

ANÁLISE DA ADERÊNCIA AÇO-CONCRETO SOB EFEITO DE ALTAS TEMPERATURAS

Caetano, L.F.¹; Shimomukay, R.²; Perroni, V.C.³; Ribeiro, J.L.D.⁴; Silva Filho, L.C.P.⁵

^{1, 2, 3 e 5}Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

⁴Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, Universidade Federal do Rio Grande do Sul



RESUMO

O efeito da exposição a altas temperaturas em estruturas de concreto armado é muito severo, sendo, em alguns casos, devastador. A boa aderência aço-concreto é um requisito de desempenho fundamental, uma vez que a mesma é responsável pela compatibilidade de deformações e pela transmissão dos esforços. Neste trabalho, visando estimar a resistência de aderência residual de corpos de prova tipo pull-out, após exposição a altas temperaturas, foi executado um programa experimental que viabilizou a elaboração de um modelo matemático representativo do comportamento da aderência nessa situação. Para a elaboração do modelo foram produzidos cps de concreto com diferentes resistências à compressão, nos quais foram inseridas barras de aço de distintos diâmetros, para capturar a influência destas variáveis independentes. Foram definidos cinco níveis de referência para as variáveis temperatura de exposição (ambiente, 200°C, 400°C, 600°C e 800°C) e diâmetros de barra (8, 12.5, 16, 20 e 25 mm); e 3 níveis de resistência do concreto (25, 45 e 65 MPa).

1 – INTRODUÇÃO

Um bom entendimento do comportamento de estruturas de concreto armado submetidas a elevadas temperaturas é fundamental tanto para permitir uma correta avaliação do comprometimento de estruturas sinistradas quanto para possibilitar um dimensionamento adequado de novas estruturas, para que as mesmas atendam aos requisitos mínimos de resistência ao fogo e assim, permitam a saída dos usuários e a realização das operações de

combate ao fogo, contribuindo para preservar a segurança e vida humana.

Sabe-se que a ação de altas temperaturas provoca alterações severas no desempenho do concreto e do aço. Em matrizes cimentícias, as alterações físicas e químicas são responsáveis pelo aparecimento de fissuras, pela redução da resistência e pela fragilização da forma de ruptura. As alterações acontecem progressivamente acima dos 100°C, se tornando significativas a partir dos 400°C, em função da desidratação do C-S-H

(silicato de cálcio hidratado) e do Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio – portlandita), com formação de larnita e óxido de cálcio. Lima (2005) destaca, ainda, que, por volta de 570°C , surge um patamar de rápida dilatação, que é explicado pela transformação do quartzo presente nos agregados da forma α em β .

Em relação ao aço laminado a quente, o mais utilizado em estruturas de concreto armado, sabe-se que tanto a tensão de escoamento quanto o módulo de elasticidade sofrem redução significativa com o aquecimento da barra, especialmente acima de 500°C . Entretanto, após o resfriamento, o material é capaz de recuperar uma boa parcela de sua resistência original. Costa et al. (2002) alertam que isto ocorre desde que não se atinjam temperaturas superiores a 1200°C , e que os materiais sejam resfriados em seguida.

Segundo os resultados apresentados por Haddad et al. (2008) as barras de aço utilizadas na construção civil começam a apresentar redução nas tensões de escoamento e de ruptura a partir de 350°C . Quando barras são expostas a temperaturas em torno de 700°C , a tensão de escoamento sofre uma redução na ordem de 57%, enquanto a tensão de ruptura caiu em 42,7%.

Além da compreensão dos efeitos isolados das temperaturas em cada material, nos últimos anos os estudos vêm sendo focados na investigação dos efeitos de incêndios no comportamento conjunto do concreto armado em peças estruturais.

A redução da tensão das barras de armadura pode provocar o aparecimento de deflexões excessivas em elementos fletidos e distorções em colunas. Além do mais, o aquecimento da barra pode ocasionar o deslocamento do cobrimento do concreto, em regiões onde existem esforços de compressão, o que pode permitir a flambagem local da barra. Ao ficar desprotegida, a barra sofre um aumento da temperatura mais rápido, o que pode

agravar a tendência de redução das tensões de ruptura e escoamento do aço.

