

EMPREGO DE RESINAS POLIURETÂNICAS NA OPERAÇÃO DE CAPEAMENTO DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Celso Marcelo Ribeiro¹

Orientador(a): Prof. A Dra. Laisa Cristina Carvalho²

RESUMO

Garantir o paralelismo entre os topos de corpos de prova cilíndricos de concreto é fundamental para a realização do ensaio de compressão. Até a data de elaboração deste artigo, eram conhecidos quatro métodos que cumpriam satisfatoriamente esta operação, a saber: o fresamento, o uso de lâminas de neoprene, o capeamento com graute e o capeamento com enxofre fundido. Este último é o que confere melhores resultados ao ensaio, além de apresentar cura rápida e menor tempo de espera para se realizar o rompimento. Em contrapartida, durante a operação de capeamento o enxofre precisa ser aquecido a uma temperatura muito alta, o que expõe o técnico a gases tóxicos e ao risco de queimaduras. O objetivo deste trabalho foi encontrar um material para capear corpos de prova que proporcionasse os mesmos resultados para o ensaio de compressão obtidos com o uso do enxofre, mas que seja atóxico, de fácil aplicação e mais seguro para o operador. A resina bicomponente à base de poliuretano apresentada neste artigo reuniu todas estas características.

Palavras-chave: Capeamento de corpos de prova. Substituição do enxofre. Resina PU.

1 INTRODUÇÃO

Para que um corpo de prova de concreto seja submetido ao ensaio de compressão, ele deve ter seus topos devidamente fresados ou capeados com enxofre, graute ou simplesmente receber dois discos de neoprene (NBR 5738:2015).

¹ Graduado em Física e Matemática pelo Centro Universitário do Sul de Minas. Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário do Sul de Minas.

² Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Minas Gerais, mestre e doutora em Estruturas e Construção Civil pela Universidade Federal de São Carlos. Docente no Centro Universitário do Sul de Minas.

Verificou-se que o enxofre líquido é um método muito utilizado no capeamento de corpos de prova cilíndricos por apresentar baixo custo, rapidez na aplicação e bons resultados durante o ensaio de compressão (BUCHER & RODRIGUES FILHO, 1983 apud BEZERRA, 2007).

Para ser aplicado no corpo de prova, o enxofre precisa ser aquecido a 150 graus centígrados. Ao atingir esta temperatura, além da possibilidade de causar graves queimaduras, o enxofre também passa a emitir os gases SO₂ (dióxido de enxofre) e SO₃ (trióxido de enxofre).

Tanto o SO₂ quanto o SO₃ são gases muito prejudiciais aos seres vivos e ao meio ambiente. Quando estas moléculas entram em contato com a água, ocorre a formação de ácido Sulfuroso (H₂SO₃) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) (RUSSEL,2006).

Esses ácidos agredem o sistema respiratório de qualquer indivíduo que inale o SO₂ ou o SO₃ (CETESB). A permanência num ambiente saturado com estes gases requer o uso de uma máscara especial tipo RC 203, equipada com um filtro químico classe 1 (vapores orgânicos e gases ácidos C.A. 7072).

Quando lançados em grande quantidade no meio ambiente, esses gases desencadeiam o fenômeno conhecido como chuva ácida que pode causar mortandade de peixes, destruição de folhas e galhos de árvores, alteração química do solo e contaminação dos lençóis freáticos (RUSSEL, 2006).

Considerando todas as dificuldades do uso do enxofre líquido, esta pesquisa teve como objetivo encontrar um substituto no capeamento de corpos de prova cilíndricos de concreto. Foram realizados testes em laboratório com resina.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Chamamos de concreto a mistura em quantidades controladas de água, cimento, agregados miúdos e agregados graúdos (CARVALHO).

Para se avaliar a resistência do concreto à compressão, são usados corpos de prova cilíndricos cuja altura deve ser o dobro do diâmetro da base, sendo aceitas as seguintes dimensões: 50mm x 100mm, 100mm x 200mm e 150mm x 300mm (NBR 5738:2015).

Todos os testes realizados neste estudo utilizaram corpos de prova de 100mm x 200mm.

