

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
INSTITUTO POLITÉCNICO – Centro Universitário UNA

CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO – APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS PARA COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE REGULARIZAÇÃO DAS FACES DE CORPOS DE PROVA DE CONCRETO PARA ENSAIO À COMPRESSÃO AXIAL

Engenharia Civil

Gleidson da Silva Santos

Orientador Técnico: Daniel Martins Papini Mota

Orientador Metodológico: Cleiton Geraldo Mendes Miranda

Coorientador: Octávio Alcântara Torres

Resumo – O ensaio de compressão axial do concreto é o processo final do controle tecnológico que tem por finalidade avaliar a qualidade do produto a ser utilizado. No entanto a metodologia utilizada para regularização das faces dos corpos de prova para ensaio pode influenciar diretamente no resultado final. Para avaliar a variância existente entre as três metodologias de regularização propostas, retífica, retífica + neoprene e apenas o neoprene esse estudo aplicou o teste ANOVA e *Kruskal Wallis* nos dados gerados. Com os resultados conclui-se que a utilização apenas da retífica pode ocasionar uma variância alta, enquanto a retífica e o neoprene mostraram-se como metodologias mais confiáveis.

Palavras-chave: Compressão axial. Concreto. Análise de variância

1. INTRODUÇÃO

O Concreto é um material de grande importância para construção civil sendo seu índice de consumo muito maior hoje do que há 40 anos, que por definição segundo Pinheiro, Muzardo, Santos (2010) é um material proveniente da mistura de aglomerantes, agregados, água e aditivos em proporções adequadas, que no estado

endurecido tem a função de dar forma a estrutura e resistir aos esforços de compressão axial. Estimado na ordem de 11 bilhões de toneladas métricas ao ano, o concreto é considerado o segundo produto mais consumido pela humanidade cerca de 2.700 kg/habitante enquanto a água chega aos 11.000 kg/habitante. Seu uso em uma obra corresponde entre 20% a 30% do custo global da obra, (DAHER, 2010).

De acordo com Barbosa, Silva, Oliveira (2009), para uma avaliação segura do comportamento mecânico do concreto utilizado, deve-se garantir um controle tecnológico eficaz realizado através dos ensaios de resistência à compressão axial. Ainda segundo os autores, o valor final do resultado do ensaio de compressão pode sofrer interferências tais como, a velocidade do carregamento, a calibração do equipamento, a faixa nominal do manômetro, a cura do concreto e a forma de regularização das faces para o ensaio, objeto de estudo desse trabalho.

A realização do controle tecnológico do concreto na execução de estruturas de concreto armado, além de garantir a qualidade do produto recebido em obra, trata-se de uma orientação normalizada segundo a NBR 6118:2014 e exigida em procedimentos de programas de gestão da qualidade em construção de habitações (PBQP-H; 2005). No laboratório esse controle consiste no recebimento do concreto, na amostragem conforme NBR NM 33:1998,, na determinação da consistência pelo abatimento de tronco cone *Slump test* conforme NBR NM 67:1998, nos procedimentos de moldagem, cura e transporte dos corpos de prova conforme NBR 5738:2015 e no ensaio de resistência à compressão axial conforme NBR 5739:2015.

A regularização das faces dos corpos de prova é a última etapa do processo de controle tecnológico realizado em laboratório. Trata-se de como serão regularizadas as faces dos corpos de prova, de maneira a garantir que a carga axial de ensaio seja distribuída de forma homogênea em todas as faces (superior e inferior) (BARBOSA; SILVA; OLIVEIRA, 2009). Atualmente, são três as metodologias mais aplicadas por laboratórios de controle tecnológico do concreto sendo elas: a retífica mecânica que tem o objetivo de regularizar as faces retirando uma camada que varia de 1 a 3 mm nas faces superior e inferior do corpo-de-prova NBR 5738:2015; o chapéu de neoprene que se trata de uma chapa de aço em formato de chapéu cilíndrico onde se acopla uma borra de neoprene de aproximadamente 5 mm de espessura ASTM C1231:2014, e a utilização da retífica mais o chapéu de

neoprene o qual tem como objetivo diminuir o desvio padrão entre amostras gêmeas (moldadas da mesma amostra) NBR 5739:2015.

