

**UNIFAAT FACULDADES  
ENGENHARIA CIVIL**

**FELIPE DE LIMA MATTOS  
JOÃO RICARDO TEGANI  
JOÃO RICARDO DAHI  
MICHEL RODRIGUES  
SERGIO CRUZ**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MÉTODOS DE  
PREPARAÇÃO DAS BASES DE CORPOS DE PROVA  
CILÍNDRICOS DE CONCRETO NA RESISTÊNCIA À  
COMPRESSÃO**

**ATIBAIA – 2018**

**FAAT FACULDADES  
ENGENHARIA CIVIL**

**FELIPE DE LIMA MATTOS  
JOÃO RICARDO TEGANI  
JOÃO RICARDO DAHI  
MICHEL RODRIGUES  
SERGIO CRUZ**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE  
DIFERENTES MÉTODOS DE PREPARAÇÃO  
DAS BASES DE CORPOS DE PROVA  
CILÍNDRICOS DE CONCRETO NA  
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Trabalho de Conclusão de  
Curso apresentado como exigência  
parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil pela  
UNIFAAT FACULDADES, sob  
orientação do professor Gregory Lee  
Pinheiro

**ATIBAIA – 2018**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter nos dado saúde e força para superar as dificuldades.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração, que nos deram a oportunidade que hoje vislumbramos, de um novo horizonte fundado na confiança na ética e mérito aqui presentes.

Ao nosso orientador Gregory, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelo seu conhecimento, pelas suas correções e principalmente seus incentivos.

Aos nossos pais, esposas e familiares, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

E a todos, que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
FAAT	Faculdades Atibaia

## RESUMO

Corpo de prova de concreto é uma amostra de concreto endurecido especial preparado para análise de resistência a compressão, módulo de elasticidade e outros ensaios, usando uma prensa hidráulica. Capeamento é uma regularização executada na base e no topo do corpo de prova, para que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal, que é onde será aplicado a força de compressão axial. Este estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes métodos de regularização dos topos de corpos de prova cilíndricos de concreto nos ensaios de compressão axial. Foram comparados os métodos de desgaste pela retificação com disco de desbaste estabelecido pela NBR 5738 e utilizada retificadora automática horizontal, o método da almofada de borracha elastomérica confinada ASTM C1231 e os métodos de capeamentos colados com pasta de cimento, gesso e enxofre, estabelecidos pela NBR 5738 e NM 77. O ensaio de compressão foi realizado aos 21 dias de idade dos corpos de prova.

Palavras-chave: Concreto. Corpo de prova. Influência do capeamento. Ensaio de compressão. Pasta de enxofre. Pasta de gesso.

## **ABSTRACT**

Concrete specimen is a sample of special hardened concrete prepared for analysis of compressive strength, modulus of elasticity and other tests using a hydraulic press. Capping is a regularization executed at the base and at the top of the specimen, so that they become flat and perpendicular surfaces to the longitudinal axis, which is where the axial compression force will be applied. This study was carried out with the objective of evaluating the influence of different methods of regularization of the tops of cylindrical specimens of concrete in the axial compression tests. The wear methods were compared by grinding disc grinding established by NBR 5738 and using horizontal automatic grinding machine, the confined elastomeric rubber cushion method ASTM C1231 and the cement paste, gypsum and sulfur paste capping methods established by the NBR 5738 and NM 77. The compression test was performed at 21 days of age of the specimens.

Keywords: Concrete. Specimens. Influence of the capping. Compression test. Sulfur paste. Gypsum paste.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Amostra de ensaio granulométrico .....	25
Tabela 2: Valores de abatimentos recomendados em função de tipo de obra (ACI 211.1-81) .....	288
Tabela 3: Segundo exigências da NBR 6118 – Projeto e execução de obras de concreto armado .....	299
Tabela 4: Consumo de água .....	299
Tabela 5: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto. ....	30
Tabela 6: Volume da brita.....	31
Tabela 7: Classes de consistência .....	34
Tabela 8: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova .....	35
Tabela 9: Tolerância para a idade de ensaio .....	38
Tabela 10: Fator de correção h/d.....	39
Tabela 11: Classes de agressividade .....	55
Tabela 12: Massa retida por peneira .....	55
Tabela 13: Massa acumulada.....	568
Tabela 14: Desvio padrão dos corpos de prova.....	72

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 .....	30
Equação 2 .....	31
Equação 3 .....	32
Equação 4 .....	32
Equação 5 .....	32
Equação 6 .....	32
Equação 7 .....	39
Equação 8 .....	47
Equação 9 .....	50
Equação 10 .....	53
Equação 11 .....	56
Equação 12 .....	57
Equação 13 .....	57
Equação 14 .....	58
Equação 15 .....	58
Equação 16 .....	59
Equação 17 .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Capeamento com pasta de cimento .....	20
Figura 2: Capeamento com enxofre .....	21
Figura 3: Capeamento com neoprene .....	22
Figura 4: Capeamento em gesso.....	23
Figura 5: Retífica mecânica .....	24
Figura 6: Moldes com desmoldante.....	33
Figura 7: Rasamento do concreto.....	36
Figura 8: Máquina de ensaio a compressão .....	41
Figura 9: Detalhamento da Rótula esférica.....	44
Figura 10: Paquímetro.....	45
Figura 11: Recipiente de pesagem .....	46
Figura 12: Regularização da superfície .....	47
Figura 13: Pesagem brita seca.....	48
Figura 14: Separação da brita para teste de umidade .....	48
Figura 15: Brita submersa .....	49
Figura 16: Pesagem brita submersa.....	49
Figura 17: Pesagem da areia .....	50
Figura 18: Pesagem para o ensaio.....	51
Figura 19: Frasco de Chapman .....	51
Figura 20: Despejo da areia seca.....	52
Figura 21: Retirada das bolhas de ar.....	53
Figura 22: Pesagem da brita .....	54
Figura 23: Material no agitador mecânico.....	54
Figura 24: Curva de Abrams.....	57
Figura 25: Pesagem de agregados.....	59
Figura 26: Mistura dos agregados na betoneira.....	60
Figura 27: Cone de abatimento .....	60
Figura 28: Resultado do Slump .....	61
Figura 29: Rasamento do molde preenchido com concreto.....	61
Figura 30: Secagem dos corpos de prova .....	62
Figura 31: retifica mecânica.....	63

Figura 32: Capeamento com pasta de cimento .....	63
Figura 33: Capeamento com pasta de gesso .....	64
Figura 34: Derretimento do enxofre em pó .....	65
Figura 35: corpo de prova capeado com enxofre.....	65
Figura 36: Capeamento com neoprene na prensa.....	66
Figura 37: corpo de prova rompido pela prensa .....	67

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Justificativa .....	14
1.2 Objetivos .....	14
1.3 Metodologia .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1 Conceitos básicos sobre corpos de prova .....	18
2.2 Conceitos Básicos sobre Capeamento.....	19
2.3 Capeamentos.....	19
2.3.1 Capeamento com pasta de cimento .....	20
2.3.2 Capeamento com enxofre .....	21
2.3.3 Capeamento com elastômero sintético policloropreno (neoprene) ...	22
2.3.4 Capeamento com pasta de gesso .....	23
2.4 Retífica Mecânica.....	24
<b>3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>25</b>
3.1 Execução do ensaio (NBR 7217: 1987) .....	25
3.1.1 Análise granulométrica .....	25
3.2 Dosagem (Método ABCP) .....	27
2.5.3 MOLDAGEM CORPO DE PROVA (NBR 5738:2016).....	33
2.5.3.1 Procedimento de moldagem.....	33
2.5.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILINDRICOS (NBR 5739:2007).....	37
<b>4. ENSAIO LABORATORIAL .....</b>	<b>46</b>
4.1 DEFINIÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA E APARENTE (NBR NM 52:2003) .....	46
4.1.2 Massa unitária da brita (NBR 7810:1983) .....	47
4.1.3 Massa específica da areia (NBR NM 26: 2000) .....	50
4.2 GRANULOMETRIA NBR 7217:1987 .....	53

4.2.1 Diâmetro máximo da brita .....	54
4.2.2 Módulo de finura da areia .....	55
4.3 Dosagem de concreto .....	56
4.4 Moldagem dos corpos de prova .....	59
4.5 Processos de retífica e capeamento dos corpos de prova .....	62
4.5.1 Retífica.....	62
4.5.2 Pasta de cimento .....	63
4.5.3 Capeamento com gesso.....	64
4.5.4 Capeamento com enxofre .....	64
4.5.5 Capeamento com elastômero sintético policloropreno (neoprene) ....	66
<b>5. ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
<b>6. ESTUDOS FUTUROS .....</b>	<b>73</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>74</b>

---

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida (HELENE, 2010).

