

# Propriedades de um concreto com incorporação de óxido de alumínio

HERBET A. DE OLIVEIRA\* – DR. PROF., ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4159-6325>; RAYZA S. B. TAVARES – ENG.; VANESSA G. DE O. ALMEIDA – ENG./PROF<sup>a</sup>, ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9740-1940>; FERNANDA M. C. DE MELO – ENG./PROF<sup>a</sup>, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0122-8336>; JOSÉ E. M. DE CARVALHO – ENG. — IFS

COCHIRAN P. DOS SANTOS – Fís., ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9819-6002>; ZELIA S. MACEDO – Fís., ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8577-7622> — IFS

## RESUMO

NESTE trabalho foi investigado o comportamento, antes e após queima, de um concreto de 25 MPa, em que a  $Al_2O_3$  substituiu o agregado miúdo nas proporções em peso 5%, 10% e 20%. No estado fresco, foram realizados os ensaios de abatimento e densidade aparente; e, no estado endurecido, absorção de água, massa específica, resistência à compressão, coeficiente de dilatação e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os corpos de prova foram queimados nas temperaturas de 400 e 1000°C, simulando um incêndio. Após a

queima, os corpos de prova foram analisados quanto aos ensaios tecnológicos e pela análise de variância (ANOVA). Foi observado que com a substituição do agregado miúdo pela alumina até o limite de 10% em peso, ocorreu aumento de até 40% em relação à resistência mecânica após cura e também após queima a 400°C. No entanto, após 1000°C, houve redução da resistência em função de fissuras provocadas pela dissociação das matérias primas. Concluiu-se que até 400°C a  $Al_2O_3$  atuou positivamente contra ação do fogo não perdendo suas propriedades.

**PALAVRAS-CHAVE:** ALUMINA, INCÊNDIO, CONCRETO, FISSURAS.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a ABNT NBR 12655, o concreto é um material composto por uma mistura homogênea de aglomerante hidráulico, agregado graúdo, agregado miúdo e água. O concreto, quando se encontra no estado endurecido, adquire elevada resistência mecânica e durabilidade.

Conforme Rocha [1] e Costa *et al* [2], estudos têm sido realizados a fim de melhorar a resistência térmica do concreto e reduzir os impactos provocados em incêndios.

A elevada temperatura causa vários efeitos no concreto, tais como: alteração na coloração, perda de resistência mecânica, fissuração ou em situações extremas, a desintegração da estrutura.

De acordo com Vargas e Silva [3], uma estrutura segura em situação de incêndio [...] é aquela que, com ou sem proteção contra incêndio, tem grande probabilidade de resistir aos esforços solicitantes em temperatura elevada, de forma a evitar o seu colapso[...].

De acordo com Shao *et al* [4], a  $Al_2O_3$  apresenta bom desempenho entre os materiais complementares a serem adicionados ao cimento, devido à sua refratariedade, dureza, resistência ao ataque químico e resistência mecânica em altas e baixas temperaturas.

Lu *et al* [5] estudaram a adição de vários materiais suplementares em concreto e foram observadas melhoras na resistência quando incorporados produtos contendo alumina, como metacaulim. Já Nazari *et al*. [6] incorporaram nanopartículas de  $Al_2O_3$  em substituição ao cimento em um concreto. A resistência após cura aumentou com até 2% de  $Al_2O_3$  incorporado. O aumento da resistência foi observado devido à reação do  $Ca(OH)_2$  presente no cimento com a  $Al_2O_3$  adicionada, os quais durante a hidratação do cimento favoreceram a formação do C-S-H confirmado por Bareiro e Silva [7]. Nesse trabalho foi produzido um concreto com substituição parcial do agregado miúdo por  $Al_2O_3$ , com o objetivo de avaliar a contribuição da  $Al_2O_3$  na resistência mecânica e térmica, por

ocasião de uma estrutura ser submetida a incêndio a 400 e 1000°C.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização das matérias primas

#### 2.1.1 CIMENTO PORTLAND

O cimento utilizado foi o CPV- ARI RS, caracterização de acordo com a ABNT NBR 16697:2018 (Tabela 1).

