

Análise de diferentes processos de cura para o concreto de fundações¹

Analysis of different environments on the concrete curing process for foundations

Analise de distintos tipos de curado para el hormigón de cimentaciones

Eixo temático: Engenharia Civil, Estruturas e Materiais

GUIMARÃES, Gustavo Vaz de Mello, UFRJ/Macaé, gvmg@poli.ufrj.br

SILVA, Lucas Marques Pires da, UFRJ/COPPE, lucas.mpps@hotmail.com

SANTUCCI, João Filipe Ferreira Lemos, UFRJ/Macaé, jf.santucci@outlook.com

VANNIER, Mariana Moreira, UFRJ/Macaé, mariana.vannier@live.com

SANTOS, Felipe Soares, USP/SP, felipessantos95@gmail.com

FERREIRA, Pedro Gomes, UFRJ/Macaé, pgf.ufrj@gmail.com

Resumo: A última revisão da NBR 6118 (ABNT, 2014) alterou a resistência característica a compressão (f_{ck}) mínima do concreto de 15 MPa para 20 MPa. Mesmo assim, na prática de projetos de fundações, ainda é comum que se utilize valores de f_{ck} inferiores ao mínimo exigido em norma (e.g.: 18 MPa). Nesse contexto foram moldados corpos de prova de concreto submetidos a cinco diferentes processos de cura: tanque com água (referência), ao ar e enterrados em solos com diferentes permeabilidades. Os valores encontrados para o f_{ck} dos CP's curados ao ar foram os menores encontrados, enquanto os CP's curados no tanque com água obtiveram os maiores valores de f_{ck} . Para os demais ambientes de cura os valores do f_{ck} variaram de acordo com a permeabilidade do solo, sendo maiores para os solos com menor permeabilidade.

Palavras-chaves: Cura do concreto. Resistência à compressão. Fundações.

Abstract: The last review of NBR 6118 (ABNT, 2014) changed the minimum compressive strength of the concrete from 15 MPa to 20 MPa. Therefore, in practice it's common to adopt lower f_{ck} values than the minimum standard values (e.g.: 18MPa). In this context samples were made and submitted to five different cure processes: water tank (standard), air, and soils with different permeability's. The values of f_{ck} found for the samples in air cure were the lowest meanwhile the samples cured at water tank were the biggest. The others samples had values of f_{ck} varying with the permeability of the soil, being higher for the soils with the lowest rate of permeability.

Keywords: Concrete cure. Compressive strength. Foundations.

Resumen: La última revisión de NBR 6118 (ABNT, 2014) propone un aumento de la resistencia característica a la compresión mínima (f_{ck}) del hormigón de 15 MPa a 20 MPa. Por lo tanto, en la práctica de proyectos de cimentación, todavía es común usar valores de f_{ck} por debajo del mínimo requerido en la norma (por ejemplo: 18 MPa). Así muestras de hormigón fueron moldeadas y sometidas a cinco procesos de curado diferentes: tanque de agua (referencia), al aire, enterrado en suelos con distintas permeabilidades. Los valores encontrados para el f_{ck} de las muestras curadas al aire fueron los más bajos encontrados. Los valores de f_{ck} para las muestras curados en el tanque de agua fueron los mas grandes.

¹ GUIMARÃES, Gustavo Vaz de Mello *et al.* Análise de diferentes processos de cura para o concreto de fundações. In: CONGRESSO ARAGUAIENSE DE CIÊNCIAS EXATA, TECNOLÓGICA E SOCIAL APLICADA, p. 1-12, 2020, Santana do Araguaia. *Anais...* Santana do Araguaia: II CONARA, 2020.

Los demás suelos tuveran el fck variando con la permeabilidad del suelo, sendo mas grandes para los suelos con menor permeabilidad.

Palabras clave: *Curado del hormigon. Resistencia característica a la compression. Cimentaciones.*

1 Introdução

O concreto é um material muito versátil e importante para a construção de diversos tipos de estruturas. Para as fundações não seria diferente, sendo o concreto um dos principais materiais empregados em sua execução. A prática de projetos de fundações mostra que é comum projetar elementos estruturais de concreto que possuem valores de resistência característica à compressão inferiores aos utilizados nos elementos da superestrutura (e.g.: vigas, pilares e lajes).