A confecção e posterior cura dos corpos de prova de 100mm x 200mm devem seguir as orientações descritas na NBR 5738, ou seja, as formas devem receber uma fina camada de óleo mineral por toda a extensão interna, a primeira metade da forma deve ser preenchida com o concreto que deve receber 12 golpes (usando a haste metálica padrão) igualmente distribuídos em toda a área, a segunda metade da forma deve ser preenchida com uma quantidade de concreto que exceda o volume do molde, devem ser aplicados mais 12 golpes bem distribuídos, a lateral da forma deve receber alguns golpes com o auxílio de um martelo de borracha para garantir o fechamento dos espaços vazios que por ventura estiverem presentes no interior do concreto moldado. Após a acomodação provocada pelos golpes na lateral da forma, deve ser feito o rasamento do excesso de concreto usando uma régua de aço ou colher de pedreiro. Decorridas as primeiras 24 horas, o concreto deve ser desmoldado, identificado e seguir imediatamente para a cura numa câmara úmida ou por imersão numa caixa de água saturada com cal extinta (NBR 5738:2015).

Após 28 dias de cura, o corpo de prova deve ser capeado e ensaiado para que sua resistência à compressão seja determinada (NBR 5739:2018).

Capeamento é um procedimento realizado nos topos de um corpo de prova para garantir que fiquem paralelos entre si e perpendiculares ao seu eixo (NBR 5738:2015).

Segundo a NBR 5738, o capeamento consiste no revestimento dos topos dos corpos de prova com uma fina camada de material apropriado, normalmente o enxofre líquido à temperatura de 150°C. Deve ser utilizado um dispositivo auxiliar, denominado capeador, que garanta a perpendicularidade da superfície obtida com a geratriz do corpo de prova. A superfície resultante deve ser lisa, isenta de riscos ou vazios e não ter falhas de planicidade superiores a 0,05 mm em qualquer ponto. A espessura da camada de capeamento não deve exceder 3 mm em cada topo (NBR 5738:2015).

A NBR 5738 abre a possibilidade para o desenvolvimento de outros métodos de capeamento, desde que estes sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística, com resultados obtidos de corpos de prova capeados por processo tradicional, e os resultados obtidos apresentem-se compatíveis (NBR 5738:2015).

Seguindo a possibilidade de desenvolvimento de um novo método de capeamento previsto na norma NBR 5738, realizou-se o estudo que visa substituir o enxofre líquido por uma resina poliuretânica.

A palavra polímeros tem origem no grego *poli*, cujo significado é “muitas” e *meros*, que significa “partes”, polímeros, portanto são o resultado da ligação de muitas unidades de moléculas pequenas denominadas monômeros. A reação que transforma monômeros em polímeros recebe o nome de polimerização (CHANG).

Todos os polímeros mencionados neste artigo pertencem a classe dos poliuretanos que são polímeros formados por rearranjo molecular. A opção por este tipo de polímero deve-se a inexistência de solventes aromáticos tais como xilol (C₈H₁₀), tolueno (C₇H₈) ou benzeno (C₆H₆) na sua composição, caso contrário, eles seriam tão tóxicos quanto os gases liberados pelo enxofre fundido e o objetivo deste trabalho é justamente buscar uma opção de produto que minimize os riscos à saúde do laboratorista e agrida o menos possível o meio ambiente.

Tanto os corpos de prova capeados com a resina poliuretânica quanto os corpos de prova capeados com o enxofre líquido, foram submetidos ao ensaio de compressão conforme a norma NBR 5739. Após 28 dias de cura úmida, os corpos de prova foram retirados do tanque, secos, capeados com resina poliuretânica ou enxofre líquido e ensaiados num período inferior a 24 horas da interrupção da cura úmida. A máquina de ensaio manteve a aplicação de força constante de 0,45 MPa.s⁻¹ até a ocorrência da ruptura (NBR 5739:2018).

3 METODOLOGIA

Em um primeiro momento, foi realizada uma pesquisa bibliográfica a fim de conhecer as especificações que o capeamento do corpo de prova deveria apresentar. Constatou-se que o material do capeamento teria que apresentar baixa viscosidade no momento da aplicação para poder preencher toda a área de contato, ser quimicamente compatível com o concreto para garantir a total aderência e ter resistência superior à do concreto sob teste, conservando sua integridade estrutural mesmo depois da ruptura do corpo de prova, conforme consta no item 9.3.2.1 da NBR 5738:2015.