#### 2.1.2 AGREGADO MIÚDO

A caracterização está apresentada na Tabela 2.

#### 2.1.3 AGREGADO GRAÚDO

A caracterização está apresentada na Tabela 3.

#### 2.1.4 ALUMINA

A  $Al_2O_3$  utilizada foi a comercial do

### ► Tabela 1

Resultados dos ensaios realizados para a caracterização do cimento

Ensaio	Norma utilizada	Resultado
Consistência normal	ABNT NBR 16606	35%
Índice de finura	ABNT NBR 11579	1,92%
Expansibilidade a quente	ABNT NBR 11582	A quente = 3,9 mm
Resistência à compressão	ABNT NBR 7215	1 dia = 20,7 MPa
Massa específica	ABNT NBR 16605	3,149 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: O autor, 2021.

### ► Tabela 2

Ensaos realizados para a caracterização do agregado miúdo

Ensaio	Norma utilizada	Resultado
Massa unitária	ABNT NM 45	1,7 g/cm <sup>3</sup>
Análise granulométrica	ABNT NBR NM 248	Mod. de finura = 2,7
Massa específica	ABNTNBR NM 52	2,62 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: O autor, 2021.

### ► Tabela 3

Ensaos realizados para a caracterização do agregado graúdo

Ensaio	Norma utilizada	Resultado
Massa unitária	ABNT NM 45	1,2 g/cm <sup>3</sup>
Análise granulométrica	ABNT NBR NM 248	Mod. de finura = 2,0%
Massa específica	ABNT NBR NM 52	2,73 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: O autor, 2021.

fabricante Alcoa, passante na peneira 0,177 mm de abertura e massa específica 3,90 g/cm<sup>3</sup>.

#### 2.1.5 SUPERPLASTIFICANTE

O superplastificante utilizado foi o da marca Bautech.

### 2.2 Análise granulométrica

Na Figura 1, são apresentadas as curvas granulométricas do agregado miúdo (areia) e da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, analisados de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003. Pode-se observar que na abertura 0,1 mm, a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> passou cerca de 50%, enquanto o agregado miúdo somente 10%, o que comprova que a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> é bem mais fina, favorecendo aumento da superfície específica e reatividade.

Considerando a concavidade dada pela Equação 1.

$$[1] \quad Cc = D_{30}^2 / D_{60} \cdot D_{10}$$

Cu é o coeficiente de uniformidade expresso pela Equação 2.

$$[2] \quad Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Em que D<sub>60</sub>, D<sub>30</sub>, e D<sub>10</sub> são as aberturas em que passaram, respectivamente, 60%, 30% e 10% das partículas.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados de coeficiente de uniformidade (Cu) e concavidade (Cc) da alumina e areia.

O Cu apresenta uma melhor perspectiva do tamanho das partículas do solo. Sendo Cu < 5, solos uniformes e Cu > 15, solos desuniformes e entre 5 e 15, são medianamente uniformes. O coeficiente de curvatura (Cc) é utilizado na

identificação de descontinuidades na distribuição granulométrica. Sendo Cc entre 1 e 3, classificado como solo bem graduado e Cc e abaixo de 1 e acima de 3, solo mal graduado [8].

De acordo com a Tabela 4, a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> apresentou uma composição granulométrica uniforme, ou seja, com partículas concentradas em uma faixa de dimensão estreita, sendo classificada de acordo com o Cc como mal graduada. Por sua vez, o agregado miúdo apresentou uniformidade média e bem graduada.