Ademais, em estruturas de concreto armado, as alterações sofridas no concreto e no aço podem resultar numa redução importante do desempenho da aderência, acarretando a perda da capacidade de transferência de esforços entre o aço e o concreto, foco de interesse do presente trabalho.

A ação de altas temperaturas não afeta a aderência apenas indiretamente, pela perda de desempenho dos seus materiais constituintes, mas afeta, também, o comportamento conjunto. O aço tem um coeficiente de dilatação térmica 10% maior que o do concreto. Para pequenas variações de temperatura esta diferença não provoca efeitos sensíveis, mas passa a ser notável quando as temperaturas se elevam. O efeito pode ser agravado pela rápida transmissão de calor através do aço, que pode incrementar a temperatura de trechos de armadura rodeados por concreto que ainda está frio.

Segundo Diederichs e Schneider (1981), Hertz (1982) e Chiang e Tsai (2004), entre outros, a ação de altas temperaturas provoca uma redução progressiva da resistência de aderência com o seu aumento. Entretanto para Morley e Royles (1983), quando expostas a temperaturas inferiores a 300°C , pode ocorrer até mesmo um pequeno aumento do seu desempenho. Apesar destas divergências de resultados, é consensual que ocorre uma redução importante da aderência a partir de 350°C , reproduzindo o comportamento da resistência à compressão do concreto.

2 – OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o comportamento da aderência aço-concreto em corpos-de-prova de arrancamento simples (pull-out) submetidos à ação de altas temperaturas. Pretende-se, ainda, verificar se o diâmetro das barras de aço e a resistência à

compressão do concreto influenciam no comportamento de aderência sob efeito de altas temperaturas.

Como objetivo secundário buscou-se desenvolver um modelo matemático do comportamento da aderência sob altas temperaturas, considerando a influência do diâmetro da barra, da resistência do concreto, da temperatura máxima de exposição e da interação entre estas.

3 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 – Materiais

Para a moldagem dos corpos-de-prova ensaiados neste trabalho foi utilizado um cimento de alta resistência inicial, resistente a sulfatos (CP V-RS, de acordo com a Norma Brasileira NBR 5732/1991); areia silicosa de rio com diâmetro máximo igual a 4,8 mm e módulo de finura de 2,42; e agregado graúdo de origem basáltica com diâmetro máximo de 19 mm e módulo de finura de 6,83.

A caracterização dos agregados, miúdo e graúdo, foi realizada de acordo com as Normas Brasileiras NM 248/2003 – “Agregados – Determinação da composição granulométrica”.

As barras de aço utilizadas possuíam, em média, tensão de escoamento de 560 MPa e de ruptura, 710 MPa. Foram avaliadas barras com cinco diâmetros distintos, os mais utilizados em obras correntes no Brasil: 8, 12,5, 16, 20 e 25 mm.

3.2 – Proporção das Misturas

Três misturas distintas foram produzidas visando avaliar três patamares de resistência à compressão do concreto: 25, 45 e 65 MPa. Estabeleceu-se que, para que as misturas tivessem características semelhantes, a consistência, determinada através do ensaio de abatimento de tronco de cone (slump test), seria fixada em 160 ± 20 mm, sendo usada uma quantidade fixa de 0,5% de um aditivo

superplastificante, em relação ao peso de cimento. Adotou-se um teor de argamassa de 52%.

Na Tabela 1 estão apresentados os traços determinados nestas condições, através de curvas de dosagem elaboradas de acordo com o método do IPT/EPUSP.

Tabela 1 – Proporção das misturas utilizadas.

F_{ck}	Cimento	Areia	Brita	Relação a/c
25 MPa	1	3,42	4,08	0,56
45 MPa	1	2,12	2,88	0,42
65 MPa	1	1,34	2,16	0,32

3.3 – Planejamento Estatístico

Um fracionamento estatístico foi necessário de forma a viabilizar a execução do programa experimental, devido ao grande número de variáveis envolvidas.

