

Comparação de concretos utilizando métodos Bootstrap

Comparison of concrete using Bootstrap methods

RESUMO

Sara Elen dos Santos
sarasantos@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Gustavo Henrique Dalposso
gustavodalposso@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo sendo também um dos mais estudados para desenvolvimento de melhorias. Para isso são realizados ensaios e testes para sua avaliação, onde é questionável a utilização da estatística clássica, devido a quantidade das amostras serem normalmente pequenas. Neste sentido, uma prática que está se tornando popular no meio científico é a utilização de métodos *Bootstrap* para realizar inferências estatísticas. Visando avaliar a eficiência dos métodos *Bootstrap* na comparação de médias, utilizamos 3 tipos de concreto, sendo um convencional (CC1) e dois estudos de concreto auto adensável CA0N e CA0R. Cada amostra foi ensaiada para resistência ao cisalhamento direto. Com os resultados, foram realizadas as comparações CC1 x CA0N, CC1 x CA0R e CA0N x CA0R, utilizando o software R, onde pode-se observar se as médias da resistência ao cisalhamento de cada amostra eram semelhantes. Foi constatado que a amostra CA0R, considerada auto adensável em outros ensaios, apresentou resistência semelhante ao concreto convencional, enquanto que a amostra CA0N apresentou resistência inferior, este fato é justificado por ser um concreto com maior trabalhabilidade, mas não auto adensável. Diante destes resultados, tem-se que o método *Bootstrap* é viável para comparações de pequenas amostras.

PALAVRAS-CHAVE: *Bootstrap*. Comparação de médias. Concreto.

Recebido: 19 ago. 2020.
Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in the world and is also one of the most studied for the development of improvements. For that, tests and tests are carried out for its evaluation, where the use of classical statistics is questionable, due to the quantity of samples being normally small. In this sense, a practice that is becoming popular in the scientific world is the use of Bootstrap methods to make statistical inferences. In order to evaluate the efficiency of Bootstrap methods in comparing means, we used 3 types of concrete, one conventional (CC1) and two studies of self-compacting concrete CA0N and CA0R. Each sample was tested for resistance to direct shear. With the results, comparisons were made CC1 x CA0N, CC1 x CA0R and CA0N x CA0R, using the software R, where it can be seen whether the shear strength averages of each sample were similar. It was found that the CA0R sample, considered self-compacting in other tests, presented resistance similar to conventional concrete, while the CA0N sample presented lower resistance, this fact is



justified by being a concrete with greater workability, but not self-compacting. Given these results, the Bootstrap method is feasible for comparing small samples.

KEYWORDS: Bootstrap. Mean comparison. Concrete.

INTRODUÇÃO

A comparação de médias na estatística é de muito interesse para avaliar características de duas ou mais populações e assim poder determinar se estas são parecidas (FILHO, 2010). Na construção civil o método de comparação de médias aritméticas de duas amostras é muito utilizado em estudos de melhorias de peças, como concreto ou aço. Porém a aplicação da estatística clássica, para avaliação, acaba sendo inviável, devido a quantidade de amostras necessárias para que os testes apresentem resultados confiáveis (MENDES, 2016).

Uma técnica alternativa da comparação das médias para amostragem desconhecida é o *Bootstrap* que surgiu em 1979 com um artigo de Brad Efron publicado no periódico *Annals of Statistics* (EFRON, 1979). Em estatística, *Bootstrap* refere-se a fazer inferências acerca de parâmetros desconhecidos utilizando reamostragens com reposição do conjunto amostral. Cada reamostragem permite calcular uma nova estatística e o conjunto de todas estas estimativas permite elaborar uma distribuição empírica, a qual é utilizada nas inferências. Sendo um método baseado em cálculos computacionais para atribuir medidas de precisão a estimativas estatísticas (MARTINEZ, 2006).

O presente trabalho tem como objetivo investigar o uso do método Bootstrap sobre a resistência ao cisalhamento em corpos de prova de concreto, cujo os dados foram obtidos do trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, de Kellyn Maressa Pufal (2017), de forma a substituir os testes estatísticos tradicionais, que demandam de elevado tempo e custo para realização dos ensaios.

REFERENCIAL TEÓRICO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, na construção civil, em decorrência do seu baixo custo e aplicabilidade em diferentes condições tanto em obras de infraestruturas, como pontes, barragens e edifícios como em residências comerciais e industriais (COSTA 2019; NEWMAN, 2003).