### 2.3 Formulações

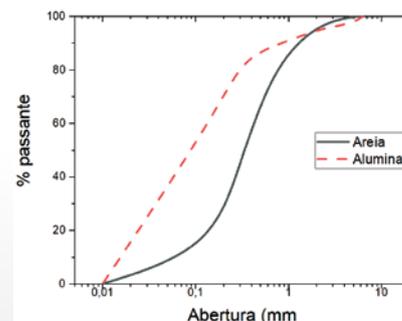
Na Tabela 5, são apresentadas as formulações. A Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi usada para substituir o agregado miúdo em uma formulação de concreto de 25 MPa de referência nas proporções 5,10 e 20%, que foram identificadas por A<sub>5%</sub>, B<sub>10%</sub> e C<sub>20%</sub>.

### 2.4 Preparação dos corpos de prova

Foram moldados 17 corpos de prova cilíndricos nas dimensões (100 x 200) mm. Os mesmos foram desmoldados após 24 horas e ficaram imersos em água saturada com cal para o processo de cura por 28 dias.

### 2.5 Queima

Após cura, os corpos de prova foram aquecidos em duas condições: até



► Figura 1

Análise granulométrica da alumina e areia

Fonte: O autor, 2021.

**Tabela 4**  
Resultados do Cu e CC

Material	Cu	Cc	Classificação (Cu/Cc)
Areia	5	1,25	Medianamente uniforme / Bem graduado
Alumina	11	6,29	Medianamente uniforme / Mal graduado

Fonte: O autor, 2021.

a 400°C; e posteriormente até 1000 °C, a uma taxa de aquecimento de 5°C min<sup>-1</sup> até 300 °C e 10°C min<sup>-1</sup> até atingir 1000 °C, mantendo um patamar na temperatura máxima de 30 min, seguindo as recomendações de Rilem TC129 MHT [9].

## 2.6 Ensaios realizados no concreto no estado fresco

### 2.6.1 ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (SLUMP)

Foi realizado de acordo com a ABNT NBR 16889.

### 2.6.2 DENSIDADE OU MASSA ESPECÍFICA APARENTE

O ensaio de massa específica aparente foi realizado de acordo com a Equação 3, segundo a ABNT NBR 9833, em que  $M_s$  é a massa da suspensão (g) e  $V$  o volume (cm<sup>3</sup>).

$$[3] \quad \rho = \frac{M_s}{V}$$

## 2.7 Ensaios realizados no concreto no estado endurecido

Os corpos de prova foram caracterizados no estado endurecido antes da queima pelos seguintes ensaios: absorção de água, massa específica aparente, resistência mecânica à compressão e coeficiente de dilatação. Após queima, foram caracterizados pelos ensaios de resistência mecânica à compressão e microscopia eletrônica de varredura MEV.

### 2.7.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA, POROSIDADE, MASSA ESPECÍFICA REAL E APARENTE

A ABNT NBR 9778 especifica os procedimentos para determinação da absorção de água.

### 2.7.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A resistência à compressão foi realizada de acordo com ABNT NBR 7215, utilizando uma prensa hidráulica da marca Contenco modelo Pavitest

HD-200T, com velocidade de carga 5 N/s. Os cálculos foram realizados por meio da Equação 4, em que  $R$  é a resistência em MPa,  $P$  é a carga aplicada em N, e  $A$  é a área em mm<sup>2</sup>.

$$[4] \quad R = \frac{P}{A}$$

### 2.7.3 COEFICIENTE DE DILATAÇÃO

Foi realizada uma análise dilatométrica nas formulações PD e C<sub>20%</sub>. Foram preparadas amostras a partir dos corpos de prova produzidos. Os mesmos sofreram moagem em moinho de bolas e, em seguida, foram passados na peneira 0,075 mm e prensados em moldes de 6mm de diâmetro por 12mm de comprimento. O ensaio foi realizado em um dilatômetro Netzsch DIL 402PC, com fluxo de ar sintético e vazão de 130 mL/min variando da temperatura ambiente até 1000°C com taxa de aquecimento de 10°C/min.

### 2.7.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As imagens foram realizadas em corpos de prova da formulação C<sub>20%</sub>, metalizadas com ouro pela técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), em um microscópio marca Jeol, modelo JSM-6510LV.