A metodologia escolhida para regularização das faces tem papel importante no resultado final do ensaio à compressão axial dos corpos de prova de concreto, pois é a responsável em garantir a distribuição homogênea da carga de ensaio no corpo de prova. No entanto é possível encontrar uma variação considerável de resultados de ensaios de uma mesma amostragem utilizando os três métodos citado, dessa forma surge-se a necessidade do estudo dessa variação.

Sendo assim tem-se com objetivo apresentar o estudo dessa variância através da aplicação da tabela ANOVA e o teste de *Kruskal Wallis*, a fim de fornecer ao mercado de trabalho um estudo que colabore na escolha da melhor metodologia empregada por cada laboratório de ensaio de acordo com seu processo de ensaio e níveis de confiabilidade exigidos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O controle tecnológico do concreto é um conjunto de ações que são executadas desde o recebimento, a amostragem, a moldagem, a cura e a realização do ensaio de compressão segundo NBR 12655:2006. A última etapa do controle tecnológico, o ensaio de resistência à compressão axial é o método mais utilizado e difundido no mercado da engenharia. Bezerra (2007) ressalta que essa difusão da utilização do ensaio de compressão axial do concreto se dá devido a sua facilidade de realização, porém existem variáveis do ensaio que podem influenciar significadamente os resultados, destacando-se a metodologia de regularização das faces empregada (capeamento).

O sistema de capeamento adotado na execução do ensaio de compressão tem influência direta no resultado final obtido. De acordo com Bezerra (2007), nos ensaios de compressão axial de corpos de prova de concreto às superfícies onde se aplicam as cargas, devem ser planas, paralelas e lisas, de modo a evitar um carregamento desuniforme, visto que pequenas irregularidades na superfície já são o suficiente para provocar excentricidade pelo carregamento desuniforme e, conseqüentemente, uma diminuição da resistência final do ensaio. Os métodos de capeamento foram classificados em três sistemas diferentes:

- 1) Sistema de capeamento colado – Pasta de cimento, argamassa de enxofre;
- 2) Sistema de capeamento não colado – Uso de elastômeros, principalmente, neoprene e areia;
- 3) Sistema de desgaste mecânico – retifica as manuais ou mecânicas;

Helene (1984) diz que um capeamento insatisfatório dos topos dos corpos de prova ou um adensamento deficiente poderão reduzir em até 50 % o valor da resistência à compressão do concreto de um certo corpo de prova.

Segundo a NBR 5738:2015, o procedimento para o capeamento com pasta de cimento segue as diretrizes:

- a) Decorridas 6h às 15h do momento da moldagem. Passar uma escova de aço sobre o topo do corpo de prova e rematá-lo com uma fina camada de pasta de cimento consistente. Com espessura menor ou igual a 3mm;
- b) A pasta deve ser preparada cerca de 2h às 4h antes de seu emprego;
- c) O acabamento dos topos dos corpos de prova deve ser feito com o auxílio de uma placa de vidro plana, com no mínimo 12 mm de espessura e dimensões que ultrapassem em pelo menos 25 mm a dimensão transversal do molde;
- d) A pasta de cimento colada sobre o topo do corpo de prova deve ser trabalhada com a placa até que a face inferior desta fique em contato firme com a borda superior do molde em todos os pontos;
- e) A aderência da pasta à placa de capeamento deve ser evitada, lubrificando-se esta última com uma fina película de óleo mineral;
- f) A placa deve permanecer sobre o topo do corpo de prova até a desforma.

O Neoprene confinado é uma almofada elastomérica confinada por placas de aço. Essas almofadas deformam-se no carregamento inicial conformando-se às extremidades dos corpos-de-prova e são contidas quanto à propagação excessiva da lateral por ser estar em um dispositivo confinado que garante uma distribuição de carga uniforme. No entanto a metodologia não é aconselhável para concretos de baixa resistência menor que dez Megapascal e para concretos de alta resistência maior que oitenta e cinco Megapascal, (ASTM, 2014).