Até pouco tempo atrás era usual projetar fundações moldadas “in loco” com resistências a compressão da ordem de 15 MPa, amparados pela norma brasileira de concreto armado NBR 6118 (ABNT, 2003). Porém, recentemente a NBR 6118 (ABNT, 2014) foi revisada e os valores mínimos de resistência a compressão do concreto foram alterados para 20 MPa. Por outro lado, a NBR 6122 (ABNT, 2019) preconiza que estruturalmente as fundações têm que atender a NBR 6118 (ABNT, 2014). Em fundações, sobretudo nas superficiais, devido a dificuldades no processo de execução e, conseqüentemente na cura do concreto, muitas vezes atingir valores elevados para o f_{ck} (e.g.: 20 MPa) é, relativamente, difícil.

Outro fator relevante a ser considerado na resistência das fundações é o processo de cura do concreto. Segundo Neville e Brooks (2013) os procedimentos de cura afetam não só a resistência, bem como a durabilidade das estruturas. Por isso, diversos cuidados devem ser tomados para garantir a correta cura do concreto. Bastos (2014) cita que um processo de cura controlado pode reduzir as fissuras que surgem devido ao fenômeno de retração. As medidas das fissuras devem ser tomadas para todas as estruturas de concreto, inclusive para as fundações. Na prática, verifica-se que, para as fundações, esse controle é muito difícil de ser realizado, pois após a execução, geralmente, as fundações se encontram enterradas e em contato direto com o solo.

O contato direto com solo, devido a não utilização de formas por exemplo, faz com que as fundações tenham um processo de cura não muito controlado, variando principalmente com o nível d’água e a permeabilidade do solo que a circunda. Esse fator torna-se ainda mais crítico no caso de algumas fundações executadas “in loco”, geralmente superficiais, onde o controle tecnológico do concreto não é realizado de maneira adequada.

2 Referencial teórico

2.1 O processo de cura do concreto

A norma NBR 5738 (ABNT, 2015) descreve os processos de moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto. A NBR 5738 (ABNT, 2015) não se aplica a: concretos com abatimento igual a zero ou misturas relativamente secas, concreto para barragens e concreto compactado com rolo.

De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015) o processo de cura do concreto é composto por

uma cura inicial e outros dois procedimentos de acordo com a destinação do concreto (corpos de prova moldados para comprovar a qualidade e a uniformidade do concreto durante a construção e corpos de prova moldados para verificar as condições de proteção e cura do concreto).

a) Cura inicial;

O processo de cura inicial se dá após a moldagem dos corpos de provas, onde os moldes são colocados sobre uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que possa perturbar o concreto. Durante pelo menos as primeiras 24 h, para corpos de prova cilíndricos, e 48 h, para corpos de prova prismáticos, todos os corpos de prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar perda de água do concreto.

Em casos especiais, os corpos de prova podem ser desmoldados em idades mais recentes, e esse fato, pode constar no relatório do ensaio.

b) Corpos de prova moldados para comprovar a qualidade e a uniformidade do concreto durante a construção;

Os corpos de prova devem ser desmoldados após o período de cura inicial e identificados.

Imediatamente após sua identificação, os corpos de prova devem ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95 %. Os corpos de prova não podem ficar expostos ao gotejamento nem à ação de água em movimento. Evitar empilhamento de corpos de prova.

A temperatura do ar da câmara úmida ou da água do tanque de cura pode ser mantida no intervalo de $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$, $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ou $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$ e registrada no relatório de ensaio.

Impedir a secagem das superfícies dos corpos de prova entre o momento em que são retirados do local de cura e a realização do ensaio.

c) Corpos de prova moldados para verificar as condições de proteção e cura do concreto;

Os corpos de prova também devem ser desmoldados após o período de cura inicial e identificados. Após, devem ser imediatamente armazenados sobre a estrutura, no local mais próximo possível de onde foi extraída a amostra de concreto.

Esses corpos de prova devem receber as mesmas proteções contra as ações climáticas e a mesma cura em toda sua superfície que a estrutura de concreto que representam.

Após o período de cura especificado para as estruturas, os corpos de prova devem permanecer no mesmo local e expostos às mesmas condições climáticas que as estruturas, até que sejam enviados ao laboratório para serem ensaiados.