Usou-se um modelo estatístico tipo Projeto Composto de Segunda Ordem (PCSO), pois este método é recomendado para ajuste de fenômenos com tendência quadráticos, situação esperada para o caso em questão. Além disto, esta forma de fracionamento facilita a elaboração de um modelo matemático de estimativa de comportamento do fenômeno a partir da análise dos resultados obtidos.

3.3 – Técnicas e Metodologias de Ensaio

Os corpos de provas confeccionados para a verificação da aderência seguiram as recomendações de ensaio propostas pela RILEM:FIP:CEB em 1978, usualmente denominada de pull-out test. Estes espécimes são caracterizados por serem constituídos por uma barra de aço passante em um bloco de concreto, cuja dimensão da aresta é de 10 vezes o valor do diâmetro da barra.

Após 24h da concretagem os corpos de prova foram desmoldados e levados à câmara úmida por 13 dias (23°C e 95% de umidade). Durante 28 dias os mesmos ficaram expostos em ambiente de laboratório para que a água em excesso fosse perdida, evitando que os resultados fossem prejudicados pela diferença de saturação entre eles. É sabido que o grau

de saturação influencia na ocorrência de spalling explosivo em concretos com reduzida porosidade. Posteriormente iniciaram-se os preparativos para a execução da etapa de aquecimento.

O processo de aquecimento dos corpos-de-prova foi realizado com o auxílio de um forno elétrico com potência de 18 kW/h e temperatura controlada eletronicamente, que pode alcançar valores de até 1050°C.

Os corpos de prova foram colocados no interior do forno, conforme pode ser visualizado na Figura 1. As extremidades das barras, que ficariam em contato com o ambiente aquecido, foram protegidas com lã de rocha, para reduzir a temperatura na parte exposta da barra de aço e tentar evitar possíveis distorções no comportamento de aderência devido à exposição direta das mesmas a temperaturas elevadas.

Durante o posicionamento dos corpos de prova tomou-se o cuidado para que todas as faces, dos mesmos fossem expostas ao aquecimento.



Figura 1 – Posicionamento do cps no forno.

A taxa de aquecimento adotada foi de cerca de 27°C/min, valor indicado na curva de incêndio-padrão da ISO 834-1: Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction - Part 1: General Requirements (ISO, 1999). A curva de aquecimento foi caracterizada por um período inicial de aumento de temperatura até o patamar desejado (200°C, 400°C, 600°C e 800°C), e por um intervalo de tempo de 30 minutos na temperatura alvo. O resfriamento foi efetuado no próprio

forno, até que os corpos de prova pudessem ser manipulados, isto é, quando atingiam temperaturas de aproximadamente 50°C.

No dia posterior ao aquecimento, os corpos de prova foram ensaiados em uma prensa computadorizada, marca Shimadzu com capacidade de 20.000kN, conforme o esquema de ensaio apresentado na figura 3. Os deslocamentos relativos entre a barra de aço e o concreto, indicativos da situação de escorregamento da barra e falha da aderência, foram medidos com sensores tipo LVDT (Figura 2) monitorados por um sistema de aquisição que também estava ligado ao controle de carga da prensa.



Figura 2 – Detalhe do ensaio.

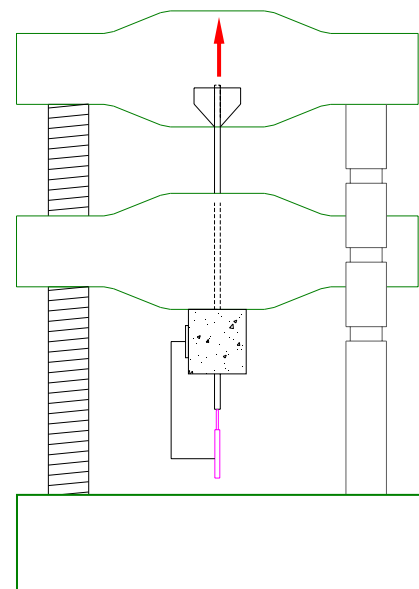


Figura 3 – Esquema de ensaio.