Em um segundo momento, foram testadas 4 resinas de 3 fornecedores, a saber: REDELEASE (CAST-320 e CST-47), DIMCLAY (ULTRA-PU) e AVIPOL (PU-1902).

Todas as resinas adquiridas apresentam viscosidade máxima de 250 cps a 20°C, conforme informação dada pelos fabricantes.

O primeiro teste foi o de tempo de polimerização (endurecimento).

Preparou-se 50 g de cada um dos 4 tipos de resinas e aguardou-se o endurecimento das amostras. As resinas CAST-320 (REDELEASE) e PU-1902 (AVIPOL) apresentaram um

tempo de polimerização superior a 20 minutos e foram descartadas porque atrasariam a operação de capeamento. A resina CST-47 (REDELEASE) apresentou um tempo de polimerização de 4 minutos e a resina ULTRA-PU (DIMCLAY) endureceu em menos de 3 minutos, tempos muito próximos ao gasto pelo enxofre para solidificar (quando lançado líquido dentro da forma do dispositivo capeador), portanto não causariam atrasos na preparação dos corpos de prova. Ambas as resinas passaram para a próxima fase de testes.

O segundo teste foi o de resistência à compressão.

Empregando-se a base de um dispositivo capeador normalizado como molde, foram produzidos dois corpos de prova circulares de 100mm de diâmetro e 8.7mm de altura, um deles preparado com a resina ULTRA PU (DIMCLAY) e o outro utilizando-se a resina CST-47 (REDELEASE).

Os discos obtidos foram então levados para o laboratório para serem submetidos ao ensaio de compressão (Figura 1 à esquerda).

Figura 1 - Laboratório de Força da Weigtech



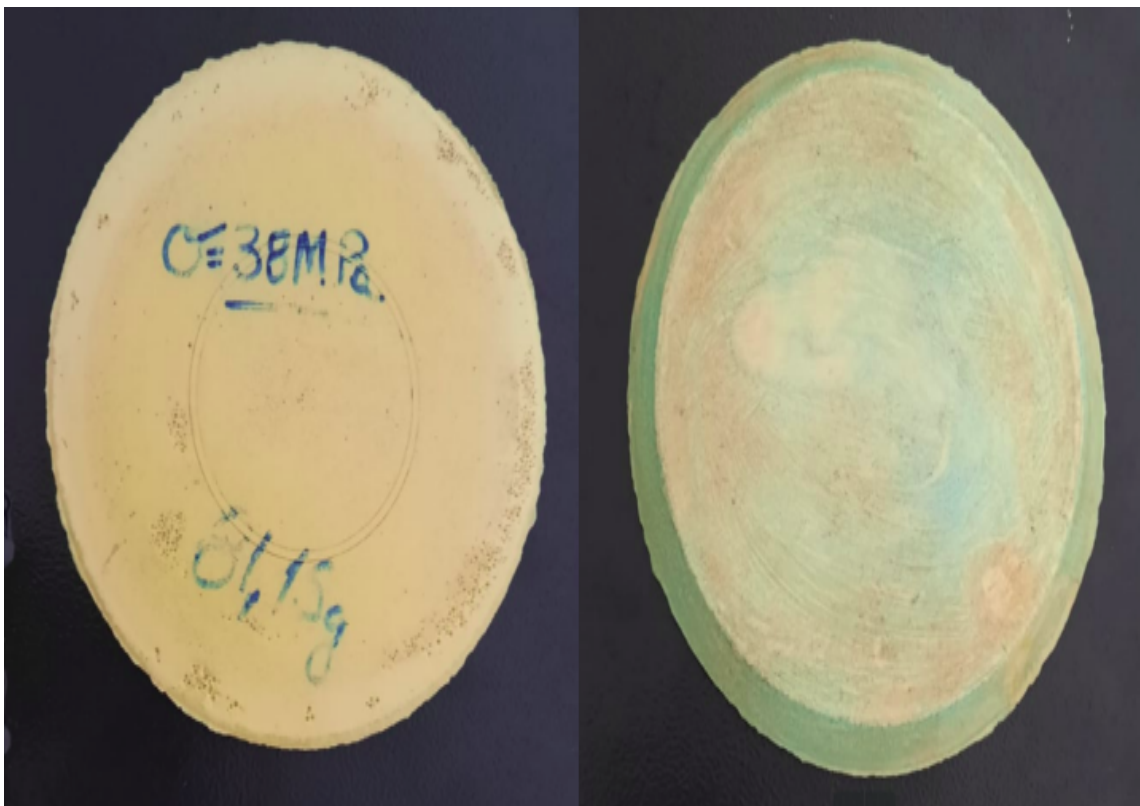
FONTE: (O AUTOR).