## 2.8 Análise estatística

Os resultados médios e os desvios padrões foram analisados por meio do

**Tabela 5**  
Dosagem dos materiais

Matéria-prima	PD		A <sub>5</sub>		B <sub>10</sub>		C <sub>20</sub>	
	%	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>	%	kg/m <sup>3</sup>
Cimento	17,00	365,5	17,00	365,5	17,00	365,5	17,00	365,5
Areia	32,08	690,72	30,50	656,18	28,88	621,65	25,69	552,58
Brita	50,94	1096,55	50,94	1096,55	50,94	1096,55	50,94	1096,55
Alumina	—	—	1,60	34,54	3,21	69,07	6,42	138,14
Água	9,8	210,08	8,97	210,08	8,97	210,08	8,97	210,08
Slump	15 ± 2		12 ± 2		10 ± 2		1 ± 2	
Aditivo	Não		Não		Não		Sim — 18%	

Fonte: O autor, 2021; Legenda: PD – padrão.

método estatístico ONE WAY ANOVA, utilizando-se índice de significância de 95% ( $p < 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização dos corpos de prova no estado fresco

De acordo com a Tabela 6, à medida que a  $Al_2O_3$  substituiu o agregado miúdo até um limite de 10%, o abatimento de cone foi satisfatório para concretagem. Acima de 10%, ocorreu uma redução drástica da trabalhabilidade, devido à finura da  $Al_2O_3$ , o qual favoreceu o aumento da superfície específica demandando maior quantidade de água para conferir trabalhabilidade. Por sua vez, os corpos de prova produzidos, com a formulação  $C_{20}$ , formaram buracos no concreto após cura [10]. Com relação à massa específica aparente, não foi observado variações significativas.

#### 3.2 Caracterização dos corpos de prova no estado endurecido

##### 3.2.1 ABSORÇÃO DE ÁGUA

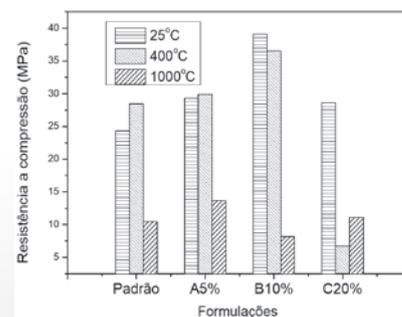
Na Tabela 7, são apresentados os resultados dos ensaios de absorção de água após cura aos 28 dias. À medida que foi substituído o agregado miúdo pela  $Al_2O_3$ , a absorção de água foi diminuindo em relação ao concreto padrão, A (6,7%), B (48%). Esse fato é devido à granulometria da  $Al_2O_3$  mais fina do que a da areia, facilitando o processo de empacotamento, além de favorecer a reatividade, reduzindo a absorção de água. Apesar da absorção de água da formu-

lação ( $C_{20}$ ) ser baixa, os corpos de prova apresentaram muitos buracos, inviável para uso. Após análise dos resultados utilizando o software ANOVA, o valor de  $p > 0,065$  indica que os resultados obtidos apresentam variação e, portanto, são considerados diferentes, ou seja, o teor de alumina aplicado é significativo.

##### 3.3.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO

Na Figura 2, são apresentados os resultados de resistência mecânica à compressão, realizados após cura aos 28 dias. Os dados foram analisados pela ferramenta estatística ANOVA, sendo obtido  $p > 0,02$ , considerado para dados com diferenças significativas. Foi observado um aumento da resistência mecânica em relação ao concreto de referência, nas formulações  $A_5$  (+20%),  $B_{10}$  (+52%) e  $C_{20}$  (+20%). Ou seja, a  $Al_2O_3$  até o limite de 10% de substituição, favoreceu a reatividade com o cimento. Na formulação  $C_{20}$ , como já explicado, apresentou redução da trabalhabilidade gerando buracos que reduziu a resistência [10].

