractory properties. The objective of this research was to analyze the cure process effect in the mortar mechanics strength, at cure by water with lime, at water and at air, at 3, 7, 28 and 90 days. The mortar was cast with Fondu Calcium Aluminate cement at a 1:3:0,48 ratio. Getting the samples mechanics strength by (NBR 7215/1996) - Resistência à compressão do cimento Portland – being four samples for each cure condition. After 24 hours, the samples were cured. The results showed the air cure developed the highest strength for all ages. The main compositions formed in the 7 days mortars was determined by Differential Thermal Analysis.*

**Keywords:** Calcium Aluminate Cement, Cure, Compressive Strength.

## **1. INTRODUÇÃO**

De acordo com Neville (1997), o cimento aluminoso foi desenvolvido na França, no século XX, como tentativa de resolver o problema do ataque das estruturas de concreto Portland por águas Sulfatadas. Sua produção se dá através da moagem do clínquer de aluminato de cálcio, e seus principais componentes são obtidos a partir da calcinação do calcário e da bauxita (FILHO, 2005).

Cimentos do tipo aluminoso são amplamente utilizados para confecções de concretos leves com funções de isolamento térmico (até 950°C), e concretos que tenham contato com efluentes industriais, pois o gel de alumina, formado na hidratação do cimento, desempenha um efeito protetor à matriz cimentícia, o que garante resistência ao ataque dos sulfatos e ácidos diluídos (NEVILLE, 1997).

Uma das principais propriedades do cimento aluminoso está correlacionada à rápida hidratação, sendo assim em idades precoces este tipo de cimento possui altos valores de resistências, cerca de 80% de sua resistência final pode ser atingida com 24h de cura (NEVILLE, 1997).

De forma geral, os principais compostos formados na hidratação do cimento aluminoso são o monoaluminato de cálcio hidratado ( $\text{CAH}_{10}$  ou  $\text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ),  $\text{C}_3\text{AH}_6$ , gibsita  $\text{AH}_3$  e  $\text{C}_2\text{AH}_8$  (IBRACON, 2010, GONÇALVES; FILHO; FARBAIRN, 2006).

As reações básicas de hidratação do cimento aluminoso são:



A identificação destes compostos hidratados pode se dar via análise térmica diferencial (ATD), onde picos em determinadas faixas de temperatura caracterizam os hidratos presentes na estrutura do cimento (CARRASCO, 2008).

As principais fases destacadas são referentes às transformações endotérmicas:

30°C - 110°C = Desidratação  $\text{CAH}_{10}$ ;

200°C - 350°C = Decomposição  $\text{AH}_3$  (cristalina);

500°C - 630°C = Desidratação  $\text{C}_2\text{AH}_8$  (CARRASCO, 2008, IBRACON, 2010, MERCURY, et al., 2003).

“Quanto à cura do concreto, pode-se dizer que se trata de procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, consistindo no controle do tempo, temperatura e condições de umidade, imediatamente após a colocação do concreto nas formas” (MEHTA; MONTEIRO, 1994)

Para o concreto de cimento Portland, o objetivo da cura é manter o concreto saturado, ou o mais próximo possível disso, até que os espaços da pasta de cimento fresca, inicialmente preenchidos com água, tenham sido preenchidos pelos produtos de hidratação do cimento (NEVILLE, 1997),

Mehta (1994) afirma que o tempo e a umidade são dois fatores de grande importância no processo de hidratação sendo elas diretamente influenciadas pela temperatura. No caso de temperaturas elevadas, verifica-se a aceleração na formação dos compostos hidratados, se a mesma for baixa o oposto é verificado. Desta forma é recomendado que mantenha-se o local em uma temperatura de aproximadamente 23°C.

A cura também evita a retração plástica, diminui a permeabilidade e a aumenta a resistência à abrasão. Os fatores relevantes para o tempo de cura são a severidade das condições de secagem e os requisitos esperados de durabilidade, devendo ser iniciada o quanto antes possível e devendo ser contínua (NEVILLE, 1997).