Sendo empregado tanto em elementos estruturais quanto arquitetônicos, seu amplo uso se dá por seu desempenho mecânico, apresentando boa capacidade de suportar forças de compressão, considerável resistência a abrasão e grande durabilidade. Estas são algumas das principais características do concreto.

Os esforços de compressão presentes em elementos estruturais, tais como vigas, pilares, lajes e fundações, são provenientes de carregamentos normais de compressão e ou flexão, ou seja, forças aplicadas na linha do eixo da estrutura estudada.

Sendo o esforço solicitante normal de compressão (que atua nos principais elementos estruturais) resistido pelo concreto (que é submetido à compressão) seu desempenho e qualidade são fundamentais para o correto funcionamento da estrutura, sendo indispensável o seu controle de qualidade.

O rompimento dos corpos de prova é uma forma de controle de qualidade do concreto que está sendo produzido e utilizado, sendo ele adquirido de concreteiras ou produzido na própria obra.

O capeamento é uma forma de regularização da superfície dos topos dos corpos de prova, que é a parte que está em contato com a prensa que faz a aplicação da força no corpo de prova. Como a tensão é a razão da força pela área, quanto maior a área em contato com a prensa, maior será divisão da tensão, ou seja, a força aplicada será melhor distribuída no topo do corpo de prova.

Podem ser utilizados vários materiais para fazer a regularização da superfície do corpo de prova, tais como pasta de cimento, gesso, enxofre, desgaste mecânico, neoprene, entre outros, sempre visando um melhor preenchimento da superfície do topo dos corpos de prova, que quando moldados

---

e curados não ficam regularizados, mesmo fazendo a moldagem como indicada em norma técnica.

Portanto, esse trabalho é focado na comparação de diferentes capeamentos da superfície do topo dos corpos de prova, para analisar o melhor resultado em questão de área e conseqüentemente a melhor distribuição de força obtida nos ensaios, podendo comprovar em experimentos laboratoriais a influência dos diferentes métodos de preparação das bases de corpos de prova na resistência à compressão.

### **1.1 Justificativa**

As avaliações periódicas executadas em laboratório são imprescindíveis, visto que este assunto é de suma importância para garantia da segurança e controle de qualidade.

Para avaliar com maior precisão sua resistência à compressão, se faz necessário o capeamento da base e o topo dos corpos de prova, promovendo sua regularização, proporcionando uma melhor distribuição da tensão aplicada e minimizando possíveis desvios de resultados, que podem ocorrer durante o processo de ensaio, com isso busca-se estudar os métodos de capeamento e sua influência na resistência à compressão.

### **1.2 Objetivos**

O objetivo deste estudo é a aplicação e avaliação dos capeamentos de enxofre, gesso, pasta de cimento, elastômero sintético policloropreno (neoprene) e desgaste mecânico em corpos de prova de concreto, com a finalidade de que os resultados aferidos neste ensaio apresentem maior precisão com relação a resistência real do concreto e a partir disso se determine a melhor técnica de preparação das bases dos corpos de prova.

### 1.3 Metodologia

O trabalho conta com uma revisão bibliográfica e análise experimental.

Na revisão foram pesquisados artigos, livros e estudos relacionados ao tema e na análise experimental foram ensaiados 20 corpos de prova, que foram capeados com enxofre, gesso, pasta de cimento, elastômero sintético policloropreno (neoprene), além de desgaste mecânico. Foram produzidos no laboratório da própria universidade, onde foram moldados e curados de acordo com a NBR 5738/03, e ensaiados (rompidos) de acordo com a NBR 5739.

O experimento laboratorial foi iniciado com a execução dos ensaios de massa específica e aparente da brita e areia, item de grande importância na realização do cálculo da dosagem do concreto, utilizado neste estudo.

Para o ensaio de massa aparente da brita, esta foi seca ao sol e então colocada em um recipiente de volume conhecido. Em seguida, o recipiente com a brita foi largado de uma altura de 5 cm do solo para compactar melhor os grãos. Após o procedimento a brita foi pesada e o volume do recipiente relacionado com a massa medida na balança e assim foi determinada a massa aparente da brita.

Para a definição da massa específica da brita, foram pesados 2.000 gramas e colocados em estufa por 30 minutos. Após este período na estufa a diferença de massa obtida foi mínima. Foi utilizada uma tela nylon vazada onde foi colocada a brita, depois fixada com gancho na parte inferior da balança e mergulhada em um balde com água. Com a leitura da balança, a brita ficou mais leve devido ao empuxo da água e então foi obtido o valor de massa submersa da mesma.

Através da equação que relaciona a massa seca da brita pela diferença entre a massa seca e a massa submersa, foi definida massa unitária da brita.

A partir disso, foi feito o ensaio de massa específica da areia com o frasco de Chapman, utilizado para determinação do peso específico dos agregados finos, onde foram pesados 1000 gramas de areia e levada a estufa por 1 hora. Após esse tempo, foram separados 500 gramas para o ensaio.

Em seguida foram despejados 200 ml de água destilada no frasco de Chapman, com auxílio de um funil de vidro temperado e depois colocada a areia com outro funil de PVC, foram retiradas todas as bolhas de ar do interior do frasco com leves agitações, então o frasco foi colocado na posição para alinhar as leituras.

Com essa leitura foi definida a massa específica da areia, relacionando a massa da areia pela diferença entre a leitura obtida da água do frasco e da água despejada.

Depois do ensaio de massas específicas e aparente, foi dado início ao ensaio granulométrico da brita.

Este ensaio foi feito em duas medições devido a quantidade de massa especificada na norma técnica NBR 7217:1987, que é 5000 gramas. Como a peneira do agitador não suportava a quantidade total, o volume foi dividido em dois ensaios de 2500 gramas.

Após colocar a massa no agitador, este foi ligado na frequência de 10 hertz e programado para 1 minuto, com peneiras de 25 mm até 2,36 mm.

Depois de agitada, a massa retida em cada peneira foi pesada e foi definido em 19 mm o diâmetro máximo da brita.

Por fim, foi feito o ensaio do módulo de finura da areia. Para esse ensaio foram colocados 500 g de areia na estufa por 1h para secagem, em seguida foram colocadas nas peneiras do agitador, que possuem aberturas de 6,3 mm a 0,15 mm. Após a pesagem da massa retida em cada peneira, foi calculado o percentual acumulado, assim obtendo módulo de finura, conforme NBR 7217:1987.

Para dosagem de concreto foi adotado o método ABCP.

Na moldagem dos corpos de prova, inicialmente foram separados e pesados cada elemento do concreto (cimento Portland, areia, brita e água) em proporções pré-determinadas na dosagem: 1 : 2,29 : 2,34 : 0,54.

Na betoneira foi colocada a brita e aproximadamente 80% da água, posteriormente foi adicionado o cimento até formar uma pasta homogênea de água/cimento. Em seguida foi adicionada a areia e finalmente o restante da água, fazendo a agitação por mais alguns minutos até homogeneizar completamente a mistura para preenchimento dos moldes dos corpos de prova.

Na confecção dos corpos de prova foram seguidas as especificações da NBR 5738/2016, onde foi adicionado o concreto nos moldes, até a metade do seu volume, feito o adensamento com bastão, sendo necessários 12 golpes, posteriormente foi adicionado os outros 50%, adensado e feito o arrasamento. Deixando após isso os corpos de prova em repouso.

No dia seguinte, os corpos de prova foram retirados dos moldes e colocados em um tanque de água, onde ficaram curando por 21 dias.

Após a cura dos corpos de prova, foram iniciados os capeamentos, iniciando-se pelo de pasta de cimento.

Foi utilizado o Cimento Portland 5, um cimento especial de secagem mais rápida e de resistência a compressão mais elevada que o convencional, utilizando a relação de 1 kg de cimento para 450 ml de água, formando uma pasta homogênea e de boa plasticidade. Durante a execução da pasta, foi aplicado sobre a mesa de granito um filme plástico para facilitar a remoção dos corpos de prova após o capeamento.