Em relação aos corpos de prova queimados na temperatura de 400°C, somente foi observado queda na resistência na  $B_{10}$  (+5%) em relação a mesma formulação analisada a temperatura ambiente. Esse fato está de acordo com ABNTNBR 15200-2012, que preconiza perda de resistência de 5% na temperatura de 400°C. Por sua vez, na formulação  $C_{20}$ , resultou em uma queda significativa de (-79,28%). No caso da formulação  $C_{20}$ , essa queda se deve ao processo de delaminação ou descama-



► **Figura 2**  
Resistência à compressão antes e após queima

Fonte: O autor, 2021.

ção profunda, que é o destacamento de placas de concreto devido à elevada resistência mecânica do concreto, que dificulta a movimentação das partículas quando aquecido.

O fato pode ser explicado, pois a pasta de cimento começa a sofrer, entre os 200 e 300°C, a perda de água capilar completa, sem que se aprecie ainda alteração na estrutura do cimento hidratado e sem que as resistências diminuam de uma forma considerável. De 300 a 400°C, produz-se a perda de água do gel do cimento, ocorrendo uma sensível diminuição das resistências e parecendo assim as primeiras fissuras superficiais; aos 400°C, uma parte do  $Ca(OH)_2$  procedente da hidratação dos silicatos, se transforma em cal viva. Até os 600°C, os agregados que não têm o mesmo coeficiente de dilatação térmica, se expandem fortemente e com diferentes intensidades, dando lugar a tensões internas que começam a desagregar o concreto [11-14].

► **Tabela 6**

Caracterização das formulações no estado fresco

Formulação	Abatimento (cm)	Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )
PD	15 ± 2	2,42 ± 0,2
A5%	12 ± 2	2,42 ± 0,1
B10%	10 ± 1	2,41 ± 0,2
C20%	1 ± 0,5	2,40 ± 0,2

Fonte: O autor, 2021.

► **Tabela 7**

Caracterização das formulações no estado curado

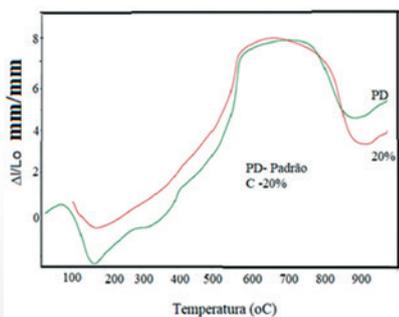
Formulação	Absorção de água (%)
PD	4,5 ± 0,3
A <sub>5%</sub>	4,2 ± 0,2
B <sub>10%</sub>	2,3 ± 0,1
C <sub>20%</sub>	1,0 ± 0,2

Fonte: O autor, 2021.

Na temperatura de 1000 °C, foi observado em todas as formulações a queda da resistência mecânica. O fato se deve ao processo de dissociação dos carbonatos, que favoreceu a fissuração dos concretos [11-14]. Foi ainda evidenciado uma explosão no forno das formulações C<sub>20%</sub>, provavelmente devido ao elevado adensamento das partículas, dificultando a expansão durante o aquecimento. Sabe-se que os concretos de alta resistência, apresentam maior tendência ao lascamento instantâneo se comparados aos concretos usuais. Isto ocorre devido à sua estrutura compacta de baixa porosidade, o que dificulta o transporte de vapores formados na matriz durante o aquecimento. A pressão destes vapores aumenta excessivamente nas camadas próximas à superfície do concreto, podendo ocorrer estilhaçamento violento da região periférica do elemento estrutural [15-16].