4 – RESULTADOS OBTIDOS

Na Figura 4 se apresenta o gráfico de redução média da resistência à compressão do concreto com a temperatura, para os 3 traços ensaiados. Observa-se que, como esperado, o fenômeno se intensifica a partir dos 400°C

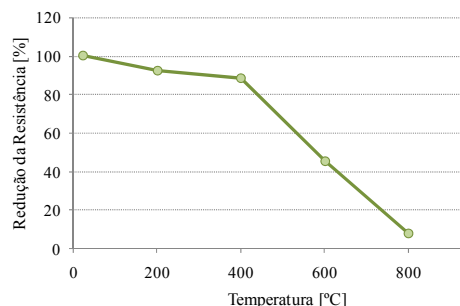


Figura 4 – Resistência residual à compressão versus temperatura.

Conforme pode ser verificado, na Figura 4, com o aumento da temperatura registrou-se uma importante redução da resistência a compressão, sendo alcançada uma redução de 93% na temperatura de 800°C.

4.1 – Considerações Iniciais

Para a elaboração do modelo matemático, os dados foram analisados no software Statgraphics Plus 2.1 e modelados através de uma análise tipo regressão não-linear.

A investigação se centrou na determinação do valor máximo de temperatura até onde não haveria redução notável da tensão de aderência. O melhor ajuste foi obtido considerando o efeito da temperatura como inexistente até 350°C. Apesar dos resultados do programa experimental deste trabalho apontarem a ocorrência de pequenas perdas de resistência para exposições de 200°C, outros pesquisadores, como Lima (2005), registraram aumentos nesta mesma fase. Embora o programa experimental não tenha contemplado o estudo de temperaturas intermediárias entre 200°C e 400°C, outros trabalhos, como o de Haddad et al. (2008), observaram uma forte redução de resistência para temperaturas

em torno de 350°C, o que justifica o uso deste ponto no modelo estatístico.

Definido o ponto de maior redução de desempenho, buscou-se obter uma equação que representasse os fenômenos observados nos ensaios experimentais. Após várias tentativas e interações, determinou-se a equação 1 como sendo a mais adequada.

$$\tau_u = 12,30 \times f_c^{0,5} \times \frac{1}{T_{e_c}^{f_c^{0,5}}} \times \frac{1}{\phi_c^{f_c^{0,5}}} \quad (1)$$

Onde:

- τ_u = tensão de aderência, em MPa;
- f_c = resistência à compressão codificada, em MPa;
- T_{e_c} = temperatura de exposição codificada, em °C;
- ϕ_c = diâmetro da barra de aço;

Cabe salientar que, dada a variação de ordem de grandeza numérica do valor das variáveis, foi necessário codificar os registros dos dados experimentais, para inserção no software. A codificação utilizada está expressa nas expressões 2 a 4. Para usar o modelo é necessário transformar os dados de entrada de acordo com a mesma.

$$\phi_c = \frac{\phi}{16} \quad f_c = \frac{f_c}{30} \quad \begin{aligned} T_{e_c} &= 1, \text{ se } T_e \leq 350^\circ\text{C} \\ T_{e_c} &= \frac{T_e - 125}{225}, \text{ se } T_e > 350^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$(2) \quad (3) \quad (4)$$

Onde:

- ϕ = diâmetro (em mm)
- f_c = resistência à compressão (em MPa)
- T_e = temperatura de exposição (em °C)

4.2 – Aderência versus Temperatura

O gráfico da figura 5, gerado com o modelo matemático, apresenta o comportamento da aderência em relação à resistência de compressão do concreto e à temperatura de exposição dos corpos de prova de arrancamento.