O procedimento foi feito em um lado dos corpos de prova e depois de 24 horas foi executado do outro lado, assim finalizando o capeamento.

Para o capeamento em gesso foi utilizada a mesma técnica de execução da pasta de cimento, referente a superfície da mesa de granito e o mesmo tempo de secagem, utilizando a relação de 1 kg de gesso convencional para 850 ml de água, conforme a recomendação do fabricante.

No capeamento de enxofre foram utilizadas uma panela, um maçarico e uma concha, na proporção de 1 kg de enxofre para 50 g de caulim.

Foram misturados os ingredientes na panela e aquecidos a 100 °C, mexendo até se obter um líquido homogêneo.

O passo seguinte foi aplicar desmoldante na base da capelinha para receber o enxofre no estado líquido, em seguida foi posicionado perpendicularmente o corpo de prova na cantoneira e deslocado suavemente até a base com o líquido.

Após 5 minutos, foram retirados da forma os corpos de prova já capeados, em seguida foi feito o mesmo procedimento do outro lado.

Para a retífica dos topos dos corpos de prova, foi utilizada uma retificadora automática horizontal para corpos de prova cilíndricos de concreto, onde os mesmos foram posicionados e fixados pneumáticamente no berço da máquina, sendo então desbastados até que a superfície estivesse regularizada.

Para o capeamento com o elastômero sintético policloropreno (neoprene), foi utilizada uma base metálica para o confinamento da almofada elastomérica em ambos os lados dos corpos de prova.

Para o rompimento dos corpos de prova foi utilizada uma prensa de compressão axial e a carga foi aplicada de forma contínua, manualmente, até a ruptura da amostra.

---

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa foram apresentadas as principais referências teóricas para os métodos de ensaios de capeamentos dos corpos de prova, que foram utilizados para o desenvolvimento do projeto.

Concreto é um produto resultante das misturas de argamassa com agregado graúdo, sendo composto pelos seguintes materiais: cimento; agregado miúdo (areia); agregado graúdo (brita); água; aditivos; adições.

Sua estrutura é feita pela mistura de cimento, água e agregados, sendo que esta pasta no estado fresco envolve os agregados, preenchendo os vazios e possibilitando o manuseio. No estado endurecido aglutina os agregados, gerando resistência e durabilidade. Os agregados são responsáveis pela resistência mecânica e diminuição de custos.

Com relação a sua massa específica, podem ser classificados em três tipos sendo:

- Leve, massa menor que  $1800 \text{ kg/m}^3$ ;
- Normal, massa maior que  $2400 \text{ kg/m}^3$ ;
- Pesado, massa maior que  $3200 \text{ kg/m}^3$ .

Sua resistência pode ser baixa, moderada ou alta, com os seguintes valores:

- Baixa, menor que 20 Mpa;
- Moderada, de 20 MPa a 40 Mpa;
- Alta maior que 40 MPa.

Dosagem é um processo para determinar as proporções adequadas dos componentes de um concreto, o método utilizado para dosagem mais usados são IPT/EPUSP, ABCP, ACI.

### 2.1 Conceitos básicos sobre corpos de prova

Conforme a NBR 5738/2003 – os corpos de prova podem ser cilíndricos ou prismáticos de concreto. Sua altura deve ser igual o dobro de seu diâmetro, que pode ser de 10,15,20,25 ou 45cm, com tolerância de 1% diametrais e 2% em sua altura.

Corpo de Prova é uma amostra de concreto endurecido especial preparado para análise de resistência à compressão, módulo de elasticidade e outros ensaios, que

---

utilizam uma prensa hidráulica.

## **2.2 Conceitos Básicos sobre Capeamento**

Capeamento é uma regularização executada na base e no topo do corpo de prova, para que se tornem superfícies planas e perpendiculares ao eixo longitudinal, que é onde será aplicado a força de compressão axial, podendo ser utilizado para regularização diversos tipos de materiais, dentre eles: pasta de cimento, pasta de gesso, enxofre, neoprene, entre outros.

Diversos estudos já foram realizados com diferentes sistemas de capeamento (IZQUERDO, 2011; BEZERRA, 2007; OSAMA e AMEED, 2003; MAURICIO et al., 2004; FORTES, 2012; DRYSDALE et al., 2012), e os resultados demonstraram que os materiais com menores distorções de resultados e com maiores valores de resistência foram o enxofre e o gesso.

A espessura da camada de capeamento não deve exceder 3 mm.

## **2.3 Capeamentos**

Conforme a NBR 5738/2003 (ABNT, 2003a), é recomendável preparar as bases dos corpos de prova para ficarem planas e perpendiculares ao eixo longitudinal do corpo de prova.

Os corpos de prova são ensaiados em 5 maneiras, além do desgaste mecânico, com capeamentos de pasta de cimento; pasta de gesso; enxofre e neoprene. O capeamento consiste no revestimento dos topos dos corpos de prova com uma fina camada de material apropriado, com as seguintes características:

- Aderência ao corpo de prova;
- Compatibilidade química com o concreto;
- Fluidez, no momento de sua aplicação;
- Acabamento liso e plano após endurecimento;
- Resistência à compressão compatível com os valores normalmente obtidos em concreto.

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. Outros processos como a retífica mecânica ou sobreposição da base com neoprene, podem ser adotados, 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.

### 2.3.1 Capeamento com pasta de cimento

O capeamento com pasta de cimento consiste nas decorridas 6 h às 15 h 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 3 mm. A pasta deve ser preparada cerca de 2 h a 4 h antes de seu emprego.

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. A pasta de cimento colocada 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.

A aderência da pasta à placa de capeamento deve ser evitada, lubrificando-se esta última com uma fina película de óleo mineral. A placa deve permanecer sobre o topo do corpo de prova até a desforma.

Figura 1: Capeamento com pasta de cimento



Fonte: Elaborado pelos autores

### 2.3.2 Capeamento com enxofre

Segundo estudos de BUCHER e RODRIGUES FILHO (1983), este método com mistura de enxofre, aplicada em estado líquido, é utilizado desde a década de 1920, por ter fácil manuseio, porém é necessário seguir recomendações de segurança sobre a sua utilização.

As vantagens da utilização do enxofre no processo de capeamento é o rápido endurecimento do material que acelera o processo, alta produtividade no tocante a número de unidades capeadas em um determinado período de tempo, sua boa aderência e elevada resistência à compressão nas primeiras horas (BUCHER & RODRIGUES FILHO, 1983 apud BEZERRA, 2007).

Apesar das grandes vantagens de se utilizar o enxofre fundido para o nivelamento de corpo de prova, seu uso deve ser controlado, pois a fusão do enxofre acarreta a liberação de gás sulfídrico, quando contaminado com materiais como parafina e óleos. A combinação deste gás com a água e o oxigênio forma o ácido sulfúrico, material altamente prejudicial à saúde humana (BARBOSA et al, 2009).

Para esse método deve-se inicialmente aquecer o enxofre em pó a aproximadamente 100°C, deixando-o com uma consistência líquida, em seguida coloca-se o líquido no molde e se insere o corpo de prova para se solidificar junto ao enxofre. Esse procedimento é feito dos dois lados do corpo de prova.

Figura 2: Capeamento com enxofre



Fonte: Elaborado pelos autores

É aconselhável que o recipiente de derretimento esteja dentro de uma capela de exaustão com as emanações esgotadas fora do ambiente para impedir o acúmulo do gás (UDOT/TTQP, 2005; ASTM, 1998).

### 2.3.3 Capeamento com elastômero sintético policloropreno (neoprene)

O capeamento com almofadas elastoméricas é altamente utilizado no Brasil e no mundo. O principal elastômero utilizado é o Policloropreno, comercialmente conhecido como neoprene.

Neoprene não confinado foi estudado por MARCO; REGINATTO e JACOSKI (2003), que constataram a disparidade em relação ao neoprene confinado.

O capeamento com neoprene consiste em formar duas “almofadas” nas extremidades do corpo de prova. Nesse sistema não é preciso solidificar a base do capeamento no corpo de prova, como acontece nos ensaios com pasta de cimento e enxofre por exemplo. É muito importante que as bases estejam bem centralizadas nas prensas no momento do ensaio a compressão, pois os capeamentos sofrem deformações.