O sistema de desgaste mecânico é basicamente a retirada de uma fina camada dos topos do corpo de prova para que eles atinjam as condições ideais para ser ensaiados. Durante a retificação, é importante garantir a integridade

estrutural da amostra, para isso as retíficas devem estar sempre calibradas e aferidas para que não ocorra deslocamento do disco e com isso acarrete falhas no processo de nivelamento, de acordo com Barbosa *et. al.* (2009).

GUM (2008) ressalta que a análise de variância ANOVA é uma técnica estatística utilizada para identificar e quantificar efeitos aleatórios de uma medição, validando-os de forma que possam ser realmente levados em conta quando se avalia a confiabilidade de um resultado.

CASELLA (2010) define a ANOVA como um método para estimar as médias de diversas populações, frequentemente assumidas como uma distribuição normal. O método testa a hipótese de que as médias de duas ou mais populações são iguais, para isso a ANOVA avalia a importância de um ou mais fatores, comparando médias de variáveis de respostas nos diferentes níveis de fator. A hipótese nula afirma que todas as médias de população são iguais, enquanto a hipótese alternativa afirma que pelo menos uma é diferente.

Segundo RIBEIRO e CATEN, (1998) foco central na modelagem estatística ANOVA é separar as variabilidades devidas às alterações de parâmetros daquelas oriundas de alterações aleatórias. As variações aleatórias ocorrem em geral de maneira independente da variação de parâmetros. A separação das variabilidades permite entender o real efeito das variações dos parâmetros. Caso as variabilidades aleatórias sejam da ordem de grandeza das determinadas pelas alterações dos parâmetros, não é possível saber se as respostas obtidas mudaram suas características pela mudança do processo ou simplesmente ser um resultado do acaso.

Ainda segundo RIBEIRO e CATEN, (1998) a regressão linear visa modelar uma variável resposta numérica (quantitativa), a custa de uma ou mais variáveis igualmente numéricas e, uma variável resposta numérica pode depender de uma ou mais variáveis qualitativas, ou seja, de um ou mais fatores. Em tais situações pode ser útil uma Análise de Variância ANOVA. É possível formular a Análise de Variância como uma técnica distinta da Regressão Linear. Mas ambas são particularizações do chamado Modelo Linear.

No entanto segundo THOMAS e NELSON (2002), quando se avalia um teste de variância ANOVA e esse indica que a variabilidade entre os grupos de estudos não é igual, descarta-se o a aplicação da ANOVA e aplica-se o Teste de *Kruskal*

Wallis. Segundo os autores, o teste é um equivalente não paramétrico para a ANOVA, onde ocorra escala ordinal ou numérica, atendendo aos pressupostos de normalidade e em que a homogeneidade das variâncias esteja comprometida.

3. METODOLOGIA

O estudo seguiu inicialmente as prescrições de Normas Brasileiras ABNT para amostragem, moldagem, cura e ensaio à compressão axial dos corpos de prova de concreto. Foi realizado com apoio da Concreteira Concreto Campeão que forneceu o concreto traço 25 MPa, *Slump* 16 ± 2 , brita 0, de onde foram moldadas 90 amostras. O transporte, cura e preparo para ensaios foram realizados com apoio do laboratório Lab.Con Consultoria. Após 28 dias da data de moldagem foram separados 30 corpos-de-prova para o ensaio utilizando apenas o neoprene, outros 30 corpos-de-prova foram separados para ensaio utilizando o neoprene mais a retífica (desgaste mecânico) e os 30 finais foram submetidos apenas a retífica. O Anexo A apresenta as figuras do processo de amostragem, moldagem, transporte, cura, regularização das faces e ensaio à compressão axial e o Anexo B apresenta os resultados dos ensaios à compressão axial.

Os registros de dados foram realizados em planilha do Excel e posteriormente foi aplicado o teste de análise de variância ANOVA e o teste Kruskal Wallis no *Software* Minitab. para comparação e análise dos resultados obtidos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados dos resultados à compressão axial dos corpos de prova serão apresentados no Anexo A.