Ressalta-se que esses dados foram plotados para uma barra com diâmetro de 12,5 mm. Podemos observar que a resistência do concreto interage com a temperatura, isto é, para concretos mais resistentes (com maiores valores de resistência à compressão), o modelo indica a ocorrência de uma redução mais rápida da tensão de aderência com a elevação da temperatura.

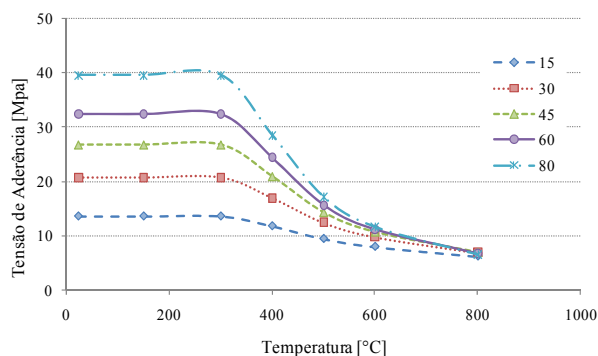


Figura 5 – Desempenho da aderência - resistência à compressão versus temperatura de exposição.

Este comportamento é compatível com as observações de Lima (2005), que argumentou que o uso de matrizes com estruturas de poros mais refinadas favorecia a ocorrência de danos devido ao deslocamento explosivo, pois a pressão gerada pela evaporação da água não consegue ser aliviada. O modelo indica que a queda de desempenho da aderência é acentuada a partir de 350°C, em linha com a queda da resistência do concreto. Nota-se, ainda, que o emprego de concretos com maior resistência eleva a aderência da ligação aço-concreto em temperaturas menores que 600°C, mas este efeito começa a perder importância quando o aquecimento supera este patamar.

Para ilustrar este comportamento podemos analisar qual o patamar de temperatura que provoca uma redução na tensão de aderência original de 50%. Verifica-se que este valor muda de 740°C para 470°C, quando se eleva a resistência à compressão de 15 para 80 MPa. Ou seja, a degradação de 50% da aderência acontece em temperaturas mais baixas para concretos mais resistentes. Em termos absolutos, porém, a aderência do concreto de 80 MPa na temperatura de 470°C ainda

é quase 3 vezes maior que a do concreto de $f_{ck} = 15$ MPa em 740°C.

Quando o patamar de temperatura ultrapassa 835°C, as tensões de aderência de todos os cps tendem a se aproximar, pois se atinge um valor de tensão residual mínima, muito baixo.

Percebe-se, analisando estes resultados, que, para a temperatura de exposição de 400°C, a redução da tensão de aderência estimada pelo modelo, em relação à tensão de aderência medida a 23°C, é de aproximadamente 13% para concretos com resistência de 15 MPa. Já para concretos de 80 MPa, a redução aumenta para 28%. Para temperaturas de exposição igual a 600°C, a redução do desempenho da aderência de diferentes concretos é mais acentuada, variando de 41%, para concretos de 15 MPa, a 70%, para concretos de resistência de 80 MPa.

Este comportamento está de acordo com os dados de perda de aderência apresentados no trabalho de Haddad (2008), para concretos de 77 MPa. O mesmo obteve reduções da ordem de 78%, valor próximo ao estimado pelo modelo, que foi de 70%. Este é um excelente resultado, considerando que os parâmetros de ensaio (tipo de ensaio, velocidade de aplicação da carga, relação cobrimento/diâmetro, material empregado e taxa de aquecimento, entre outros) adotados por Haddad (2008) foram bastante distintos daqueles usados neste trabalho.

Fazendo outra comparação, com os resultados apresentados por Morley e Royles (1983), que usaram concretos com resistência à compressão de 35 MPa, verifica-se, também, uma excelente correlação. Para a temperatura de exposição usada por estes autores (575°C), os valores de tensão residual foram praticamente os mesmos, sendo registrada uma perda de 44% pelos pesquisadores, em comparação com a estimativa de 47% de perda dada pelo modelo gerado neste trabalho.