### 3.3 Coeficiente de dilatação

De acordo com a Figura 3, em ambas as formulações, com o aumento da temperatura, ocorreu uma dilatação. Quando aquecidos, os agregados sofrem expansões que, dependendo da taxa de aquecimento e do tamanho desses agregados, podem ser destrutivas para o concreto [14], pois eles compõem cerca de 70% do material concreto armado. Os concretos compostos por agregados ricos em sílica (granitos, arenitos, gnaisses e alguns xistos) so-



► **Figura 3**  
Curva dilatométrica  
Fonte: O autor, 2021.

frem “pop outs” (pipocamentos), que são “spalling” de pequenas proporções. Esses estalos com pequenos estilhaçamentos de material são consequentes de expansão térmica súbita que os agregados silicosos sofrem quando próximos a 573 °C: os cristais de quartzo- $\alpha$  transformam-se em quartzo- $\beta$  [13-14]. Essa mudança de fase é seguida de uma expansão da ordem de 0,85% [13].

A partir de 80°C ocorreu dilatação devido degradação da etringita. Em seguida, foi observada perda de água higroscópica a 100°C e formação de cristais de C-S-H (adsorvida e lamelar) é perdida [11]. Pode-se observar a transformação do quartzo  $\alpha$  a 573 °C em ambas as formulações e o início do processo de sinterização a 780 °C na formulação PD e 700°C na formulação C<sub>20</sub>. A redução da temperatura de sinterização na formulação com C<sub>20</sub> se deve, provavelmente, devido a granulometria da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que favoreceu a reatividade. Foi ainda observado que a retração da formulação PD (3%) ocorreu até 840 °C, quando inicia expansão devido formação de fases cristalinas. Já, na formulação com C<sub>20</sub>, a retração ocorreu até 880 °C (4%) provavelmente mais reativo.

### 3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV

Na Figura 4, é apresentada a MEV da formulação contendo 20% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seguido de energia dispersiva EDS no ponto 1. Foi observado a presença de fases cristalinas irregulares, sendo que no ponto 1 a composição era de Si, Ca, característicos do concreto [3].

## 4. CONCLUSÕES

Ao substituir o agregado miúdo pela Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> até o limite de 10% B<sub>10</sub>, não foram observadas alterações significativas na densidade e abatimento no estado fresco. Já, com a substituição de 20% da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pelo agregado miúdo, foi observado redução do abatimento, dificultando a conformação dos corpos de prova, gerando buracos que favoreceram a redução da resistência. Esse fato se deve a composição granulométrica mais fina da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, o que confere maior superfície específica da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, necessi-

tando maior quantidade de água para conferir a trabalhabilidade necessária para concretagem.

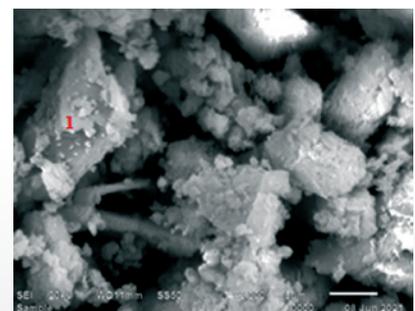
Após cura, foi observado até o limite de substituição B<sub>10</sub>, o aumento da resistência do concreto e redução da absorção de água, por ser mais fino do que o agregado miúdo, favorecendo a reatividade da mistura e aumento do empacotamento.

Após queima a 400°C, foi observado que, nas formulações A<sub>5</sub> e B<sub>10</sub>, a resistência permaneceu maior do que a referência, mas sofreu quedas devido a perda da água higroscópica e dissipação de cristais C-S-H, mas suficiente para manter a integridade da estrutura.

Já, após queima a 1000°C, o concreto sofreu fissuras em todas as formulações, e conseqüentemente, uma redução da resistência devido à dissociação dos carbonatos ou ainda devido à taxa de aquecimento ter sido elevada (3°C/min a 5°C/min).

No ensaio de dilatométrica, ficou evidente que a formulação contendo C<sub>20</sub>, em relação ao padrão PD sofreu maior retração, provavelmente porque deve ter ocorrido reação da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com os componentes do cimento.

A Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> garantiu nas formulações A<sub>5</sub> e B<sub>10</sub> a resistência do concreto. Portanto, pode ser utilizada com esse objetivo até o limite de temperatura de 400°C. Conforme análise dilatométrica, a adição de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> acima de 10% ocasionará maior retração e, conseqüentemente, mais rápido colapso do concreto. □



► **Figura 4**  
Imagem do concreto contendo 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Fonte: O autor, 2021.