Se os corpos de prova forem ensaiados aos 28 dias, devem permanecer na obra nas condições pelo menos durante 21 dias. No caso de outras idades, devem permanecer na obra pelo menos durante três quartas partes da idade de ensaio.

Ao chegar ao laboratório, os corpos de prova devem ser mantidos em câmara úmida até o momento do ensaio.

2.2 Fundações

A NBR 6122 (ABNT, 2019) aborda aspectos geotécnicos e estruturais das fundações.

Especificamente sobre o processo de cura do concreto das fundações a NBR 6122 (ABNT, 2019) menciona no Anexo A, associado a fundações superficiais e seus procedimentos executivos, que: “após cura da sapata, deve ser procedido o reaterro compactado da cava”.

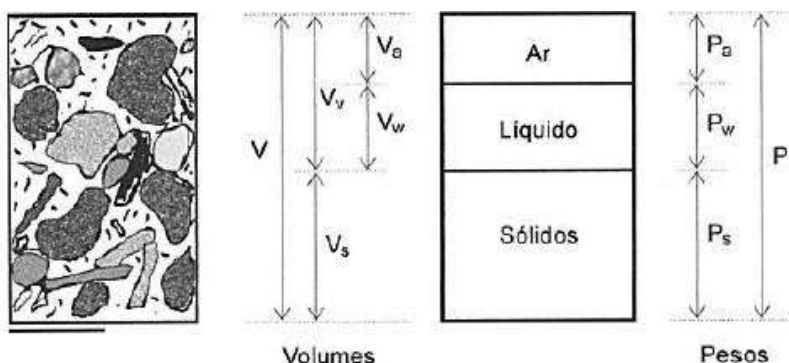
Estruturalmente, a NBR 6122 (ABNT, 2019) menciona que a resistência à compressão do concreto deve ser controlada em corpos de prova moldados conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015). Com relação ao dimensionamentos estrutural dos diversos tipos de fundações, além das ligações entre as cabeças das estacas e os blocos de coroamento, a NBR 6122 (ABNT, 2019) menciona, na maioria dos casos, seguir o $f_{ck} \geq 20$ MPa aos 28 dias, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014).

A NBR 14931 (ABNT, 2004) prevê a utilização de fôrmas em diversos tipos de estruturas, tanto as correntes quanto nas fundações superficiais (sapata, “radier”, sapata associada, blocos e vigas de fundação). O mesmo não se aplica aos elementos de fundações profundas.

2.3 Permeabilidade dos solos

Na natureza o solo pode ser comparado com um sistema trifásico composto por: sólidos, líquido e ar (por exemplo: grãos de solo, água e ar). O ar e a água necessariamente ocupam o volume referente aos vazios encontrados entre os grãos do solo. Eventualmente o volume dos vazios do solo estão totalmente preenchidos por água e, neste caso, o solo se encontra no estado saturado. A figura 1 apresenta a configuração clássica utilizada em mecânica dos solos para descrever o sistema trifásico, tanto em termos de volumes como em termos de peso.

Figura 1 – Sistema trifásico do solo (Adaptado de Pinto, 2006)



Naturalmente, existem diversos tipos de solos, tais como: areia, silte e argilas. Além de diâmetros distintos os diferentes tipos de solos também possuem formatos diferentes. Nota-se que na natureza é muito comum encontrar misturas em diferentes proporções dos distintos tipos de solos.

Segundo Taylor (1948) a permeabilidade no solo é proporcional ao seu índice de vazios e seu diâmetro representativo¹. Pinto (2006) apresenta valores de permeabilidade para diversos solos. O quadro 1 apresenta os valores médios de coeficientes de permeabilidade para diversos tipos de solos.

¹ Em mecânica dos solos entende-se como diâmetro representativo do solo o valor médio dos diâmetros de diferentes tipos de grãos encontrados em um meio particulado.

Quadro 1 – Valores médios dos coeficientes de permeabilidade para argilas, siltes e areias.

Tipo de solo	Argila	Siltes	Areia argilosa	Areia fina	Areia média	Areia grossa
Coeficiente de permeabilidade (m/s)	$<10^{-9}$	$10^{-9}-10^{-6}$	10^{-7}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}

Fonte: Adaptado de Pinto (2006)

2.4 Generalidades

O processo de cura para o concreto é uma metodologia bem difundida e possui normas específicas com todos os detalhes necessários para estruturas correntes (lajes, vigas e pilares).