O concreto mais utilizado é uma mistura composta, por um meio contínuo aglomerante, também chamado de argamassa (mistura de cimento com água) onde são mergulhadas partículas de agregados (EVILLE, 2013). Atualmente são adicionados ao concreto aditivos que modificam algumas de suas propriedades com o objetivo de atribuir-lhe características específicas, em termos de propriedades mecânicas, físicas e durabilidade para sua utilização (EWMAN, 2003).

Aditivos podem ser definidos como substâncias químicas, que exceto em casos especiais, são adicionadas ao concreto em seu estado fresco, em percentual de 5% em relação a massa de cimento, que lhe atribuem algumas propriedades, adequando-as às necessidades construtivas (MEHTA, 2017). Entre os vários modelos de aditivos estão os superplastificantes que reduzem em até 12% a

quantidade de água utilizada, e o concreto não necessita de adensamento, tornando o assim auto adensável (NEWMAN, 2013).

Este concreto é muito utilizado, devido ao fato de não necessitar de métodos de adensamento, tradicionais, além de possuir resistência à segregação. Frequentemente este concreto apresenta um maior potencial de durabilidade em relação ao concreto convencional (BORTOLETTO, 2019).

A eficiência de todo aditivo pode variar conforme a sua dosagem e também dos constituintes da mistura, especialmente das propriedades do cimento. A proporção entre os componentes da mistura do concreto, chama-se traço que pode ser determinado de forma empírica – com valores tabelados, ou calculados por meio de fórmulas (EVILLE, 2013).

Para avaliar a resistência do concreto deve-se seguir os procedimentos estabelecidos nas normas vigentes. Para a determinação do ensaio de cisalhamento direto, foi utilizado o modelo proposto pela norma japonesa SF-6 (JSCE, 1990).

BOOTSTRAP

O *Bootstrap* é um método de reamostragem introduzido por Bradley Efron (1979), que unificou as ideias de reamostragem e conectou o *Bootstrap* não paramétrico simples, que reamostra os dados com reposição com ferramentas estatísticas de interesse (MARTINEZ, 2006; CHERNICK, 2011). São obtidas computacionalmente B amostras *Bootstrap*, onde é calculada a estimativa estatística de interesse em cada amostra (MENDES, 2016). Repetimos esse processo um grande número de vezes, digamos 1000 vezes, e obtemos 1000 réplicas de *Bootstrap* B. Essas 1000 réplicas contêm informações que podem ser usadas para fazer inferências a partir de nossos dados (CHERNICK, 2011).

Os métodos de *Bootstrap* têm como objetivo simplificar o cálculo de inferências complexas, produzindo-as de forma automática mesmo em situações muito complicadas. Quando se trata de duas amostras, x e y com suas respectivas distribuições de probabilidade, possivelmente diferentes, desejamos testar a hipótese nula $H_0: 1 = 2$. Um teste *Bootstrap* é fundamentado em uma estatística de teste (MARTINEZ, 2006). Para realizar a comparação de duas amostras foi realizado o método descrito abaixo:

Comparação de média via *Bootstrap*

- Criar dois vetores contendo os conjuntos de dados a serem utilizados, a saber, C1 e C2;
- Criar um vetor de tamanho B = 1000 para armazenar as réplicas *Bootstrap*;
- Gerar uma amostra com reposição do conjunto C1, chamada C1_boot e gerar uma amostra com reposição do conjunto C2, chamada C2_boot;
- Calcular a média do conjunto C1_boot e calcular a média do conjunto C2_boot;

- e) Armazenar no vetor de réplicas o resultado obtido em d);
- f) Repetir o processo feito em c), d) e e) até conseguir as 1000 réplicas;
- g) Ordenar as réplicas e desconsiderar as 25 iniciais e 25 finais, obtendo assim um intervalo de confiança de 95%.
- h) Se o número zero pertencer ao intervalo, então temos que as médias são iguais.

METODOLOGIA

Os dados para análise do método computacional, foram adquiridos do trabalho de (PUFAL, 2017) no qual visa avaliar a resistência ao cisalhamento do concreto auto adensável, com objetivo de comparar a resistência ao cisalhamento direto dos concretos convencionais e auto adensável.

No referido trabalho foram utilizados 3 tipos de amostras de concreto, sendo: um concreto convencional (CC1) e dois do concreto auto adensável (CA0N – que possui 0,5% de aditivo, máximo permitido e o CA0R – que possui 0,454% de aditivo), cada modelo com amostragem de 6 corpos de prova. As resistências ao cisalhamento de cada amostra estão presentes na tabela 1.