4.3 – Aderência *versus* Diâmetro *versus* Resistência à Compressão

A interação do diâmetro e da resistência à compressão, com efeito na tensão de aderência, apresentou comportamento similar ao registrado entre a temperatura e a resistência do concreto. Como se pode ver na figura 6, quanto maior a resistência do concreto e o diâmetro da barra, menor será a tensão de aderência. Além disto, resistências mais altas afetam mais fortemente o efeito do diâmetro, fato que pode estar associado à tendência de ruptura brusca dos cps de concreto de maior resistência, devido à elevada resistência dos consoles entre as nervuras, o que dificulta o esmagamento e, conseqüentemente, trava o deslizamento da barra que acontece em concretos de resistência mais baixa. As tensões geradas acabam resultando em uma forte tendência ao fendilhamento brusco. O efeito é agravado pelo aumento da altura da nervura, que está associado ao diâmetro da barra.

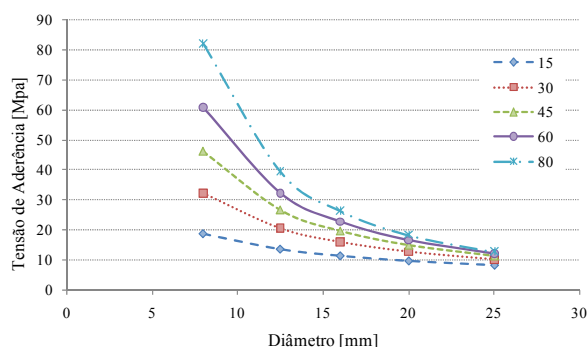


Figura 6 – Desempenho da aderência - resistência à compressão versus diâmetro da barra de aço.

Analisando os gráficos da figura 6 percebe-se que os valores de tensão de aderência para as barras de 8 mm são bastante elevados, não condizendo com os encontrados por Graeff (2007).

Já os resultados obtidos por De Larrard et al. (1993) foram mais condizentes com os derivados da presente pesquisa. Estes pesquisadores obtiveram tensões de aderência de 64,9; 39,8 e 24,8 MPa, usando um concreto de 95 MPa e barras de diâmetros (ϕ) iguais a 10, 16 e 25 mm, respectivamente. A redução de desempenho de aderência quando se variou

o diâmetro da barra de 10 para 16 mm foi de 39%, enquanto que o modelo do presente trabalho estima esta redução em 53,7%.

Cabe ressaltar que o método de ensaio utilizado por De Larrard et al. (1993) foi o de viga, e que foi considerado como limite para análise o deslizamento de 100 μ m, valor bastante conservador, pois as vigas tendem a romper com deslizamentos da ordem de 1000 μ m.

O método de ensaio de aderência tipo viga fornece valores de tensão de aderência mais altos do que os ensaios de arrancamento simples, usados para obtenção do modelo matemático deste trabalho. Isto pode explicar em parte a divergência dos valores.

De qualquer forma, cabe destacar que se deve utilizar com cautela o modelo proposto, especialmente para barras com diâmetro inferior a 12,5 mm.

Para outros diâmetros os valores de tensão de aderência estimados pelo modelo se mostram compatíveis com os encontrados na literatura.

Soroushian e Choin (1989) registraram valores de 17,5 e 13,0 MPa, para barras de 16 e 25 mm de diâmetro, respectivamente, imersas em concreto de 30 MPa. Como pode ser visto no gráfico da figura 6, os valores de aderência estimados pelo modelo para estas combinações de variáveis são de 16,2 e 10,4 MPa, respectivamente, valores muito próximos, considerando as diferenças entre os experimentos e a imprecisão de medida.

5 – CONCLUSÕES

Verifica-se que o modelo final obtido neste trabalho se mostrou sensível à influência das variáveis experimentais testadas, e apresentou alto poder de explicação da variação da tensão de aderência, obtendo um coeficiente de determinação de 86,2%.