Recentemente alguns tipos diferentes de concretos vem sendo utilizados (e.g.: concreto auto-adensável, concreto leve, bioconcreto, etc) e processos de curas diferentes são necessários. Silva (2019) apresenta métodos de cura para bioconcreto, por exemplo.

Para outras estruturas, como por exemplo as fundações, os procedimentos adotados não são tão claros e, em muitos casos, a falta de referências bibliográficas não ajuda muito na uniformização do processo.

Para as fundações, tanto superficiais quanto profundas, os processos executivos não permitem um controle tecnológico tão eficaz quanto para as estruturas correntes. Neste sentido, entende-se que ainda existe a necessidade de se investigar se o processo de cura indicado para as estruturas correntes tem a mesma eficácia para as fundações.

3 Metodologia

Para simular a influência do processo de cura no comportamento do concreto de fundações superficiais foram escolhidos cinco ambientes de cura diferentes.

Para a referência de f_{ck} com limite inferior foi adotada a cura ao ar e para a referência com limite superior a cura em tanque com água, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015). Além destes dois ambientes, a cura também foi realizada em duas caixas de madeira, sendo que uma delas com solo amolgado de permeabilidade alta e a outra com solo amolgado de permeabilidade baixa. O quinto ambiente escolhido para a cura foi um solo natural de permeabilidade baixa.

Foram moldados, para cada ambiente de cura, três corpos de prova de concreto cilíndricos com dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura conforme uma das prescrições da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Para confecção do traço de concreto foi utilizado o cimento CP-III-40 RS (resistente a sulfatos), brita 0 e areia média, com o traço de 1: 0,959: 2,621, além do fator água cimento de 0,632.

A resistência a compressão de cálculo, calculada a partir de uma adaptação do método da ABCP, foi da ordem de 20 MPa. Ressalta-se que essa adaptação foi necessária devido a utilização do cimento tipo CP-III.

A utilização do CP-III-40 RS possibilitou que, mesmo com um alto fator A/C, o concreto tivesse uma trabalhabilidade adequada para a execução do experimento, sendo os abatimentos da ordem de 30 mm. Isso possibilitou que todos os corpos de prova pudessem ser adensados manualmente. A determinação do número de camadas e golpes dos corpos de prova em função

do adensamento foi obtida conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998). Os corpos de prova foram adensados manualmente, por meio da aplicação de 12 golpes distribuídos uniformemente em 2 camadas.

A seguir apresentam-se os cinco ambientes e os procedimentos utilizados para a avaliação do efeito da cura na resistência a compressão do concreto.

3.1 Tanque com água (referência como NBR 5738 (ABNT, 2015)).

Foram moldados três corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Após 24 h da moldagem os corpos de prova foram retirados dos moldes metálicos e imediatamente transportados para o tanque de cura. O tanque utilizado tinha dimensões suficientes para que todos os corpos de provas ficassem imersos completamente. A solução do tanque foi saturada com hidróxido de cálcio que atua na neutralização dos efeitos de possíveis ácidos agressivos para o concreto. A temperatura da solução foi monitorada com termômetro três vezes ao dia e variou entre 21°C e 25°C.

3.2 Ao ar

Também foram moldados três corpos de prova de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015). Após 24 h da moldagem os corpos de prova foram retirados dos moldes metálicos e armazenados dentro do laboratório da engenharia civil da UFRJ/Macaé, em um espaço reservado. Ressalta-se que o laboratório é um ambiente com baixa variação de temperatura e umidade, além disso não há a incidência direta de luz solar. A temperatura no interior do laboratório era verificada constantemente com termômetro e variou entre 19°C e 21°C.

A figura 2a apresenta a betoneira, cimento, brita 0, areia e água utilizados em um dos traços de concreto. A figura 2b ilustra os moldes dos corpos de prova antes da moldagem. A figura 2c mostra um dos corpos de prova após as 24h iniciais do processo de cura e a figura 2d apresenta um dos corpos de prova já no processo de desmoldagem.

Figura 2 – Fabricação dos CP's curados no tanque e ao ar.



3.3 Solo amolgado com alta permeabilidade

Para simular um solo com alta permeabilidade foi utilizada uma areia lavada empregada normalmente na construção civil.