Os discos de neoprene deformam-se no carregamento inicial para conformarem-se às extremidades do corpo de prova e são contidos da propagação excessiva da lateral por placas e anéis de metal que fazem o seu confinamento e que garantem uma distribuição uniforme da carga aplicada pelo equipamento de ensaio (BEZERRA, 2007).

Figura 3: Capeamento com neoprene



Fonte: Elaborado pelos autores

Algumas experiências têm mostrado que a placa de neoprene pode até funcionar, desde que não seja usada mais do que 5 ou 10 vezes para ensaiar concreto com alta resistência. Esta solução torna-se muito cara em longo prazo. Além disso, as duas extremidades metálicas usadas para confinar as placas de neoprene, são muito pesadas e não muito práticas para o manuseio, e os problemas de excentricidade são difíceis de serem resolvidos. (LESSARD e AÏTCIN, 1992).

### 2.3.4 Capeamento com pasta de gesso

Citado por (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, 1986), a pasta de gesso apresenta cura rápida, boa resistência e trabalhabilidade, além de promover altas resistências mecânicas com alto índice de aderência. O método pode atingir uma resistência à compressão superior a 30 MPa.

Figura 4: Capeamento em gesso



Fonte: Elaborado pelos autores

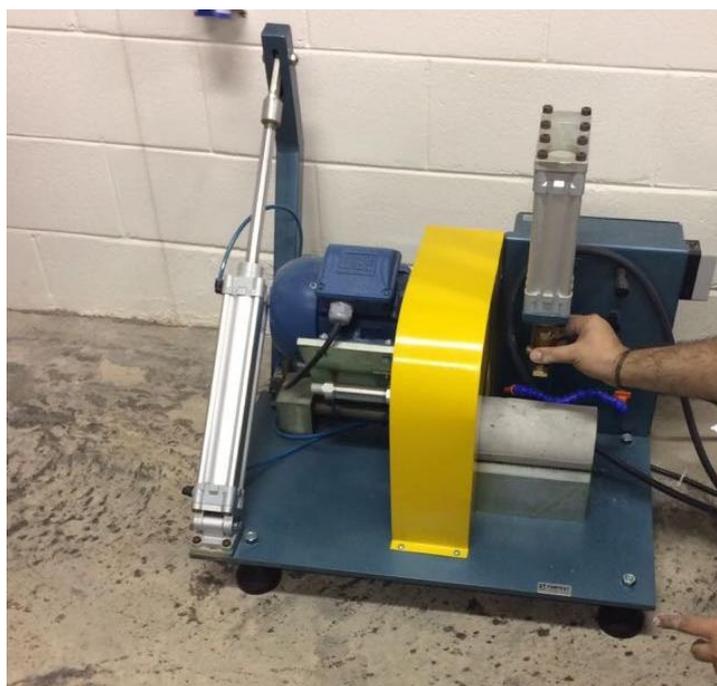
Este trabalho optou por utilizar experimentalmente o capeamento em gesso, por se tratar de um material de fácil acesso e que tem qualidades interessantes a nível

de pesquisa, justificadas nas afirmações anteriores, apesar de não existirem muitos trabalhos científicos a respeito deste material.

## 2.4 Retífica Mecânica

Consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material das bases a serem preparadas. Esta operação é normalmente executada em máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade, com a utilização de ferramentas abrasivas. A retificação deve ser feita de tal forma que se garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida e proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos. Deve ser utilizado um dispositivo auxiliar, que garanta a perpendicularidade da superfície obtida com a geratriz do corpo de prova. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura, 2016, p. 8)

Figura 5: Retífica mecânica



Fonte: Elaborado pelos autores

É relevante ressaltar que a retificação implica na aplicação de uma pré-tensão ao concreto, o que pode diminuir sua resistência final, principalmente nas primeiras idades da amostra (PEDROZO et al, 2004).

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### 3.1 Execução do ensaio (NBR 7217: 1987)

##### 3.1.1 Análise granulométrica

Coletar a amostra de agregado conforme a NBR 7216.

Da amostra remetida ao laboratório, depois de umedecida para evitar segregação e de cuidadosamente misturada, formar duas amostras para o ensaio, de acordo com a NBR 9941. A massa mínima por amostra de ensaio é indicada na tabela 1.

Tabela 1: Amostra de ensaio granulométrico

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra do ensaio (kg)
<4,8	0,5
6,3	3
>9,5 e <25	5
32 e 38	10
50	20
64 e 76	30

Fonte: NBR 9941/1987

- **Ensaio**

Para a execução do ensaio deve-se encaixar as peneiras previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Prover um fundo de peneiras adequado para o conjunto.

Colocar a amostra ou porções dela sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Se o material apresentar quantidade significativa de materiais pulverulentos, ensaiar previamente as amostras conforme a NBR 7219. Considerar o teor de materiais pulverulentos no cálculo da composição granulométrica.

Promover a agitação mecânica do conjunto por um tempo razoável, para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra.

Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após 1 minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retirado. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado. Se as dimensões da peneira não permitirem estes movimentos, proceder segundo uma das seguintes alternativas:

- a) realizar a verificação acima, em diversas etapas, através de peneira de mesma abertura e com dimensões próprias para a agitação manual prescrita;
- b) limitar a quantidade de material, sobre a tela, a uma única camada de grãos e experimentar, manualmente, a passagem de cada um dos grãos pela tela, contudo, sem fazer pressão sobre esta.

Remover o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovar a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno é considerado como retido (juntar na bandeja) e o despreendido na parte inferior como passante.

Proceder a verificação da próxima peneira, depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas. Caso a amostra tenha sido dividida, tomar nova porção e proceder como descrito.

Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa seca da amostra, introduzida no conjunto de peneiras.

Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira para depois passar à seguinte. Agitar cada peneira, com a amostra ou porção desta, por tempo não inferior a 2 minutos, procedendo à verificação do peneiramento.

*Nota: Quando a amostra de agregado graúdo apresentar grãos com dimensões inferiores a 4,8 mm, a fração passante na peneira correspondente pode ser reduzida, conforme a NBR 9941, para a massa mínima indicada na Tabela. Proceder ao peneiramento da amostra reduzida, conforme descrito, determinando as porcentagens retidas. Calcular a massa teórica retida em cada peneira, multiplicando a massa original, passante na peneira 4,8 mm, pela respectiva porcentagem retida, obtida com a amostra reduzida. Considerar as massas teóricas para o cálculo das porcentagens retidas da amostra de ensaio.*

---

### 3.2 Dosagem (Método ABCP)

O estudo de dosagem dos concretos de cimento Portland envolve os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou em volume, sendo preferível e sempre mais rigorosa a proporção expressa em massa seca de materiais.

O objetivo da dosagem é que se obtenha um concreto que atenda as seguintes condições:

- No estado fresco, seja trabalhável e mantenha sua homogeneidade em todas as etapas. No estado endurecido, apresente as propriedades exigidas no projeto estrutural, seja durável em toda sua vida útil e seja econômico.
- Escolher os materiais e fixar suas proporções ou quantidades relativas, que irão na mistura do concreto, afim de assegurar um desempenho pré-definido.

Existem diversos métodos de dosagem de concretos de cimento Portland, os quais são mais ou menos complexos e trabalhosos.

Existem vários métodos de dosagem, o método preconizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, o método de dosagem INT (Instituto Nacional de Tecnologia), no Rio de Janeiro, o método de dosagem ITERS (Instituto Tecnológico do Estado do Rio Grande do Sul), o método SNCF (Société Nationale des Chemins de Fer Français), o método ABCP, entre outros.

Para este estudo foi adotado o uso do método ABCP, por ser um dos métodos mais utilizados em pesquisa no Brasil e que está mais adequado para a realidade brasileira.

Publicado em 1984 pela Associação Brasileira de Cimento Portland como um Estudo Técnico titulado “Parâmetros de Dosagem do Concreto”, da autoria do Eng. Público Penna Firme Rodrigues (revisado em 1995).