Tabela 1 – Resistência ao cisalhamento direto (MPa)

Corpo de Prova	CC1	CA0N	CA0R
1	22,60	20,29	34,42
2	20,61	27,71	34,77
3	50,35	21,73	33,17
4	57,57	21,98	32,26
5	43,29	33,32	32,50
6	48,46	27,42	28,04

Fonte: Próprio autor (2020)

Os cálculos estatísticos de comparação de médias de Bootstrap para as amostras CC1 x CA0N foram computados com auxílio do Código 1 no Software estatístico R (R Core Team, 2013). Este serviu de exemplo para os demais comparativos estatísticos (CC1 x CA0R e CA0N x CA0R).

Código 1 – Comparação das médias CC1 x CA0N

Início

Inserindo os dados.

CC1<-c(22.60,20.61,50.35,57.57,43.29,48.46)

CA0N<-c(20.29,27.71,21.73,21.98,33.32,27.24)

#criando um vetor para receber as réplicas Bootstrap.

réplicas<-c()

comando para garantir a replicabilidade .

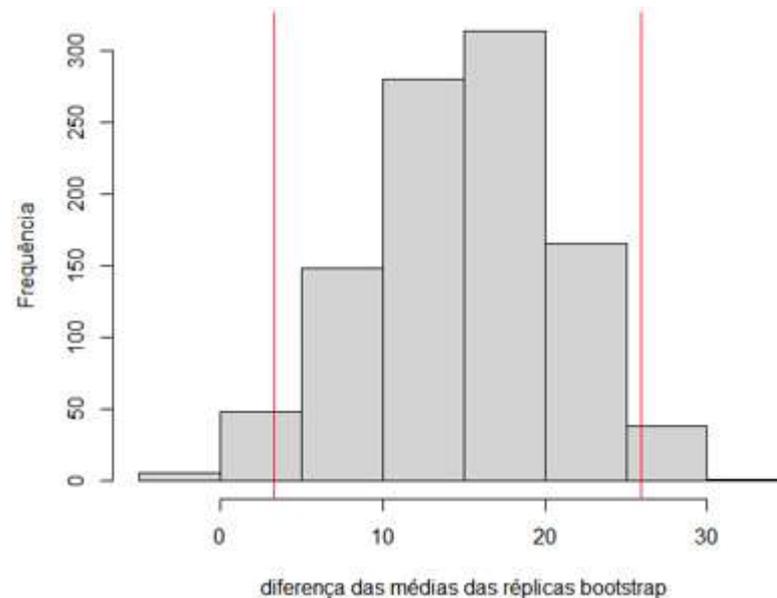
```
set.seed (1)
#criando as réplicas
for (i in 1:1000){
CC1_boot<-sample(CC1,6,replace=T)
CAON_boot<-sample(CAON,6,replace=T)
réplicas[i]<-mean(CC1_boot)-mean(CAON_boot)
}
# determinando o intervalo de confiança
a<-quantile(réplicas,c(0.025,0.975))
a
# Fim
```

Este código forneceu a distribuição empírica das diferenças das médias. Com isto, foi possível elaborar um histograma das réplicas de cada comparação, com intervalos de 95% de confiança percentil de Efron.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta o histograma das réplicas Bootstrap utilizadas na comparação das médias do concreto convencional (CC1) com o concreto auto adensável que possui 0,5% de superplastificantes (CAON).

Figura 1 – Histograma das réplicas Bootstrap da comparação CC1 x CAON.



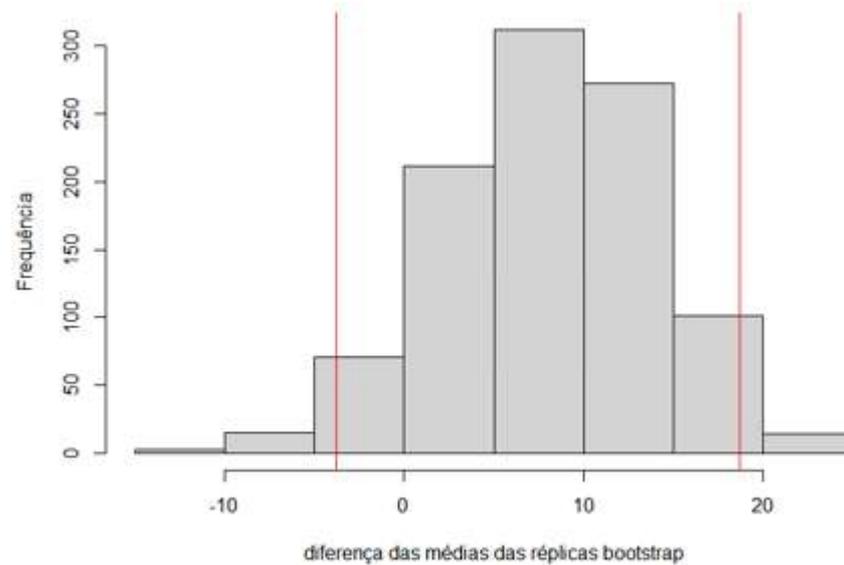
Fonte: Próprio autor (2020)