O corpo de prova feito a partir da resina CST-47 (REDELEASE) entrou em colapso com menos de 120 kN, indicando que esta resina romperia antes do concreto de um corpo de prova sob ensaio, por esse motivo seu uso foi descartado como um possível material capeador.

O corpo de prova feito usando-se a resina ULTRA-PU (DIMCLAY) foi submetido a 300 kN durante 10 minutos e não apresentou nenhum sinal de que iria romper (300 kN é a máxima força disponível pela máquina de ensaio do laboratório onde os testes foram feitos).

Com este teste foi possível determinar que a resistência da resina ULTRA PU (DIMCLAY) é superior a 38 MPa, classificando-a como apta para permanecer sob investigação.

Figura 2 - Disco de resina ULTRA PU (DIMCLAY)



FONTE: O AUTOR

O terceiro teste foi o de compatibilidade química com o concreto.

Preparou-se 40 g da resina ULTRA PU (DIMCLAY) e transferiu-se 25 g para o molde de capeamento (que primeiramente recebeu uma fina camada de óleo mineral para permitir o desmolde), em seguida depositou-se sobre essa resina um corpo de prova, de modo que um dos topos ficasse em contato direto com a resina, após 3 minutos procedeu-se a retirada do corpo de prova. Aguardou-se 15 minutos e com o auxílio de um martelo de polímero tentou-se sem sucesso retirar o capeamento, demonstrando que a resina aderiu muito bem ao concreto. As setas (Figura 3) mostram os pontos de impacto provocados pelos golpes de um martelo de polímero sobre o disco de resina. A resina não se partiu nem se soltou.

Figura 3 - Teste de compatibilidade química



FONTE: O AUTOR

A resina poliuretânica ULTRA PU do fornecedor DIMCLAY foi aprovada nos quesitos baixa viscosidade, alta velocidade de polimerização, alta resistência à compressão e compatibilidade química com o concreto.

Passou-se para os testes de comparação entre os resultados dos ensaios de compressão de corpos de prova capeados com resina poliuretânica (figura 4 à esquerda) e capeados com enxofre (figura 4 à direita).

Figura 4 - Corpos de prova capeados com resina (à esquerda) e enxofre (à direita)



FONTE: O AUTOR

Para os testes comparativos foram confeccionados 8 corpos de prova de 100 mm x 200 mm usando um concreto com fck de 20 MPa e consistência slump de 55 mm, que foi obtido usando o traço demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Traço do concreto usado na pesquisa

CIMENTO	11,65 %	1,671 kg
AREIA GROSSA	34,15 %	4,896 kg
BRITA 1	46,04 %	6,600 kg
ÁGUA	8,16 %	1,169kg

FONTE: O AUTOR

Os corpos de prova foram produzidos em lotes de 3 unidades a cada 24 horas devido à disponibilidade de apenas 3 formas. A umidade da areia foi medida e corrigida para cada um dos lotes produzidos:

Tabela 2 - Traço usado no lote 1

LOTE 1	%	kg	kg
UMIDADE DA AREIA	7,2		
CIMENTO	11,65	1,671	
AREIA GROSSA	34,15	4,896 + 7,2 %	5,248
BRITA 1	46,04	6,6	
ÁGUA	8,16	1,169 -(5,248-4,896)	0,817

FONTE: O AUTOR

Tabela 3 - Traço usado no lote 2

LOTE 2	%	kg	kg
UMIDADE DA AREIA	6,1		
CIMENTO	11,65	1,671	
AREIA GROSSA	34,15	4,896 + 6,1 %	5,195
BRITA 1	46,04	6,6	

ÁGUA	8,16	1,169 -(5,195-4,896)	0,870
------	------	----------------------	-------

FONTE: O AUTOR

Tabela 4 - Traço usado no lote 3

LOTE 3	%	kg	kg
UMIDADE DA AREIA	5,5		
CIMENTO	11,65	1,671	
AREIA GROSSA	34,15	4,896 + 5,5 %	5,195
BRITA 1	46,04	6,6	
ÁGUA	8,16	1,169 -(5,165-4,896)	0,900