Neste trabalho, foi avaliada a influência de três diferentes processos de cura frente à resistência mecânica do cimento aluminoso (Fondu) nas idades de (3, 7, 28 e 90 dias) e os principais

produtos hidratados formados nas argamassas com 7 dias de cura, através de análise térmica diferencial (ATD).

## 2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é analisar o efeito do processo de cura sobre a resistência da argamassa produzida com cimento aluminoso Fondu.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a realização dos ensaios foram:

- Cimento Aluminoso Fondu;
- Areia normal (IPT, NBR-7214) para ensaio de cimento;
- Cal virgem;
- Moldes cilíndricos (dimensão: 5x10cm).

Característica	Método de Ensaio	Valor Garantido	Valor do Lote
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	EN 196-2	> 37,0	39,8
CaO (%)	EN 196-2	< 41,0	37,3
SiO <sub>2</sub> (%)	EN 196-2	< 6,0	4,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	EN 196-2	< 18,5	14,9
Fluidez a 15 min (min)	EN 196-1	> 30	61
Início de Pega (min)	EN 196-1	> 120	145
RCTA 24h (MPa)	EN 196-1	> 30	55,0
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	EN 196-6	> 2700	3200
Retido na peneira N°170 (%)	EN 196-6	< 8	4,8

Tabela 1– Características do Cimento Aluminoso Fondu

Fonte: Kerneos Aluminate Technologies

### 3.1. Ensaio das Argamassas com Diferentes Idades e Tipos de Cura

O traço adotado para confecção das argamassas foi 1:3:0,48 – cimento aluminoso Fondu, Areia e água.

A cura foi realizada nas idades de 3, 7, 28 e 90 dias.

Todos os procedimentos foram realizados de acordo com a NBR 7215 (1996) – Determinação da resistência à compressão do cimento Portland – com exceção do processo de cura e procedimento de mistura da argamassa na argamassadeira.

O procedimento descrito na sequência foi repetido para as todas diferentes idades de cura das argamassas de cimento Aluminoso.

Etapa 1: Confecção das argamassas.

Etapa 2: Moldagem de quatro corpos de prova para cada idade.

Etapa 3: Desmolde dos corpos de prova após 24 horas da moldagem e separação de quatro corpos de prova para cada tipo de cura.

Cura em água: Em um recipiente, foram colocados um total de quatro corpos de prova por idade, que foram submersos em água, em uma relação massa/água de 1,727. Este recipiente foi fechado e colocado em tanque com temperatura controlada de 23°C.

Cura em água e cal: Os quatro corpos de prova foram submersos em um recipiente com água e cal virgem, em uma relação massa/água de 1,727 e 171,6g de cal virgem. O recipiente foi fechado e colocado em tanque com temperatura controlada de 23°C.

Cura ao ar: Cada um dos quatro corpos de prova foi embalado em plástico para evitar a perda de umidade. Foram colocados em um recipiente, fechados e mantidos em tanque com umidade de 95% e temperatura de 23°C.

Etapa 4: Rompimento dos corpos de prova capeados com enxofre, após passados os respectivos dias de cura.

### 3.2. Análise térmica diferencial (ATD)

A análise térmica foi realizada para as pastas com 7 dias de cura em uma relação água/cimento de 0,48. Foi feita no Laboratório de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco - PR, utilizando o equipamento TA Instruments, modelo SDT Q600. Utilizou-se como gás, atmosfera sintética num fluxo de 100mL.min<sup>-1</sup> (gás ultrapuro). O fluxo de aquecimento foi de 10°C.min<sup>-1</sup> variando de 30°C a 600°C.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Resistência mecânica

A figura 1 representa os valores obtidos para as resistências mecânicas em que é possível verificar que para todas as idades, a cura em ar foi a que desenvolveu a maior resistência mecânica nas argamassas.