Observando a Figura 1, destaca-se que o zero não pertence ao intervalo de confiança logo, a diferença entre as médias não pode ser zero e, portanto, elas são

diferentes. Logo as resistências ao cisalhamento dos modelos CC1 e CA0N diferem, o que é explicado pelo fato de que o traço (CA0N) não pode ser apontado como autoadensável, em outros testes realizados, sendo considerado apenas como um concreto convencional com alta trabalhabilidade o que, por consequência, sua resistência diminui, ficando abaixo do modelo convencional (CC1) .

A Figura 2 apresenta o histograma das réplicas Bootstrap utilizadas na comparação das médias do concreto convencional (CC1) com o concreto auto adensável que possui 0,454% de aditivo (CA0R).

Figura 2 – Histograma das réplicas Bootstrap da comparação CC1 x CA0R.



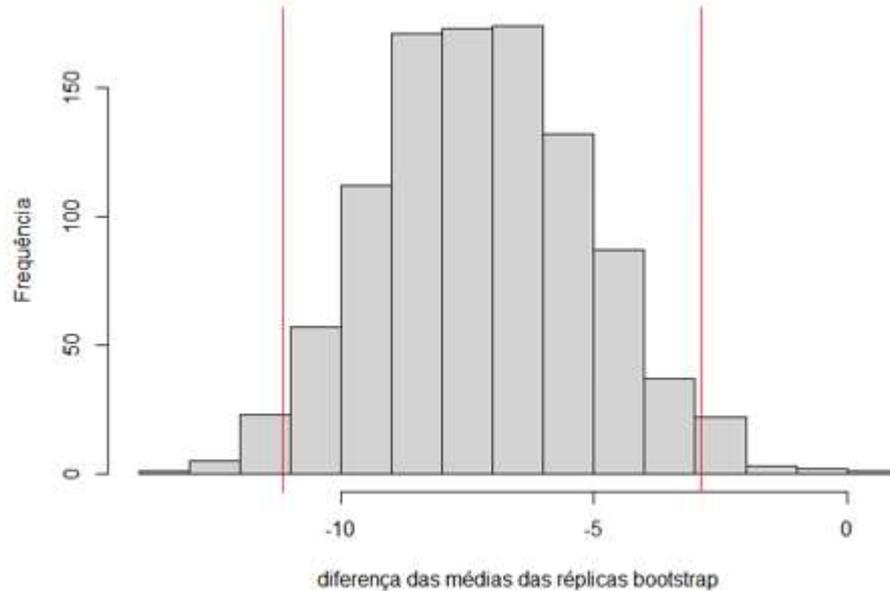
Fonte: Próprio autor (2020)

Analisando a Figura 2, observamos que o zero pertence ao intervalo e, portanto, as médias são iguais. Portanto, as resistências ao cisalhamento dos modelos CC1 e CA0R são iguais, o que pode ser justificado ao fato de CA0R ter sido caracterizado como autoadensável, em outros testes realizados, tornando sua resistência similar ao modelo convencional.

A Figura 3 apresenta o histograma das réplicas Bootstrap utilizadas na comparação das médias do concreto auto adensável que possui 0,5% de aditivo (CA0N) com o concreto auto adensável que possui que possui 0,454% de aditivo (CA0R).

Analisando a Figura 3 percebemos que o zero não pertence ao intervalo de confiança e portanto, as médias são diferentes. Do mesmo modo, como na comparação com o concreto convencional, o concreto (CA0N) com maior trabalhabilidade difere em resistência ao concreto (CA0R) caracterizado como auto adensável, sendo assim possui menor resistência quando comparado ao auto adensável. Isso é explicado pela sua característica de maior trabalhabilidade e fluidez.

Figura 3 – Histograma das réplicas *Bootstrap* da comparação CAON x CAOR.



Fonte: Próprio autor (2020)

CONCLUSÃO

Empregando o método *Bootstrap*, para avaliar a resistência ao cisalhamento direto entre o concreto convencional, e as amostras de concreto autoadensável com teores de 0,5% e 0,454% de aditivos superplastificantes e após as análises de resultados obtidos para comparação das resistências ao cisalhamento direto, das amostras, pode-se concluir que:

A adição de 0,5% de aditivos superplastificantes resultou em um concreto com maior trabalhabilidade, logo menor resistência ao cisalhamento, mas não sendo aprovado como concreto auto adensável. Entretanto para o concreto com adição de 0,454% verificou-se que apresenta todas as características de um concreto autoadensável, incluindo resistência semelhante ao convencional, atribuída a quantidade adequada de aditivo utilizado.