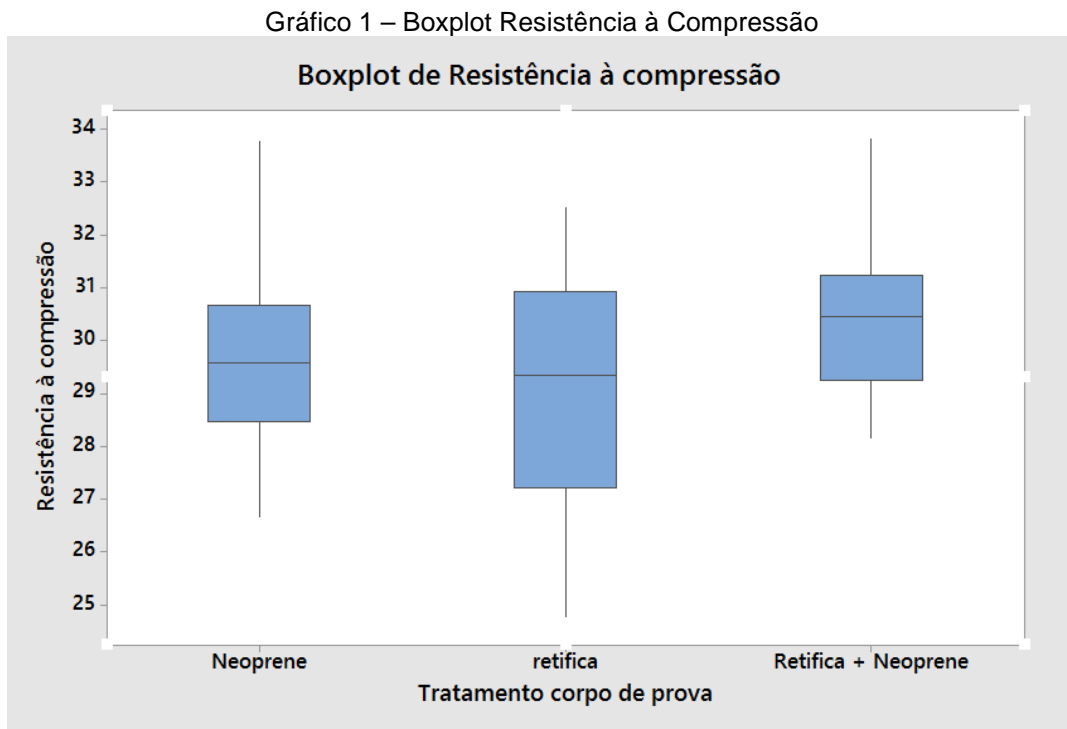
O primeiro passo para determinar a ANOVA é realizar a análise descritiva estatística dos grupos analisados, conforme tabela 3:

Tabela 1: Estatísticas Descritivas

VARIÁVEL	TRATAMENTO CP	N	N*	MÉDIA	DESV.PAD
Resistência à compressão	Neoprene	30	0	29,580	1,542
	Retífica	30	0	29,066	2,287
	Retífica + Neoprene	30	0	30,340	1,483

Fonte: Autoria Própria (2018)

Com a análise do gráfico 1, abaixo pode-se inferir que as médias são altas, pois quanto mais alta as caixinhas do Boxplot maiores são as médias, e a variância entre os dados, quanto menor a abertura das caixinhas menor a variância entre os dados.



Em seguida é realizado o teste de igualdade de variância seguindo os seguintes pressupostos:

- 1) Hipótese nula: Todas as variâncias são iguais
- 2) Hipótese alternativa no mínimo uma variância é diferente
- 3) Nível de significância $\alpha = 0,05$

Assim, utilizando o *Software* Minitab, criou-se os gráficos 1 e 2 e as tabelas de 1 a 8.

Tabela 2 – Teste de Igualdade de Variância

TRATAMENTO CP	N	DESV.PAD	IC
Neoprene	30	1,51469	(1,08986; 2,36996)
Retífica	30	2,28655	(1,79325; 3,16838)
Retífica + Neoprene	30	1,42330	(1,06179; 2,07335)