FONTE: O AUTOR

A confecção dos corpos de prova seguiu a NBR5738, ou seja, as formas receberam uma fina camada de óleo mineral por toda a extensão interna, a primeira metade da forma foi preenchida com o concreto que recebeu 12 golpes (usando a haste metálica padrão) igualmente distribuídos em toda a área, a segunda metade da forma foi preenchida com uma quantidade de concreto que excedeu o volume do molde, foram aplicados mais 12 golpes bem distribuídos, a lateral da forma recebeu alguns golpes com o auxílio de um martelo de borracha para garantir o fechamento dos espaços vazios que por ventura estivessem ainda presentes no interior do concreto moldado.

Após a acomodação provocada pelos golpes na lateral da forma, foi feito o rasamento do excesso de concreto usando uma colher de pedreiro. Decorridas 24 horas o concreto foi desmoldado, identificado e seguiu para a cura numa caixa de água (Figura 5 à esquerda) contendo 2 gramas de cal para cada litro de água (o que tornou esta água saturada, incapaz de dissolver o concreto dos corpos de prova). Decorridos 28 dias do início da cura do concreto, metade dos corpos de prova foram capeados com resina poliuretânica (Figura 5 à direita) e metade foram capeados com enxofre (Figura 6). Os corpos de prova foram então submetidos ao ensaio de compressão conforme a NBR 5739.

Figura 5 - Caixa para cura úmida (à esquerda) e capeamento feito com resina a temperatura ambiente (à direita)



FONTE: O AUTOR

Figura 6 - Capeamento com enxofre, temperatura de aplicação 150°C



FONTE: O AUTOR

4 RESULTADOS

Tanto os corpos de prova capeados com enxofre quanto os corpos de prova capeados com a resina, apresentaram ruptura cônica (Figura 7). Isso indica que ambas as técnicas de capeamento adotadas (enxofre líquido e resina de poliuretano) funcionaram, permitindo que as mesas da máquina de ensaio ficassem perfeitamente acopladas aos topos do corpo de prova sob ensaio. Verificou-se ainda que não houve ruptura nos discos de capeamento, indicando que são mais resistentes que o concreto ensaiado.

Figura 7 - Testemunhos rompidos capeados com enxofre (à esquerda) e capeados com resina (à direita).



FONTE: O AUTOR

A tabela 5 contém os resultados das resistências obtidas nos ensaios de compressão e na tabela 6 estão os resultados das estatísticas do processo.

Tabela 5 - Resistências apresentadas pelos corpos de prova.

CORPO DE PROVA IDENTIFICAÇÃO	TIPO DE CAPEAMENTO	RESISTÊNCIA (MPa)
A1	ENXOFRE	17,4
A2	ENXOFRE	19,3

A3	ENXOFRE	17,7
A4	ENXOFRE	18,7
B5	RESINA PU	21,4
B6	RESINA PU	18,1
B7	RESINA PU	19,7
B8	RESINA PU	21,1

FONTE: O AUTOR

Tabela 6 - Estatísticas dos valores obtidos

MÉDIA	19,175 MPa
MAIOR RESISTÊNCIA	21,400 MPa
MENOR RESISTÊNCIA	17,400 MPa
DESVIO PADRÃO	3,96

FONTE: O AUTOR

Os valores obtidos nos ensaios foram analisados estatisticamente, obtendo-se o valor médio de 19,175 MPa , a maior resistência de 21,4 MPa, a menor resistência de 17,4 MPa e o desvio padrão de 3,96 .

O baixo desvio padrão encontrado indica uma boa consistência nos dados.

As principais vantagens observadas no uso da resina foram a baixa temperatura de lançamento no molde (temperatura ambiente) e a não emissão de gases tóxicos, o que permite ao laboratorista dispensar tanto o uso de EPIs para alta temperatura, quanto o uso de máscaras especiais para proteção das vias respiratórias, além disso não é mais necessário impor uma ventilação forçada ao recinto onde se procedem os capeamentos.

São vantagens dignas de nota: a compatibilidade do processo com qualquer dispositivo capeador padronizado e a facilidade no uso da resina cujos componentes foram disponibilizados na forma de um kit contendo dois frascos plástico, um com a resina (parte A) e o outro com o catalisador (parte B), bastando colocar todo o conteúdo de “A” em “B”, agitar a mistura por 10 segundos, verter toda a mistura na fôrma de capeamento, acomodar o corpo de prova no dispositivo capeador e esperar 3 minutos para desformar.