Assim, neste sentido, uma caixa de madeira, com amostra deformada de areia lavada, foi elaborada para ser utilizada para a cura dos três corpos de prova de concreto. Para o coeficiente de permeabilidade médio desta areia foi suposto o valor de 10^{-4} m/s.

Toda a areia, seca ao ar, foi depositada na caixa cuidadosamente de forma a se obter uma

amostra com índice de vazios o mais uniforme possível.

Inicialmente foi depositada uma camada de cerca de 5 cm de areia em toda a área da caixa. Após isso foram demarcados os locais para a moldagem dos corpos de provas, sendo que, nestes locais, foi depositada, com a colher de pedreiro, uma fina camada de concreto magro. Após 24h foram posicionados tubos de PVC, com 10 cm de diâmetro e comprimentos superiores a 20 cm, e o resto da areia foi inserido na caixa.

Assim os três corpos de provas foram moldados in loco com auxílio dos equipamentos tradicionais e moldes de tubo de PVC ao invés do molde de aço. Após a finalização da moldagem os tubos de PVC foram retirados imediatamente, procurando simular o máximo possível a cura do concreto de fundações sem a utilização de formas. Para finalizar o procedimento foi colocada mais uma camada de areia com, pelo menos 5 cm de espessura, em toda caixa, fazendo assim com que os topos dos corpos de prova também ficassem totalmente enterrados no solo de alta permeabilidade.

A figura 3a mostra a colocação do concreto magro sobre a fina camada de areia e a figura 3b apresenta a caixa de solo com alta permeabilidade finalizada, já com os três corpos de prova enterrados.

Figura 3 – (a) colocação do concreto magro e (b) caixa de areia com CP's enterrados.



(a)



(b)

Destaca-se que o galpão utilizado para armazenar a caixa de solo de alta permeabilidade era protegido da incidência da luz direta solar. A temperatura exterior foi controlada com termômetro e variou entre 18°C e 30°C.

3.4 Solo amolgado com baixa permeabilidade

Um solo argiloso com a presença de silte foi utilizado para simular um solo com baixa permeabilidade. O coeficiente de permeabilidade médio foi suposto o valor de 10^{-9} m/s.

Neste caso, uma caixa de madeira semelhante a anterior também foi elaborada para servir de ambiente de cura para os três corpos de prova executados. O solo argiloso com a presença de silte também foi seco ao ar e depositado na caixa cuidadosamente de forma a se obter uma amostra com índice de vazios o mais uniforme possível.

Os outros procedimentos mencionados anteriormente adotados para o solo com alta permeabilidade também foram adotados para o solo com baixa permeabilidade.

A figura 4a apresenta um detalhe de um dos corpos de prova moldados após a retirada do molde de PVC e antes da colocação da última camada do solo com baixa permeabilidade sobre o CP. A figura 4b apresenta a caixa de solo com baixa permeabilidade finalizada, também já com os três corpos de prova enterrados.

Figura 4 – (a) Detalhe de um dos CP após moldagem e (b) caixa de argila/silte com CP's já enterrados



O mesmo galpão, protegido da incidência da luz direta solar, foi utilizado neste caso. A temperatura exterior também foi controlada com termômetro e variou entre 18°C e 30°C.

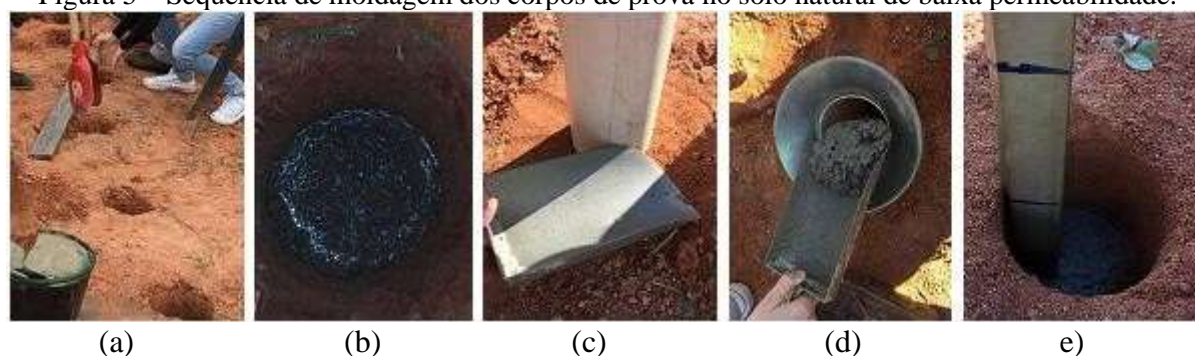
3.5 Solo natural com baixa permeabilidade