- [1] ROCHA, R. A. Efeito da alta temperatura em concretos: uma revisão da literatura. Interscientia, João Pessoa, v. 6, n. 14, p.211-227, 2018.
- [2] COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas. In: NUTAU, 2002.
- [3] VARGAS, M. R.; SILVA, V. P. Resistência ao Fogo das Estruturas de Aço: manual da construção em aço. Rio de Janeiro:Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2003
- [4] SHAO, Q.; ZHENG, K.; ZHOU, X.; ZHOU, J.; ZENG, X. Enhancement of nano-alumina on long-term strength of Portland cement and the relation to its influences on compositional and microstructural aspects. Cem. Concr. Compos. 2019, 98, 39–48.
- [5] LU, Dong *et al.* Effects of combined usage of supplementary cementitious materials on the thermal properties and microstructure of high-performance concrete at high temperatures. Materials, v. 13, n. 8, p. 1833, 2020.
- [6] NAZARI A., RIAHI, Sh, KHADEMNO A., Effects on nano-SiO<sub>2</sub> on mechanical properties of binary blended concrete, To be published, 2010,
- [7] BAREIRO, G. W; SILVA, F. de A.; SOTELINO, E. D.; GOMES, O. da F. M., The influence of alumina content on the chemical and mechanical behavior of refractory concretes fired at different temperatures. V. 187. Elsevier Science Ltd. Rio de Janeiro, Outubro, 2018.
- [8] CAPUTO, H. Mecânica dos solos. Editora Blucher, 2011, São Paulo.
- [9] RILEM TC 129 MHT: Test Methods for Mechanical properties of concrete al high temperatures, Part 9: Shrinkage. 2000.
- [10] GABRICH, M. F.; Estudo da influência das adições minerais no comportamento do concreto sob a ação do fogo. Dissertação. Monografia. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- [11] BENALI, F. Thermo-mechanical characterization of a silica-alumina refractory concrete based on calcined algerian kaolin. Ceramics International. v42, n. 8, p.9703-9711, jun. 2016.
- [12] SILVA, VALDIR PIGNATTA. Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio: conforme ABNT NBR 15200:2012. São Paulo: Blucher, 2012.
- [13] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 782 p., 2014.
- [14] COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas. In: NUTAU, 2002
- [15] ISAIA, G. C. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações (Vol. I). São Paulo: IBRACON. 2005.
- [16] ANDERBERG, Yngve. “Spalling Phenomena of HPC and OC”. In: PHAN, Long T.; CARINO, Nicholas J.; DUTHINH, Dat; GARBOCZI, Edward. International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete — NIST — Gaithersburg, MD, February 13-14, 1997. Proceedings. NIST. Gaithersburg (E.U.A.), February, 1997. [NIST Special Publication 919]

## Prática Recomendada IBRACON/ABECE

### Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibra



Elaborada pelo CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE sobre Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibras e Concreto Reforçado com Fibras, a *Prática Recomendada* é um trabalho pioneiro no Brasil, que traz as diretrizes para o desenvolvimento do projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras.

Baseada no *fib Mode Code 2010*, a *Prática Recomendada* estabelece os requisitos mínimos de desempenho mecânico do CRF para substituição parcial ou total das armaduras convencionais nos elementos estruturais e indica os ensaios para a avaliação do comportamento mecânico do CRF.

#### Aquisição

[www.ibracon.org.br](http://www.ibracon.org.br)  
(loja virtual)

#### DADOS TÉCNICOS

ISBN: 978-85-98576-26-8

Edição: 1ª edição

Formato: Eletrônico

Páginas: 39

Acabamento: Digital

Ano da publicação: 2016

Coordenador: Eng. Marco Antonio Carnio

#### Patrocínio



Pode confiar