Os principais pontos negativos no uso da resina são o fato desse polímero não ser biodegradável, ter prazo de validade de um ano, ser fabricado por poucas empresas no mundo e custar quase 8 vezes mais que o enxofre.

5 CONCLUSÕES

O ideal seria encontrar um método de capeamento que garantisse resultados confiáveis, fosse simples de aplicar, tivesse baixo custo, pudesse ser reutilizável e principalmente, que não apresentasse nenhum tipo de risco para o técnico ou para o meio ambiente, durante e após sua aplicação.

O uso de lâminas de neoprene como elemento capeador não colado, apresentam resultados muito semelhantes aos obtidos com o uso do enxofre. As lâminas de neoprene podem ser reutilizadas enquanto conservarem suas características de resistência. Quando por fadiga as lâminas ultrapassam a zona elástica, atingindo portanto a zona plástica, o resultado do ensaio do corpo de prova fica seriamente comprometido. A experiência tem mostrado que a placa de neoprene funciona bem, desde que não seja usada mais que 5 vezes para ensaiar concreto de alta resistência. A longo prazo esta solução torna-se muito cara (LESSARD,1992).

Os 8 corpos de prova ensaiados apresentaram ruptura cônica. Esta ruptura com formato de ampulheta normalmente ocorre quando o acoplamento entre as superfícies do corpo de prova estão paralelas aos pratos da máquina de ensaio. Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a resina poliuretânica usada na pesquisa mostrou-se muito promissora na substituição do enxofre líquido no capeamento de corpos de prova cilíndricos. A pesquisa demonstrou que existe uma grande possibilidade de não mais haver a necessidade de expor a saúde dos laboratoristas de concreto ao perigoso enxofre líquido. A resina poliuretânica apresentada é de manuseio muito mais seguro por ser atóxica e ser menos exotérmica.

As queimaduras químicas correspondem de 1 a 4% das queimaduras de várias etiologias, com aproximadamente 36% de letalidade. O enxofre é uma substância muito utilizada na indústria química e pode causar intoxicação humana. Se inalado, pode gerar síndrome tóxica, com irritação de vias aéreas. Se em contato com pele e mucosas, na forma líquida, pode gerar queimaduras cutâneas e oculares. O enxofre possui um custo operacional muito baixo, mas pode causar acidentes muito graves e até fatais (GUANILO).

Capear corpos de prova com resina poliuretânica custa quase 8 vezes mais que realizar este mesmo capeamento com enxofre líquido, mas o risco de acidentes decorrentes do uso da resina é muito menor. Este custo pode ser reduzido sensivelmente se o material for disponibilizado sob a forma de um kit produzido em escala.

Abstract

The parallelism between the top and the base of cylindrical concrete specimens is fundamental for the performance of the compression test. Up to the date of writing this article, three methods were known that satisfactorily carried out this operation, namely: milling, grouting and casting with molten sulfur. The latter is the one that gives the best results to the test, in addition to presenting fast curing and less waiting time to make the rupture. On the other hand, during the capping operation, the sulfur needs to be heated to a very high temperature, which exposes the technician to toxic gases and the risk of burns. The objective of this work was to find a material for capping specimens that would provide the same results for the compression test obtained with the use of sulfur, but that would be non-toxic, easy to apply and safer for the operator. The two-component polyurethane-based resin presented in this article has all these characteristics.

Keywords: Capping of specimens. Sulfur replacement. PU resin.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAUER, Luiz Alfredo. Falcão **Materiais de Construção**, Rio de Janeiro. São Paulo, 2019
- CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Carlos, 2016
- HELENE, Paulo. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. Brasília, 1992
- RUSSEL, John. **Química Geral**. São Paulo, 2006
- L'HEMITE, Robert. **Ao pé do muro**. São Paulo, 1977
- SILVA, Jorge Luiz. **Estatística e Probabilidade**. Fortaleza, 2015
- CHANG, Raymond. **Química**. São Paulo, 2013
- GUANILO, Maria Helena Echevarria. **Revista Brasileira de Queimaduras**. Florianópolis, 2017

LESSARD, Michel. **Testing high performance concrete.** London, 1992