O mesmo solo, em termos de granulometria, com baixa permeabilidade descrito anteriormente foi utilizado. Neste caso, a grande diferença foi que os três corpos de prova de concreto foram moldados diretamente no solo natural. Vale destacar que o índice de vazios em campo não foi obtido.

Foram realizados três furos com auxílio de trados (concha e helicoidal) até uma profundidade previamente conhecida. Após chegar na cota desejada uma fina camada de concreto magro foi lançada e após isso o molde de PVC foi inserido no furo. A partir daí os mesmos procedimentos descritos anteriormente para ambas as caixas durante a moldagem dos corpos de provas foi executado. Ao final do processo de moldagem foi lançada uma camada de solo com, pelo menos, 10 cm de espessura sobre os corpos de prova.

A figura 5a mostra a execução dos furos com o auxílio do trado concha. A figura 5b apresenta um dos furos já executado com a camada de concreto magro já lançada. A figura 5c mostra um dos furos com o molde de PVC sendo colocado. A figura 5d ilustra a colocação do concreto dentro do molde de PVC com o auxílio do funil. A figura 5e mostra o gabarito utilizado para a finalização da moldagem de um dos corpos de prova.

Figura 5 – Sequência de moldagem dos corpos de prova no solo natural de baixa permeabilidade.



No caso do solo natural não foi possível controlar a temperatura da cura do concreto. Acredita-se que devido aos corpos de prova estarem enterrados em uma espessa camada de solo o efeito de variação de temperatura tenha sido minimizado.

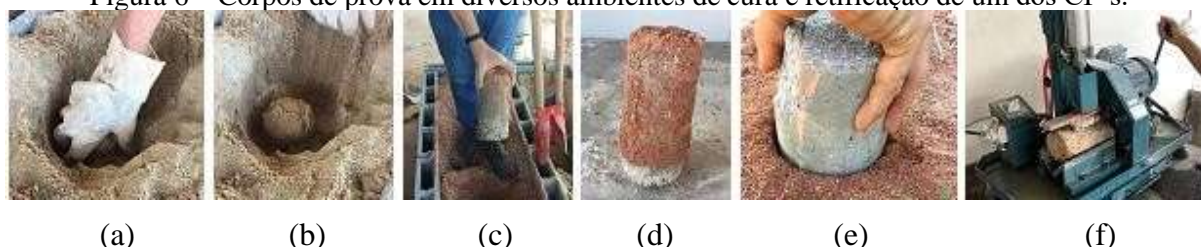
3.6 Resistência a compressão simples

Após 35 dias, os quinze corpos de prova foram extraídos dos cinco diferentes ambientes e submetidos a uniformização das superfícies de topo e base através de uma retifica. Uma prensa

hidráulica foi utilizada para a realização dos ensaios de resistência a compressão simples de todos os quinze corpos de provas fabricados. Foi utilizada como base para os ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova cilíndricos a NBR 5739 (ABNT,2007).

As figuras 6a e 6b apresentam a retirada de um dos corpos de prova da caixa de solo amolgado com alta permeabilidade. A figura 6c mostra um dos corpos de prova sendo retirado da caixa de solo amolgado de baixa permeabilidade. A figura 6d ilustra um detalhe de um dos corpos de prova, logo após ser retirado da caixa de solo amolgado de baixa permeabilidade. A figura 6e mostra um dos corpos de prova sendo retirado do solo natural. Já a figura 6f apresenta um dos corpos de prova tendo uma de suas superfícies submetida ao processo de uniformização através da retífica.

Figura 6 – Corpos de prova em diversos ambientes de cura e retificação de um dos CP's.