Em relação ao efeito da exposição a elevadas temperaturas na aderência, pode-

se concluir que, a partir de aproximadamente 350°C, ocorre uma brusca redução do desempenho, em linha com o já observado em relação à resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto.

De fato, o programa experimental confirma que a aderência apresenta forte interação com a resistência do concreto, evidenciando a importância do mecanismo de engrenamento mecânico.

Apesar de o modelo ter apresentado resultados positivos é importante ressaltar que se considera interessante efetuar um refinamento do estudo, para patamares de temperatura entre 200°C e 350°C, para entender melhor quando as degradações começam a se manifestar de forma mais marcante.

A influência do diâmetro se mostrou bastante significativa na resistência de aderência. Diâmetros menores tendem a gerar tensões de aderência mais elevadas. Salienta-se que a utilização do modelo para barras com diâmetros menores do que 12,5 mm deve ser efetuada com cautela, pois se verificou que o mesmo pode tender a superestimar levemente os valores de tensão de aderência.

Outra constatação importante diz respeito à forte interação entre o diâmetro da barra e a resistência à compressão do concreto na forma de ruptura. Ficou demonstrado que concretos de resistência mais elevada, combinados com barras de maior diâmetro (acima de 12,5 mm), favorecem rupturas por fendilhamento, o que reduz o desempenho de aderência potencial.

Por isso, quando se utilizam concretos de resistências maior que 50 MPa, considera-se recomendável utilizar níveis de confinamento elevados, para inibir a fissuração por fendilhamento e permitir o desenvolvimento de toda a capacidade de aderência possível.

6 – AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, que possibilitou a dedicação exclusiva ao projeto, à FAPERGS, pela concessão das bolsas de Iniciação Científica, à Arcelor Mittal, pela doação das barras de aço e à Votorantim Cimentos, pela doação do cimento.

7 – BIBLIOGRAFIA

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Agregados: determinação da composição granulométrica. ABNT/NBR MN 248. Rio de Janeiro, 2001.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Cimento Portland Comum. ABNT/NBR 5732. Rio de Janeiro, 1991.
- Chiang, C.H.; Tsai, C.L. Time-temperature analysis of bond strength of a rebar after fire expose. *Cement and Concrete Research*, v.33, n.10, p.1651-1654, Out. 2003.
- Costa, C.N.; Figueiredo, A.D.; Silva, V.P. Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas. In: Seminário Internacional NUTAU'2002 - Seminário Internacional - Sustentabilidade, Arquitetura e Desenho Urbano, São Paulo, 2002. Anais. São Paulo: FUPAM/NUTAU/FAUUSP.
- Diederichs, U.; Schneider, U. Bond stress at high temperatures. *Magazine of Concrete Research*, v.33, n.115, p.75-84, Jun. 1981.
- Graeff, A. G. Avaliação Experimental e Modelagem dos Efeitos Estruturais da Propagação da Corrosão em Elementos de Concreto Armado. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.
- Haddad, R.H.; Al-Saleh, R.J.; Al-Akhras, N.M. Effect of elevated temperature on bond between steel reinforced and fiber reinforced concrete. *Fire Safety Journal*, v.43, n.5, p.334-343, Jul. 2008.
- Hertz, K. The Anchored Capacity of Reinforcing Bars at Normal and High Temperatures. *Magazine of Concrete Research*, v.34, n. 121, p. 213-220, Dez. 1982.

Caetano, L.F.; Shimomukay, R.; Perroni, V.C.; Silva Filho, L.C.P.

Lima, R.C.A. Investigação do comportamento de concretos em temperaturas elevadas. 2005. 241p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

Morley, P.D.; Royles, R. Response of the Bond in reinforced concrete to high temperatures. Magazine of Concrete Research, v.35, n.123, p.67-74, Jun. 1983.

RILEM; FIP; CEB. Essai portant sur l'adhérence des armatures du béton. 1. Essai per flexion (7-II-28D). 2. Essai par traction (7-II-128). Recommendations Provisoires. Matériaux et Constructions. Paris, v. 6, n. 32, p. 96-105, 1978.