Sendo assim, diante dos resultados encontrados, pode-se observar que utilizar o método de comparação de médias *Bootstrap*, apresenta resultados condizentes com o estudo, demonstrando a eficiência do mesmo. O que facilita os cálculos, que seriam necessários utilizando estatística clássica, além da diminuição do custo para elaboração de mais amostras.

REFERÊNCIAS

FILHO, P. F.; Viola, D. N.; Borges, G.; Uso do teste de aleatorização para comparar dois grupos considerando teste não paramétrico. Paper, Iniciação científica, Departamento de estatística, UFBA. ANAIS UFBA. 2010.

MENDES, A. M. F. et al. Introdução aos métodos *Bootstrap* e suas aplicações. XXV Encontro de Iniciação à Docência. Encontros Universitários da UFC, Fortaleza, v. 1, p. 2889. 2016.

CHERNICK, Michael R. *Bootstrap methods: A guide for practitioners and researchers*. John Wiley & Sons, Segunda edição. 2011.

TIBSHIRANI, Robert J.; EFRON, Bradley. An introduction to the Bootstrap. *Monographs on statistics and applied probability*, v. 57, p. 1-436, 1993.

MARTINEZ, Mariano E.; SANDANIELO, Vera L. M.; LOUZADA, Francisco N. O método de *Bootstrap* para o estudo de dados de fadiga dos materiais. *Revista de Matemática e Estatística*, v. 2, p. 41-54, 2006.

COSTA, João D. M.; SAVARIS, Gustavo; BALESTRA, Carlos E. T. Resistência ao cisalhamento direto do concreto reforçado com fibras de aço. *Revista de Engenharia Civil IMED*, v. 6, n. 2, p. 115-129, 2019.

SAVARIS, Gustavo; PINTO, R. C. A. Influência do agregado graúdo na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto autoadensável. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, v. 10, n. 1, p. 30-40, 2017.

BARROS NETO, B.S., I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer planejamentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. 2ª. Ed. Campinas: Unicamp, 2003.

BORTOLETTO, Marcelo et al. Concreto autoadensável com incorporação do agregado reciclável. *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 12, n. 26, 2019. ISSN 1984-3240.

NEWMAN, John; CHOO, Ban Seng (Ed.). *Advanced concrete technology set*. Elsevier, 2003. ISBN 0 7506 5103 2

GIDRÃO, S. S.; SANTOS, A. C. Ensaio à compressão do concreto—Dispersão de resultados laboratoriais. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, n. 51, p. 63-77, 2015.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. *Concrete microstructure, properties and materials*. Livro de produção própria, segunda edição. 2017.

EDROSO, F. L. Concreto: material construtivo mais consumido no mundo. *Revista do Instituto Brasileiro de Concreto. Concreto e construções (IBRACON)*. Ano XXXVII, v. 53, Jan/Fev/Mar 2009. ISSN 1809 7197. Disponível em: <http://site.ibracon.org.br/>
EVILLE, Adam M. *Tecnologia do concreto: O concreto no Brasil*. Bookman Editora, Vol. 3, 2013.

VAN EKENSTEIN, G.O.R.A.; DEURING, H.; TEN BRINKE, G.; ELLIS, T.S. Blends of Caprolactam/Caprolactone Copolymers and Chlorinated Polymers. *Polymer*, v. 38, p.3025-3034, 1997.

COLEMAN, M.M.; GRAF J.F.; PAINTER, P.C. Specific Interactions and the Miscibility of Polymer Blends. Technomic, Lancaster, 1991.

NRIAGU, J.O. Historical Perspectives. In: NRIAGU, J.O. e NIEBOER, E.(Eds.). Chromium in the Natural and Human Environments, ADVANCES IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. New York : John Wiley, v.20, 1988, p. 1-19.

[ABNT 5739] ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de Corpos-de-prova cilíndricos de concreto: método de ensaio. Em vigor: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados. NBR 5739, 2018.. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=398444>.

[ABNT 5738] ASSOCIAÇÃO DE NORMAS TÉCNICAS Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Em vigor: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados. NBR 5738, 2015. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=357453>

[referencia R] R Development Core Team(2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2011. ISBN 3-900051-07-0, URL <https://www.r-project.org/>.

PUFAL, Kellyn M. Comparativo da Resistência ao Cisalhamento Direto entre Concretos Autoadensável e Convencional. 2017. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2017.