A figura 7a apresenta os três corpos de prova, após extração, da caixa de solo amolgado de baixa permeabilidade. A figura 7b mostra os três CP's, após extração, do solo natural. A figura 7c apresenta os três corpos de prova, após extração, da caixa de solo amolgado de alta permeabilidade. A figura 7d mostra os três CP's, após extração, do tanque de água (referência). Já a figura 7e apresenta os corpos de prova 35 dias após a cura ao ar.

Figura 7 - Corpos de prova após extração dos respectivos ambientes de cura.



Ressalta-se que nenhum dos corpos de prova da figura 6 havia sido submetido, até então, ao processo de uniformização de topo e base através da retífica. Nota-se também, na figura 6, a identificação manual realizada na ocasião de cada grupo de CP's.

4 Resultados

O quadro 2 apresenta os valores de todas as resistências a compressão para os cinco diferentes ambientes de cura obtidas durante os ensaios na prensa hidráulica.

Quadro 2 – Resultados das resistências a compressão

Corpos de prova	Tanque (referência)	Solo natural baixa permeabilidade	Solo amolgado de baixa permeabilidade	Solo amolgado de alta permeabilidade	Ar
	Resistência à compressão (MPa)				
CP1	21,53	22,37	22,84	20,06	17,56
CP2	22,95	20,80	20,26	20,03	16,05
CP3	23,56	6,19	22,19	19,10	16,52

Vale destacar que o valor da resistência a compressão do CP3 para o solo natural de baixa permeabilidade foi descartado por se encontrar muito diferente dos demais. Com efeito, ao se observar os corpos de prova após a ruptura no ensaio de compressão simples, verificou-se que o CP3 foi o único que apresentou uma superfície de ruptura diferenciada. Este fato pode explicar o valor da resistência a compressão tão diferente entre o CP3 e os demais CP's.

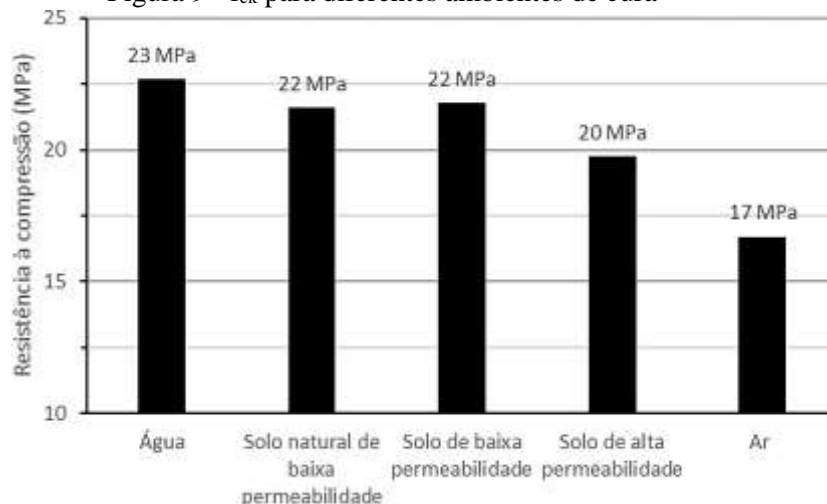
A figura 8 apresenta os quinze corpos de prova após o ensaio de compressão simples na prensa. Um detalhe do CP3, curado no solo natural de baixa permeabilidade, também é apresentado na figura 8.

Figura 8 – Corpos de prova após ruptura por compressão simples na prensa.



A Figura 9 apresenta a média² do f_{ck} obtida para os cinco processos de cura desta pesquisa: tanque de água (referência), solo natural com baixa permeabilidade, solo amolgado de baixa permeabilidade, solo amolgado de alta permeabilidade e ao ar livre. Salienta-se que esses valores médios do f_{ck} foram considerados na análise dos resultados.

Figura 9 - f_{ck} para diferentes ambientes de cura



² O valor da média das resistências a compressão foi obtido através da média aritmética entre os três valores de cada resultado dos ensaios nos corpos de prova. Com efeito, nenhum conceito de estatística foi utilizado para calcular essa média, mesmo porque, para cada ambiente de cura, a quantidade de unidades amostrais desta pesquisa não permite que, estatisticamente, sejadeterminado o seu respectivo desvio padrão

5 Discussões

O concreto possui grande relevância no contexto de fundações, bem como seu processo de cura. A presente pesquisa simulou as condições de fundações executadas em diferentes tipos de solo através de corpos de prova de concreto moldados e rompidos, respectivamente, de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015) e NBR 5739 (ABNT, 2007). Naturalmente, a perda de umidade durante o processo de cura teve influência direta no resultado da resistência à compressão do concreto.