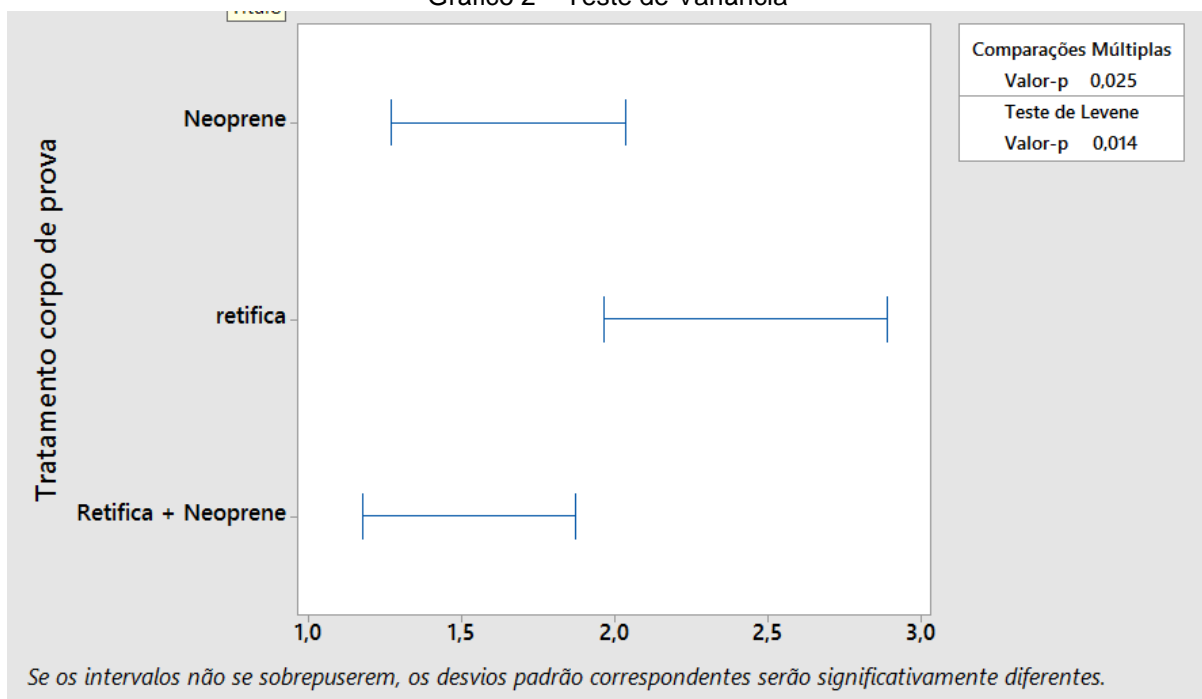
Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 3 – Testes de Variância

MÉTODO	ESTATÍSTICAS DE TESTE	VALOR -p
Comparações múltiplas	-	0,025
Levene	4,49	0,014

Fonte: Autoria Própria (2018)

Gráfico 2 – Teste de Variância



Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 4 – ANOVA com um Fator – Resistência à Compressão x Regularização das Faces

FONTE	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	VALOR F	VALOR -P
Metodologia de regularização	2	24,63	12,316	3,84	0,025
Erro	87	279,3	3,210	-	-
Total	89	303,93	-	-	-

Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 5 – Resultado da ANOVA com Intervalos de Comparação

TRATAMENTO CP	N	MÉDIA	DESV.PAD	IC DE 95%
Neoprene	30	29,580	1,542	(28,930; 30,230)
Retífica	30	29,066	2,287	(28,416; 29,717)
Retífica + Neoprene	30	30,340	1,423	(29,690; 30,990)

Fonte: Autoria Própria (2018)

Com a análise do gráfico 2 e das tabelas 2, 3, 4 e 5, nota-se que o teste de igualdade de variância indica que a variância entre os grupos não é igual, pois o $-p$ valor apresentado é de 0,014, menor que o nível de confiança $\alpha=0,05$. A metodologia retífica apresenta um nível de variabilidade superior ao emprego das demais metodologias. Sendo assim, a análise de variância ANOVA não é indicado para avaliação das variâncias desses grupos de estudo.

Nesse caso, como não se aplica a ANOVA, será aplicado o teste *Kruskal Wallis*, conforme Tabela 6 seguiu, atendendo os seguintes pressupostos:

- 1) Hipótese nula: Todas as médias são iguais
- 2) Hipótese alternativa no mínimo uma média é diferente

Após a realização deste teste estatístico nota-se que o $-p$ valor do teste é 0,48, ou seja, é superior ao nível de significância $\alpha = 0,05$, logo se afirma com 95% de confiança que não existe diferença estatística significativa entre a resistência média apresentada para as três metodologias de regularização de face dos corpos de prova.