Este método, baseado no texto da Norma ACI (American Concrete Institute) 211.1-81, constitui-se numa adaptação prática do método americano às condições brasileiras e permite a utilização de agregados graúdos britados e areia de rio que se enquadram na norma NBR 7211 (ABNT, 1983) - Agregados

para concreto. O método considera tabelas e gráficos elaborados a partir de valores médios de resultados experimentais e constitui-se numa ferramenta de dosagem de concretos convencionais, adequada aos materiais mais utilizados em várias regiões do Brasil.

Preocupa-se com a trabalhabilidade através de diversos fatores relativos aos materiais, às condições de execução e adensamento e às dimensões da peça. Abaixo é apresentado o passo-passo do procedimento para determinar o traço ideal de concreto.

- PASSO 1: Determinação do abatimento do tronco de cone.

Valores de abatimentos recomendados em função de tipo de obra (ACI 211.1-81)

Tabela 2: Valores recomendados

Tipos de obras	Abatimento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Paredes de fundação e sapatas armadas	75	25
Sapatas plantas, caixões e paredes de infraestrutura	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifícios	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Construções de concreto massa	50	25
<i>OBS: quando o método de adensamento não for vibratório, os valores dos abatimentos, apresentados na tabela, podem ser incrementados em 25 mm.</i>		

Fonte: ACI 211.1/1981

- PASSO 2: Definição da dimensão máxima característica do agregado graúdo, pelo ensaio granulométrico.

A tabela 3 apresenta os valores para determinação do tamanho máximo dos agregados graúdos.

Tabela 3: Projeto e execução de obras de concreto armado - NBR 6118

Tamanho máximo dos agregados graúdos	
D máx. <	1/4 menor dimensão da peça em planta
	1/3 da menor espessura da laje
	3/4 da menor distância entre as barras da armadura
	1/3 do diâmetro da tubulação de bombeamento

Fonte: Associação Brasileira Normas Técnicas

- PASSO 3: Definição do volume de água de amassamento (expressa em litros/m<sup>3</sup>) em função da dimensão máxima do agregado e do abatimento.

A tabela 4 apresenta os valores de consumo de água aproximado.

Tabela 4: Consumo de água

Consumo de água aproximado (litros/m <sup>3</sup> )					
ABATIMENTO (mm)	D <sub>máx</sub> Agregado graúdo (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
40 – 60	220	195	190	185	180
60 – 80	225	200	195	190	185
80 – 100	230	205	200	195	190

Fonte: Método ABCP

- PASSO 4: Definição da relação água/cimento.

É possível encontrar os valores da relação água/cimento através da Curvas de Abrams, entretanto deve atender a tabela de agressividade indicada na tabela 6 de acordo com a NBR 6118-2014.

Deve-se utilizar os seguintes parâmetros para a definição da relação água cimento pela Curva de Abrams:

Equação 1

$$F_{c,28} = F_{ck} + 1,65 \times S_d$$

Sendo:

*F<sub>c,28</sub>* = resistência do concreto curado em 28 dias;

*F<sub>ck</sub>* = resistência do concreto em MPa definido em projeto;

A constante no valor de 1,65 é um coeficiente de majoração;

*S<sub>d</sub>* = função de desvio padrão em condições de preparo.

Tabela 5: Tabela de agressividade

CONDIÇÃO A (sd = 4,0 MPa)	Materiais dosados em massa e a água de amassamento é corrigida em função da correção da umidade dos agregados. (Concreto de “concreteiras” – usinado). <b>(Classe C10 a C80)</b>
CONDIÇÃO B (sd = 5,5 MPa)	Cimento dosado em massa, agregados dosados em massa combinada com volume, a umidade do agregado miúdo é determinada e o volume do agregado miúdo é corrigido através da curva de inchamento <b>(Classe C10 a C25)</b>
CONDIÇÃO C (sd = 7,0 MPa)	Cimento medido em massa, agregados e água em volume, umidade dos agregados estimada. (Pequenas obras – Controle baixo) <b>(Classe C10 a C15)</b>

Fonte: Método ABCP

- PASSO 05: Definição do consumo de cimento ( $C_c$ ).

O consumo de cimento depende diretamente do consumo de água ( $C_a$ )

Equação 2

$$C_c = \frac{C_a}{\frac{a}{c}}$$

Sendo:

$C_c$  = consumo cimento.

$C_a$  = consumo água.

$a/c$  = relação água / cimento.

- PASSO 6: Definição do consumo de agregado graúdo ( $C_b$ ).

A tabela 6 define a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Tabela 6: Volume da brita

Modulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo $D_{mc}$ (mm)				
	9.5	19	25	32	38
MF	Volume compactado seco ( $V_{cs}$ ) de agregado graúdo por $m^3$ de concreto				
1.8	0.645	0.77	0.795	0.82	0.845
2.0	0.625	0.75	0.775	0.8	0.825
2.2	0.605	0.73	0.755	0.78	0.805
2.4	0.585	0.71	0.735	0.76	0.785
2.6	0.565	0.69	0.715	0.74	0.765
2.8	0.545	0.67	0.695	0.72	0.745
3.0	0.525	0.65	0.675	0.7	0.725
3.2	0.505	0.63	0.655	0.68	0.705
3.4	0.485	0.61	0.635	0.66	0.685
3.6	0.465	0.59	0.615	0.64	0.665
OBS: os volumes de agregado compactado seco referem-se à mistura de todos os tipos de brita que entram na composição do concreto.					

Fonte: Método ABCP

Equação 3

$$Cb = Vb \times Mu$$

Sendo:

*Cb = consumo brita.**Vb = volume agregado graúdo (brita) p/ m<sup>3</sup> de concreto.**Mu = massa unitária compactada do agregado graúdo (brita).*

- PASSO 7: Definição do consumo de agregado miúdo (Cm).

Equação 4

$$Vm = 1 - \left( \frac{Cc}{\gamma_c} + \frac{Cb}{\gamma_b} + \frac{Ca}{\gamma_a} \right)$$

Equação 5

$$Cm = \gamma_m \times Vm$$

Sendo:

*Vm = volume de areia.**Cc = consumo cimento.**Cb = consumo brita.**Ca = consumo água.* *$\gamma_c$  = massa específica cimento.* *$\gamma_b$  = massa específica brita.* *$\gamma_a$  = massa específica água.**Cm = consumo de areia.* *$\gamma_m$  = massa específica areia.*

Finalmente, a apresentação do traço em massa é feita em função da relação entre os diversos componentes do concreto em relação à massa de cimento:

Equação 6

$$\frac{Cc}{Cc} : \frac{Cm}{Cc} : \frac{Cb}{Cc} : \frac{Ca}{Cc}$$

Sendo:

*Cc = consumo cimento.**Cm = consumo areia.**Cb = consumo brita.**Ca = consumo água.*

Uma vez determinado o traço teórico procede-se à mistura experimental, que permite realizar os acertos necessários para obtenção de um concreto adequado aos requerimentos de trabalhabilidade e desempenho exigidos.

### 2.5.3 MOLDAGEM CORPO DE PROVA (NBR 5738:2016)

Neste item serão apresentados os procedimentos, segundo a NBR 5738, para moldagem de corpos de prova cilíndricos utilizados nos ensaios de compressão.

#### 2.5.3.1 Procedimento de moldagem

- **Dimensões dos corpos de prova**

A dimensão básica do corpo de prova deve ser no mínimo três vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto. As partículas de dimensão superior à máxima nominal, que ocasionalmente sejam encontradas na moldagem dos corpos de prova, devem ser eliminadas por peneiramento do concreto, de acordo com a ABNT NBR NM 36.

- **Preparação dos moldes**

Antes de proceder a moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases devem ser convenientemente revestidos internamente com uma fina camada de óleo mineral ou outro lubrificante que não reaja com o cimento.

Figura 6: Moldes com desmoldante



Fonte: Elaborado pelos autores

A superfície de apoio dos moldes deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e outras perturbações que possam modificar a forma e as propriedades do concreto dos corpos de prova durante sua moldagem e início de pega.

- **Moldagem dos corpos de prova**

Proceder a uma prévia remistura da amostra para garantir a sua uniformidade e colocar o concreto dentro dos moldes em número de camadas que corresponda ao que determina a norma técnica, utilizando uma concha de seção U.

Ao introduzir o concreto, deslocar a concha ao redor da borda do molde, de forma a assegurar uma distribuição simétrica e, imediatamente, com a haste em movimento circular, nivelar o concreto antes de iniciar seu adensamento.