Um dos corpos de prova moldado no solo natural de baixa permeabilidade (CP3) apresentou valor de resistência a compressão muito inferior aos demais corpos de prova. A observação do modo de ruptura deste corpo de prova foi determinante para eliminar o resultado das análises. Acredita-se que algum problema pode ter ocorrido durante sua moldagem no solo natural. Destaca-se que a moldagem dos corpos de prova no solo natural de baixa permeabilidade foi a mais difícil de ser controlada perante aos outros quatro ambientes de cura.

A análise dos resultados desta pesquisa para cada ambiente de cura indicou que a resistência à compressão dos corpos de prova variou.

Conforme esperado, o f_{ck} dos CP's curados no tanque de água (valores de referência) foram os maiores encontrados. Os CP's curados na caixa de solo de baixa permeabilidade e no solo natural de baixa permeabilidade tiveram um valor de f_{ck} 5% menor. Já os CP's curados em caixa de solo com alta permeabilidade tiveram uma redução no valor do f_{ck} de cerca de 15% em relação ao valor de referência. Os CP's curados ao ar tiveram uma redução de cerca de 35% em relação aos valores de referência.

Sabendo que os solos argilosos/siltosos possuem uma permeabilidade menor que os solos arenosos, constatou-se que a permeabilidade do solo, onde o corpo de prova se encontra durante a cura, tem influência direta na resistência final à compressão do concreto.

Vale mencionar que os resultados obtidos foram para um concreto resistente à sulfato, assim tais constituintes físico-químicos do solo, teoricamente, não deveriam afetar o concreto. Porém, devido à formação geológica do local, onde a gênese infere uma taxa de coesão verdadeira, as partículas do solo devem estar influenciadas por algum desses tipos de ligações: pontes de hidrogênio, forças de Van der Waals e/ou cátions adsorvidos. Assim, a interação das partículas de solo e as moléculas da água deverão interferir no que tange a permeabilidade e resistência do meio particulado. Os resultados da presente pesquisa não permitem a análise desses efeitos, mas eles, possivelmente, devem existir devido à formação geológica da região.

6 Conclusões

Foram moldados quinze corpos de prova de concreto em diferentes ambientes de cura sob a hipótese de que o concreto se comporta da mesma maneira tanto na fundação quanto nos corpos de prova.

Ao todo foram cinco ambientes de cura diferentes, cada um deles com um conjunto de três corpos de prova. Esses ambientes de cura foram: tanque de água (referência), solo natural com baixa permeabilidade, solo amolgado de baixa permeabilidade, solo amolgado de alta permeabilidade e ao ar.

Através dos dados obtidos percebeu-se uma relação direta entre a o ambiente de cura e a resistência à compressão do concreto. Conclui-se que uma ponderação para a resistência à compressão do concreto no projeto de fundações deve ser considerada, principalmente quando

o solo que envolve as fundações tiver uma permeabilidade elevada (como areia, por exemplo). Outra conclusão importante é que, caso não haja a execução de forma nas fundações, as mesmas devem ser protegidas (enterradas) após a concretagem, evitando assim, o pior ambiente de cura possível apresentado nessa pesquisa – cura ao ar.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer especialmente ao Engenheiro Civil e Técnico do Laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos Carlos Macambira pela generosa contribuição aos ensaios realizados durante essa árdua pesquisa.

Vale destacar também a notável contribuição do aluno André Soares de Castro da engenharia civil da UFRJ/Macaé durante a realização desta pesquisa.

Referências

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6018**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6018**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

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

BASTOS, P. S. S. **Estruturas de Concreto Armado (Notas de Aula)**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2014.

NEVILLE, A.M., BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. Tradução: Ruy Alberto Cremonini, 2ª edição, Bookman, Porto Alegre, RS, Brasil. 2013.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**. 3ª edição, Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil. 2006.

Silva, N. A. **Estudo da aderência bambu-bioconcreto** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

Taylor, D.W. **Fundamentals of Soil Mechanics**. 1ª edição, John Wiley & Sons, New York, NY, USA. 1948.