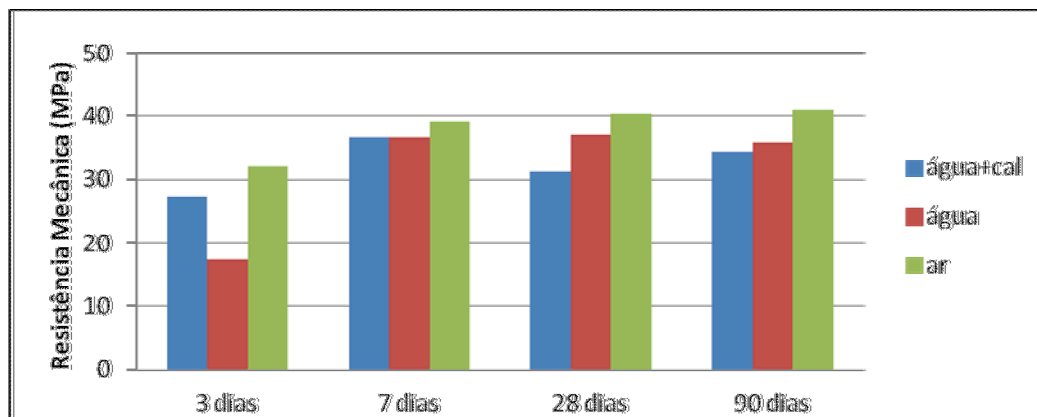


Figura 1 – Gráfico do desenvolvimento das resistências em função dos dias de cura.

Com base nas tabelas abaixo, pode-se notar que houve pouca variação nas resistências das argamassas curadas em água e das argamassas curadas em água saturada com cal, com exceção das argamassas com 3 dias de idade, em que a variação foi de aproximadamente 10 MPa a mais

para a argamassa curada em água saturada com cal. Isso pode ser explicado, segundo Neville (1997, p. 110), pelo princípio de que uma alta concentração de cal acelera a velocidade de hidratação do cimento aluminoso e logo, aumenta a velocidade de ganho de resistência deste.

A cura ao ar, com 95% de umidade, apresentou valores mais altos de resistência, em todas as idades. Isto mostra que, provavelmente, para as condições de cura imersa em água (com e sem cal), a saturação do corpo-de-prova reduz a resistência mecânica no momento do teste.

Tipo de Cura	3 dias			7 dias			28 dias			90 dias		
	Rc MPa	$\sigma$ MPa	CV (%)	Rc MPa	$\sigma$ MPa	CV (%)	Rc MPa	$\sigma$ MPa	CV (%)	Rc MPa	$\sigma$ MPa	CV (%)
água	17,50	0,45	2,58	36,72	1,55	4,22	37,10	5,13	13,82	35,91	2,80	7,81
Água + cal	27,19	4,81	17,69	36,66	2,31	6,31	31,21	4,48	14,34	34,26	3,15	9,19
ar	32,00	3,05	9,52	39,20	3,45	8,81	40,46	4,03	9,96	40,95	4,20	10,25

Tabela 3 – Resistência à compressão média, desvio padrão ( $\sigma$ ) e coeficiente de variação (CV) dos corpos de prova aos 3, 7, 28 e 90 dias de idade em diferentes tipos de curas.

## 4.2 Análise Térmica

A figura 2 apresenta as curvas ATD das pastas de cimento com 7 dias de cura.