- **Adensamento dos corpos de prova**

Entende-se por adensamento a deformação plástica e a redução do índice de vazios de uma massa de concreto em função da pressão aplicada.

A escolha do método de adensamento deve ser feita em função do abatimento, determinado de acordo com a ABNT NBR NM 67, seguindo a classificação da Tabela 7.

Tabela 7: Classes de consistência

Classe	Abatimento (mm)	Método de adensamento
S10	$10 \leq A < 50$	Mecânico
S50 S100	$50 \leq A < 100$ $100 \leq A < 160$	Mecânico ou manual
S160 S220	$160 \leq A < 220$ $A \geq 220$	Manual

*NOTA: Para concretos especiais, o procedimento de moldagem pode ser modificado de modo a simular o adensamento a ser empregado na obra, de acordo com o responsável pela obra.*

Fonte: ABNT NBR NM 67/1998

Para definição do número de camadas e golpes, devem ser atendidos os requisitos da Tabela 8.

Para concreto auto adensável, deve ser dispensada esta etapa.

Tabela 8: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova

tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 *b	3	-	-

a. Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

b. No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: ABNT NBR NM 67/1998

Para este estudo foi utilizado o método de adensamento manual.

- **Adensamento manual**

Introduzir o concreto no molde em camadas de volume aproximadamente igual e adensar cada camada utilizando a haste, que deve penetrar no concreto com seu extremo em forma de semiesfera o número de vezes definido na Tabela 8.

A primeira camada deve ser atravessada em toda a sua espessura quando adensada com a haste, evitando-se golpear a base do molde. Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda a seção transversal do molde. Cada uma das camadas seguintes também deve ser adensada em toda sua espessura, fazendo com que a haste penetre aproximadamente 20 mm na camada anterior.

Deve-se bater levemente na face externa do molde, até o fechamento de eventuais vazios.

A última camada deve ser moldada com quantidade em excesso de concreto, de forma que, ao ser adensada, complete todo o volume do molde e seja possível proceder ao seu rasamento, eliminando o material em excesso. Em nenhum caso. É aceito completar o volume do molde com concreto após o adensamento da última camada.

- **Rasamento**

Independentemente do método de adensamento utilizado, após o adensamento da última camada. Deve ser feito o rasamento da superfície com a borda do molde, empregando para isso uma régua metálica ou uma colher de pedreiro adequada.

Figura 7: Rasamento do concreto



Fonte: Elaborado pelos autores

- **Manuseio e transporte**

Sempre que possível, os corpos de prova devem ser moldados no local onde devem ser armazenados. Evitar manusear e transportar os corpos de prova recém-moldados.

Quando não for possível realizar a moldagem no local de armazenamento, os corpos de prova devem ser levados imediatamente após o rasamento até o

local onde devem permanecer durante a cura inicial. Ao manusear os corpos de prova, evitar trepidações, golpes, inclinações e, de forma geral, qualquer movimento que possa perturbar o concreto ou a superfície superior do corpo de prova.

Após endurecimento do concreto, os corpos de prova devem ser transportados dentro das respectivas fôrmas. Caso não seja possível, após a desforma, os corpos de prova devem ser transportados em caixas rígidas contendo serragem ou areia molhada ou similar.

#### **2.5.4 ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA CILINDRICOS (NBR 5739:2007)**

Nesse item são apresentados os procedimentos necessários para realização dos ensaios nos corpos de prova, preparação, ensaio e apresentação dos resultados.

- **Preparo dos corpos de prova**

Os corpos de prova moldados devem atender ao estabelecido na ABNT NBR 5738.

Os corpos de prova a serem ensaiados devem atender à relação altura/diâmetro ( $h/d$ ) nunca maior do que 2,02. Caso esta relação seja menor que 1,94, efetuar as correções.

Até a idade de ensaio, os corpos de prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada, nas condições preconizadas, conforme o caso, pelas ABNT NBR 5738, ABNT NBR 7680 e ABNT NBR 9479.

Antes da execução do ensaio, devem ser preparadas as bases dos corpos de prova e testemunhos, de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 5738. Após a preparação das bases, deve-se garantir que os corpos de prova mantenham sua condição de cura.

##### **NOTAS**

*1 Recomenda-se que o ensaio seja realizado, tanto quanto possível, imediatamente após a remoção do corpo de prova do seu local de cura.*

*2 Dependendo do tipo de capeamento utilizado, pode-se optar pela preparação antecipada das bases dos corpos de prova.*

- **Execução do ensaio**

Determinar o diâmetro utilizado para o cálculo da área da seção transversal com exatidão de  $\pm 0,1$  mm, pela média de dois diâmetros, medidos ortogonalmente na metade da altura do corpo de prova.

Determinar a altura do corpo de prova que deve ser medida sobre seu eixo longitudinal, com precisão de 0,1 mm, incluindo o capeamento.

Os corpos de prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada. Em se tratando de corpos de prova moldados de acordo com a ABNT NBR 5738, a idade deve ser contada a partir da hora de moldagem, como apresentado na tabela 9.

Tabela 9: Tolerância para a idade de ensaio

Idade de ensaio	Tolerância permitida <i>h</i>
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Fonte: ABNT NBR 5738/2015

Antes de iniciar o ensaio, as faces dos pratos e do corpo de prova devem ser limpas e secas antes do corpo de prova ser colocado em posição de ensaio. O corpo de prova deve ser cuidadosamente centralizado no prato inferior, com o auxílio dos círculos concêntricos de referência, observando-se o sentido de moldagem. Quando o topo e a base dos corpos de prova forem submetidos a desgaste por abrasão, indicar a orientação de moldagem do corpo de prova de forma inequívoca.

*NOTA Caso seja realizado o controle geométrico dos moldes conforme especificado na ABNT NBR 5738, pode-se dispensar a medição do diâmetro e da altura, adotando-se as dimensões nominais.*

A escala de força escolhida para o ensaio deve ser tal que a força de ruptura do corpo de prova ocorra no intervalo em que a máquina foi calibrada.

O carregamento de ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choques, com a velocidade de carregamento de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa /s.

A velocidade de carregamento deve ser mantida constante durante todo o ensaio.

O carregamento só deve cessar quando houver uma queda de força que indique sua ruptura.

- **Resultados**

Neste item são apresentados os procedimentos para o cálculo da resistência que são obtidos através dos resultados obtidos nos ensaios em laboratório.

- **Cálculo da resistência**

A resistência à compressão deve ser calculada através da seguinte expressão:

Equação 7

$$F_c = \frac{4 F}{\pi \times D^2}$$

Sendo:

$F_c$  = resistência à compressão, em megapascals;

$F$  = força máxima alcançada, em Newtons;

$D$  = diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

Em se tratando de corpos de prova com relação  $h/d$  menor do que 1,94, multiplicar a força  $F$  pelo fator de correção correspondente ao  $h/d$  encontrado, conforme especificado na Tabela 10.

Tabela 10: Fator de correção  $h/d$

Relação $h/d$	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Fator correção	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87

Fonte: Método ABCP

---

O resultado da resistência à compressão deve ser expresso em megapascals, com três algarismos significativos.

Com o objetivo de avaliar a eficiência das operações de ensaio, encontram-se tabulados no Anexo B os níveis de classificação em função do coeficiente de variação dentro do ensaio obtido segundo metodologia adotada. Esta classificação tem por finalidade a melhoria dos processos de ensaio do laboratório, evidenciada pela redução da dispersão. A divulgação da classificação é facultativa.

- **Apresentação dos resultados**

O relatório de ensaio de corpos de prova moldados segundo a ABNT NBR 5738 deve conter no mínimo as seguintes informações:

- a) número de identificação do corpo de prova;
- b) data de moldagem;
- c) idade do corpo de prova;
- d) data do ensaio;
- e) dimensões dos corpos de prova;
- f) tipo de capeamento empregado;
- g) classe da máquina de ensaio;
- h) resultado de resistência à compressão individual dos corpos de prova e do exemplar;
- i) tipo de ruptura do corpo de prova (opcional) (Anexo A).

A apresentação dos resultados de corpos de prova extraídos deve estar de acordo com o prescrito pela ABNT NBR 7680.