Tabela 6 – Aplicação do Teste de *Kruskal Wallis*

GL	VALOR DE H	VALOR -p
89	89,00	0,480

Fonte: Autoria Própria

5. Conclusão

Com a análise dos dados e gráficos gerados conclui-se em termos estatísticos que a aplicação da ANOVA foi inviável para essa análise devido à alta variabilidade apresentada para metodologia de regularização das faces dos corpos de prova desgaste mecânico (Retífica). Nesse caso foi aplicado o teste *Kruskal Wallis* para avaliar a variabilidade das médias geradas para cada metodologia. Com os resultados gerados pelo teste *Kruskal Wallis* concluiu-se que não existe diferença

estatística significativa entre a resistência média apresentada para as três metodologias de regularização de face dos corpos de prova.

No entanto, para a compreensão por laboratórios de ensaios para os dados gerados, entende-se que a margem de erro dos resultados de ensaios à compressão axial para a metodologia retífica mecânica é superior as demais metodologias, sendo a metodologia retífica somada ao uso do neoprene a metodologia que se apresentou com menor margem de erro, ou seja, mais confiável.

Ainda se pode afirmar com base na análise do gráfico 2 que os intervalos de confiança entre as metodologias retífica somada ao neoprene e apenas o uso de neoprene apresentam uma sobreposição indicando que a variabilidade entre as duas metodologias é equivalente, ou seja, não há comprovação estatística de que exista diferença entre os dois tipos de tratamento.

Sobre a variabilidade dos resultados apresentados pela metodologia retífica, cabe uma análise e comparação mais aprofundada a fim de verificar possíveis ajustes mecânicos no equipamento de desgaste mecânico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C 1231/C1231M**: Standard Practice for Use Fo Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders. 1 ed. Pennsylvania: West Conshohocken, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento – Elaboração. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Elaboração. Rio de Janeiro; 2015^a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos – Elaboração. Rio de Janeiro; 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – Elaboração. Rio de Janeiro; 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9479**: Argamassa e concreto - Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova – Elaboração. Rio de Janeiro; 2006.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 33: Concreto – Amostragem de concreto de concreto fresco – Elaboração.** Rio de Janeiro; 1998a.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone – Elaboração.** Rio de Janeiro; 1998 a.

BARBOSA, Fred R *et. al.* **Análise da influência do capeamento de corpos-de-prova cilíndricos na resistência à compressão do concreto.** Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. Recife: Instituto Brasileiro de Concreto IBRACON, 2009.

BEZERRA, Augusto C. da Silva. **Influência das variáveis de ensaios nos resultados de resistência à compressão de concretos: Uma análise experimental e computacional.** Dissertação de pós graduação da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

BRASIL. Ministérios das Cidades. **PBQP-H Programa brasileiro da qualidade e produtividade do habitat.** Brasília: MCid, Secretaria Nacional de Habitação, 2005. 131p.

CASELLA, Geroge; BERGER, Roger L. **Inferência estatística.** São Paulo: Cengage Learnin, 2010.

DAHER, César Henrique Sato. **Dosagem do concreto convencional.** 1 Edição. Curitiba: Instituto Idd, Faculdade e Pós graduação, 2008. 82 p.

Helene, Paulo. **Controle da Resistência à compressão do Concreto das Estruturas de Edificações e Obras de Arte.** Separata dos encarte publicados nas Revistas A Construção. PINI. Tecnologia de Edificações. IPT. Ded Divisão de Edificações, Agosto 1984. Cap. 11 p. 49 a 54.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO GUM: Avaliação de dados de medição – Guia para expressão de incerteza de medição – Elaboração.** 2008^a.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios.** Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 2007.

RIBEIRO, J. L.; CATEN, C. T. **Controle estatístico do processo.** Porto Alegre, 1998. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

THOMAS, J.R. & NELSON, J.K. **Métodos de pesquisa em atividade física.** Porto Alegre: Artmed, 2002.