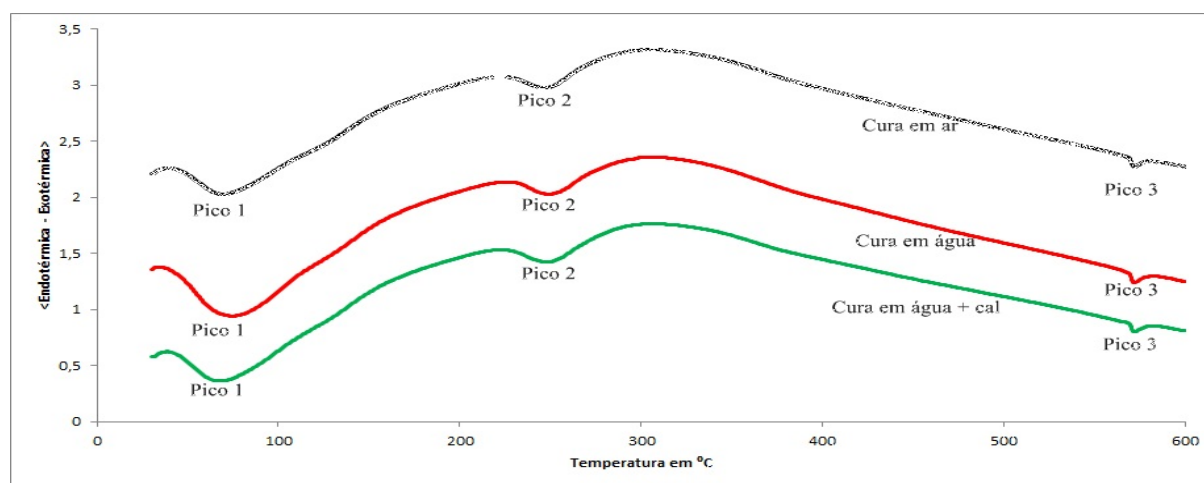


Figura 2 – Análise térmica diferencial (ATD) do cimento Fondu, aos 7 dias de cura em ar, água e água + cal.

O pico 1 endotérmico observado nas curvas Figura 2, que abrange a faixa de 33°C até 97°C é característico da desidratação da água superficial contida na estrutura hexagonal do monoaluminato de cálcio  $CAH_{10}$  (CARRASCO, 2008)

Já o pico 2 presente nas três amostras submetidas a diferentes situações de cura, é característico da decomposição da gibsita cristalina ( $AH_3$  cristalina) ocorrendo na faixa de temperatura de 229°C até 265°C.

Com relação ao pico 3 também observado em todas as amostras, refere-se à desidratação do  $C_2AH_8$  verificada no intervalo de temperatura de 568,7°C à 582,3°C.

Os termogramas das pastas com diferentes condições de cura apresentaram-se similares, como esperado. Todavia, é possível perceber o Pico 1, referente à perda de água, é menor para a condição de cura ao ar, mostrando menor quantidade de água superficial nas estruturas dos compostos hidratados.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar o efeito do tipo de cura (ao ar, imersa em água e imersa em água com cal) sobre o desenvolvimento de resistência da argamassa produzida com cimento aluminoso, tipo Fondu.

Observou-se que as argamassas curadas ao ar (95% de umidade) apresentaram maiores valores de resistência mecânica, em comparação às curas em condição imersa em água (com ou sem cal). Isto, provavelmente, se deve ao fato do corpo-de-prova não se encontrar saturado durante o momento de ensaio, já que tal condição reduz sua resistência.

Os termogramas se mostraram bastante similares. Foi possível a determinação dos principais hidratos presente na estrutura do cimento e também observar que o pico correspondente à perda de água foi ligeiramente inferior para a condição de cura ao ar (com menor disponibilidade de água).

O estudo propõe uma análise estatística e a realização dos ensaios mecânicos em condição idêntica para os três tipos de cura (saturada ou não) vinte e quatro horas antes dos testes.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Determinação da resistência à compressão do cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

CARRASCO, F. L. E. A. Supercritical Carbonation of Calcium Aluminate Cement, **Cement and concrete research**, p. 1033- 1037, 2008.

FILHO, R. **CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO ALUMINOSO E SUA APLICAÇÃO EM CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA (CAR)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 174. 2005.

GONÇALVES, J. P.; FILHO, R. D. T.; FARBAIRN, E. M. R. Estudo da hidratação de pastas de cimento Portland contendo resíduo cerâmico por meio de análise térmica. **Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2006. 83-94.

IBRACON. **Materiais de construção civil e princípios de ciências e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo - SP: [s.n.], 2010.

KERNEOS, Aluminate Technologies. **Ciment Fondu**: Bâtiments, travaux publics, Industries. Ficha Comercial. Disponível em:< [http://www.cimentfondu.com/fr/artisans/PDF/FC\\_Ciment\\_Fondu.pdf](http://www.cimentfondu.com/fr/artisans/PDF/FC_Ciment_Fondu.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 1994.

MERCURY, J. M. R. Hidratación de los cementos de aluminatos de calcio. Parte II: Efecto de las adiciones de sílice y alumina. **Cerámica y Vidrio**, v. 42, n. 6, p. 361-368, 2003.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo - SP: PINI, 1997.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica e apoio financeiro e à Capes pela bolsa de mestrado.