*NOTA Quando a dispersão entre resultados de um mesmo exemplar for significativa, convém investigar o tipo de ruptura, pois defeitos na moldagem e/ou no arremate dos topos e bases dos corpos de prova podem ser identificados e sanados. Geralmente, quando ocorre uma dispersão significativa, a ruptura enquadra-se nos tipos F e G do Anexo A.*

### 2.5.5 MÁQUINA PARA ENSAIO (NBR 5739:2007)

A máquina para ensaio tem a função de gerar um diagrama de carga versus deslocamento, e calcular a tensão de escoamento. As máquinas para ensaio podem ser eletromecânicas ou hidráulicas. A diferença é a forma como a força é aplicada.

- **Generalidades**

A máquina de ensaio deve atender aos valores máximos admissíveis determinados pela ABNT NBR NM ISO 7500-1.

Para laboratórios de ensaio, a máquina de ensaio deve ser classe 1 ou melhor. Para laboratórios instalados em obras ou centrais de concreto, admite-se a utilização de máquina de ensaio classe 2.

Figura 8: Máquina de ensaio a compressão



Fonte: Elaborado pelos autores

A estrutura de aplicação de força deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada da força sobre o corpo de prova colocado entre os pratos de compressão.

O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, coaxial (perpendicular) ao prato fixo.

O corpo de prova cilíndrico deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro.

O acionamento deve ser através de qualquer fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de força contínua e isenta de choques. Somente para as máquinas de classe 2 se aceita acionamento manual.

A taxa de aplicação de força fixa ou ajustável ao longo do ensaio deve atender ao prescrito. Devem ser previstos meios para a obtenção de taxas menores, compatíveis com os métodos utilizados para a verificação da escala de força.

A máquina deve permitir o ajuste da distância entre os pratos de compressão antes do ensaio com deslocamentos que superem a altura do corpo de prova em no mínimo 15 mm.

O ajuste pode ser feito através de um mecanismo da máquina, independentemente do sistema de aplicação de força.

Sistema de medição de força pode ser analógico ou digital. Em ambos os casos deve ser previsto um meio de indicação da força máxima atingida que possa ser lida após a realização do ensaio. A resolução da escala deve atender à especificada para a classe da máquina de ensaio.

#### NOTAS

*Recomenda-se que os equipamentos novos sejam providos de controle de aplicação de força, de modo que a taxa de carregamento seja aplicada sem a interferência do operador.*

*O ajuste da distância entre os pratos de compressão visa facilitar a introdução e o alinhamento do corpo de prova entre os pratos, de forma que o ensaio se desenvolva dentro dos limites do curso útil do equipamento.*

---

- **Pratos de compressão**

A máquina deve ser equipada com dois pratos de aço, cujas superfícies de contato com o corpo de prova tenham sua menor dimensão 4% superior ao maior diâmetro do corpo de prova que deve ser ensaiado.

As superfícies de contato dos pratos de compressão devem apresentar desvio máximo de planicidade de 0,05 mm para cada 150 mm de diâmetro dos pratos. Para pratos com diâmetro menor, o desvio máximo de planicidade deve ser de 0,05 mm.

Os pratos de compressão devem ser fabricados com no máximo metade da tolerância estabelecida em 3.1.2.2. A dureza superficial destes deve ser de no mínimo 55 HRC (55 Rockwell C).

- **Prato inferior**

O prato inferior deve ser removível, a fim de permitir a manutenção das condições da superfície.

As suas superfícies superior e inferior devem ser paralelas entre si, não devendo apresentar espessura menor que 10 mm ou 10 % do maior diâmetro do corpo de prova a ser ensaiado. Depois de repetidas operações de recondicionamento da superfície, deve ser tolerada espessura de no mínimo 90 % destes valores.

Quando apoiada ou fixada a máquina, o prato deve apresentar rigidez tal que a máxima deformação à qual deve ser submetido durante o ensaio não ultrapasse 25 % da tolerância de planicidade especificada.

Com a finalidade de auxiliar na centralização do corpo de prova, o prato inferior pode apresentar um ou mais círculos concêntricos de referência gravados, com centros na interseção dessa superfície com o eixo vertical da máquina. O diâmetro do círculo externo deve ser 4 mm superior ao do corpo de prova a ser ensaiado, devendo ainda apresentar profundidade não superior a 0,7 mm e largura não superior a 1,0 mm.

De modo a atender a norma, deve ser permitida a utilização de calços metálicos posicionados centralizadamente sobre o prato inferior da máquina. Os calços devem obedecer aos mesmos critérios estabelecidos para o prato inferior.

A face do prato inferior em contato com o corpo de prova deve ser perfeitamente perpendicular ao eixo da máquina e permanecer nessa condição durante todo o ensaio.

- **Prato superior de compressão**

O prato superior deve ser provido de articulação tipo rótula esférica.

Figura 9: Detalhamento da Rótula esférica



Fonte: Elaborado pelos autores

O diâmetro da rótula deve estar compreendido entre 0,75 e 1,5 vez o diâmetro do corpo de prova que deve ser ensaiado.

O centro da calota esférica deve ser situado na interseção do eixo vertical da máquina com a superfície de contato do prato com o corpo de prova. O afastamento máximo permitido após sucessivos condicionamentos do prato deve ser de  $\pm 5\%$ .

Se o diâmetro da esfera for menor que o do corpo de prova, a porção do prato que se estender além do assentamento esférico deve ter espessura superior à diferença entre os raios da esfera e do corpo de prova.

As peças macho e fêmea do assentamento esférico da rótula devem ser fabricadas de tal forma que as superfícies em contato não sofram deformação permanente depois de repetidos usos, até a capacidade de força especificada para o equipamento. O conjunto deve permitir movimentação livre mínima de  $4^\circ$  em qualquer direção, quando submetido a uma força inicial de acomodação de 0,1% da força estimada de ruptura.

Após a aplicação de uma pequena força inicial de acomodação, o prato não deve mais movimentar-se em sentido algum durante todo o transcorrer do ensaio; para isso, as superfícies de assentamento esférico da rótula devem ser mantidas limpas e lubrificadas apenas com uma fina camada de óleo lubrificante mineral comum, não sendo permitido o emprego de graxas ou lubrificantes que contenham aditivos para alta pressão de contato.

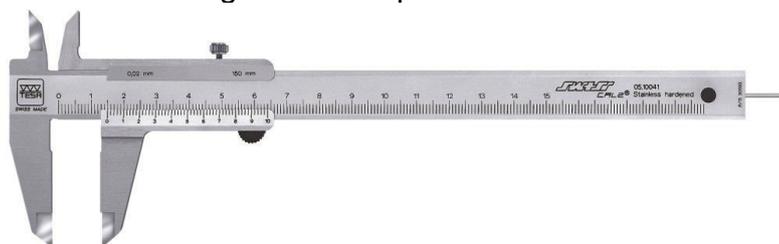
- **Calibração**

A calibração da máquina de ensaio deve ser feita conforme prescrito na ABNT NBR NM ISO 7500-1, sob condições normais, em intervalos não maiores que 12 meses. Entretanto, recomenda-se que seja executada uma calibração extraordinária sempre que se suspeitar da existência de erro, ou quando for realizada qualquer operação de manutenção, ou quando a máquina for deslocada.

- **Paquímetro**

O paquímetro é um instrumento usado para medir com precisão as dimensões de pequenos objetos. Trata-se de uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor, utilizada para a determinação das dimensões deve apresentar faixa nominal compatível com a dimensão básica do corpo de prova. Sua resolução deve ser menor ou igual a 0,1 mm.

Figura 10: Paquímetro



Fonte: [www.cofermeta.com.br](http://www.cofermeta.com.br)

O paquímetro deve ser calibrado em intervalos não maiores que 24 meses.

*NOTA O uso constante pode provocar desgaste por abrasão na face de medição externa do paquímetro, ocasionando erros na medida. A calibração no intervalo de tempo recomendado em 3.2.3 é a forma adequada de detectar o problema.*

## 4. ENSAIO LABORATORIAL

Etapa contendo o ensaio granulométrico, moldagem dos corpos de prova, rompimento e comparação dos capeamentos usados neste trabalho.

### 4.1 DEFINIÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA E APARENTE (NBR NM 52:2003)

Para estes ensaios foi necessária a utilização de equipamentos de medição, como balança de precisão, o frasco de Chapman, além de estufa para a secagem da areia. Os critérios adotados foram baseados conforme descrito na NBR NM 52, agregado miúdo – Determinação de massa específica aparente.