Anexo A - Figuras

Figura 1- Moldagem dos Corpos de Prova



Fonte Autoria Própria (2018)

Figura 2 - Cura dos Corpos de Prova



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 3 - Chapéu de Neoprene



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Figura 4 - Ensaio com Uso de Neoprene



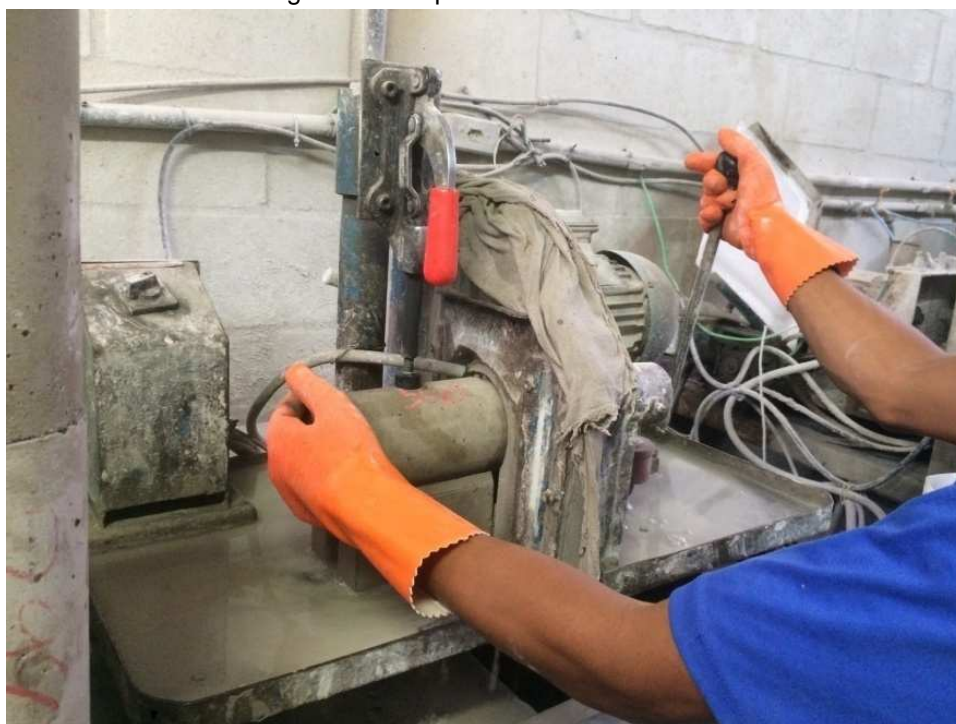
Fonte: Aatoria Própria

Figura 5 - Ensaio sem Uso de Neoprene



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Figura 6 – Corpo de Prova Retificado



Fonte: Aatoria Própria (2018)

Anexo B – Resultados dos ensaios à compressão cite-os no texto

Tabela 6 – Resultados dos Ensaio à Compressão Axial

NÚMERO CP	RETÍFICA – RESULTADOS (MPa)	RETÍFICA + NEOPRENE – RESULTADOS (MPa)	NEOPRENE SEM RETÍFICA – RESULTADOS (MPa)
1	27,2	32,0	29,5
2	30,8	31,3	29,8
3	28,6	33,8	28,3
4	25,0	28,2	30,7
5	29,4	29,1	27,4
6	31,1	29,2	29,7
7	26,6	29,6	30,1
8	31,2	29,3	30,7
9	27,1	29,7	26,7
10	24,8	30,4	31,6
11	31,6	31,2	28,3
12	30,9	30,8	29,6
13	31,0	29,2	27,0
14	32,5	28,3	29,5
15	30,5	28,2	29,5
16	30,6	31,0	29,3
17	24,9	30,0	30,6
18	29,0	29,7	26,9
19	28,4	28,4	30,3
20	30,2	29,1	29,1
21	32,3	31,7	28,3
22	28,9	30,5	28,9
23	30,4	32,5	29,4
24	26,8	29,4	33,8
25	27,4	31,0	28,5
26	25,2	30,7	31,6
27	29,3	31,4	31,1
28	28,8	30,7	30,9
29	31,8	33,0	29,7
30	29,6	30,7	30,6

Fonte: Autoria Própria (2018)