#### 4.1.1 Massa aparente da brita

Foi medido o volume do recipiente utilizado, que é de 9,92 dm<sup>3</sup> (decímetro cúbico), o recipiente vazio foi pesado na balança e a mesma foi zerada para se descobrir apenas a massa de brita que cabe no recipiente. Conforme a norma, foi colocada a brita no recipiente até formar uma pequena elevação no topo do mesmo, por o recipiente com a brita foi elevado a 5 centímetros do solo e chocado contra o solo para as britas se encaixarem melhor.

Figura 11: Recipiente de pesagem



Fonte: Elaborado pelos autores

Para fazer o rasamento do topo foi utilizada uma régua metálica como está apresentado na figura a seguir.

Figura 12: Regularização da superfície



Fonte: Elaborado pelos autores

Para determinar a massa aparente da brita foi utilizada a seguinte equação:

Equação 8

$$Massa\ aparente = \frac{Massa}{Volume} = \frac{14\ (kg)}{9,92\ (dm^3)} = 1,41\ (kg\ dm^{-3})\ ou\ 1410\ (kg\ m^{-3})$$

Obtido o resultado, deu-se sequência, para as demais etapas do experimento.

#### 4.1.2 Massa unitária da brita (NBR 7810:1983)

Foram coletados 2000 g de brita e colocadas em estufa por 30 minutos. A variação foi muito pequena, atingindo 1999,58 g. Para se encontrar o índice de umidade foi utilizado um balde com água e uma rede de nylon para pesagem, atingindo após a pesagem 1240,65 g.

Figura 13: Pesagem brita seca



Fonte: Elaborado pelos autores

A brita, após pesada, foi acondicionada em um dispositivo, para ser mergulhada em um recipiente com água para o teste de umidade.

Figura 14: Separação da brita para teste de umidade



Fonte: Elaborado pelos autores

Mergulhado em água e com o auxílio de uma balança digital, o material foi pesado estando dentro d'água, para que fosse aferida a sua massa.

Figura 15: Brita submersa



Fonte: Elaborado pelos autores

O valor da pesagem com o material submerso foi utilizado para obter a massa unitária da brita.

Figura 16: Pesagem brita submersa



Fonte: Elaborado pelos autores

Após a coleta dos dados foi aplicada a formula abaixo:

Equação 9

$$\text{Massa unitária brita} = \frac{\text{Volume seco}}{(\text{Volume seco} - \text{Volume úmido})}$$

Sendo:

$$\text{Massa seca} = 1999,58 \text{ g}$$

$$\text{Massa úmida} = 1240,65 \text{ g}$$

$$\text{Massa unitária brita} = \frac{1999,58}{(1999,58 - 1240,65)} = 2,63 \text{ g/cm}^3$$

A massa unitária foi definida em 2,63 g/cm<sup>3</sup>

#### 4.1.3 Massa específica da areia (NBR NM 26: 2000)

Para essa etapa foi pesado 1 kg de areia na balança de precisão, que foi colocada em estufa aquecida por 1 hora e 30 minutos para eliminar a umidade existente. Foi constatada uma diminuição de 1,22 gramas na massa total, ou seja, 0,122%.

Figura 17: Pesagem da areia



Fonte: Elaborado pelos autores

Foram separados 500 gramas da areia para o ensaio com o frasco de Chapman.

Figura 18: Pesagem para o ensaio



Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme o método recomenda, foram utilizados 200 ml de água destilada, que possuem volume e massa conhecidos, para um melhor resultado final.

Figura 19: Frasco de Chapman



Fonte: Elaborado pelos autores

Com auxílio de um funil de vidro foi despejada a água no frasco de Chapman, com o cuidado de não reter a areia em sua lateral, o que causaria diferença na massa no fundo do frasco.

Em seguida, foram despejados 500 gramas de areia no frasco de Chapman com o auxílio de um funil de plástico.

Figura 20: Despejo da areia seca



Fonte: Elaborado pelos autores

É importante a retirada de todas as bolhas de ar que possam ficar na parede do frasco, fazendo movimentos circulares com o mesmo.

A utilização de água dentro do frasco de Chapman faz com que os espaços de ar existentes entre as partículas de areia sejam ocupados totalmente, podendo assim ter maior precisão com relação a massa específica do agregado.

O ensaio permite que o agregado seja calculado de melhor maneira para a elaboração do volume do traço de concreto.

Figura 21: Retirada das bolhas de ar



Fonte: Elaborado pelos autores

Após retirar todas as bolhas de ar, foi feita nova medição no frasco que apontou o valor de 0,392 litros e este valor foi utilizado na equação que define a massa específica da areia utilizada no processo.

Equação 10

$$Massa\ específica = \frac{500}{L - 200} = \frac{500}{392 - 200} = 2640\ (kg\ m^3)$$

#### 4.2 GRANULOMETRIA NBR 7217:1987

Para este ensaio foi utilizado um conjunto de peneiras e um agitador mecânico para definir o diâmetro máximo de brita e o módulo de finura da areia, que serão utilizados para o cálculo de dosagem do concreto, conforme a especificação da norma.

#### 4.2.1 Diâmetro máximo da brita

Para este ensaio foram pesados 5000 gramas de brita, porém as britas não passavam pelas peneiras do agitador, devido ao excesso de material. Foi optado por se fazer dois ensaios com 2500 gramas cada, não sobrecarregando as peneiras e atendendo a norma técnica.

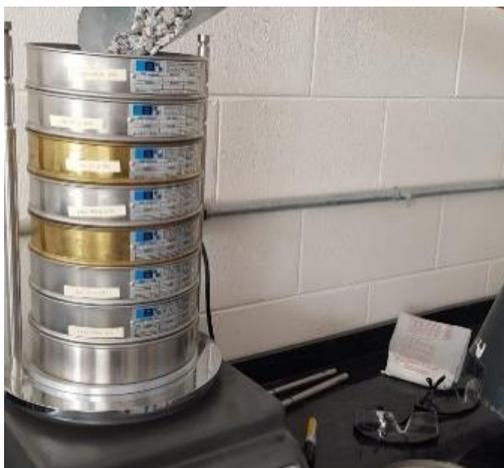
Figura 22: Pesagem da brita



Fonte: Elaborado pelos autores

Assim, foram colocadas as peneiras de 25 mm, 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 6,3 mm, 4,75 mm, 3,36 mm e o fundo.

Figura 23: Material no agitador mecânico



Fonte: Elaborado pelos autores

As britas foram agitadas por 1 minuto, conforme a norma, e como a frequência é facultativa, utilizou-se 10 hertz, ou seja, 10 rotações por segundo.

Após o tempo estipulado, desligado o agitador, foi pesada a massa retida, peneira por peneira, e os valores foram lançados em planilha para análise dos percentuais obtidos.

A tabela 11 indica os índices de massa retida em cada peneira.

Tabela 11: Massa retida por peneira

Peneira	Massa (g)		%	
25	0	0	0,0	0,0
<b>19</b>	<b>61,13</b>	<b>35,8</b>	<b>2,4</b>	<b>1,4</b>
12,5	1941,24	1719,11	77,6	68,8
9,5	367,53	556,53	14,7	22,3
6,3	124,4	191,15	5,0	7,6
4,75	3,01	10,78	0,1	0,4
2,36	0,03	0,03	0,0	0,0
Fundo	2,35	1,13	0,1	0,0
Total	2499,69	2514,53		
Diferença	0,31	14,53		
Porcentagem	0,0124	0,5812		

Fonte: Elaborado pelos autores

A norma técnica estipula que o diâmetro máximo da brita é o percentual que chega mais próximo dos 5% da massa retida na peneira. De acordo com os resultados obtidos, o diâmetro máximo é de 19 mm.

#### 4.2.2 Módulo de finura da areia

Para este ensaio foram necessárias peneiras de espessuras menores que as de brita, foram utilizadas peneiras de 6,3 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e o fundo, um agitador mecânico e uma balança de precisão.

Deste modo foram pesados, conforme a norma, 500 gramas de areia, que foram agitados por 1 minuto, na frequência de 10 hertz.

Após este processo, foram pesadas todas as massas retidas na peneira, assim como no ensaio de brita.

Os resultados foram lançados em planilha para análise dos percentuais obtidos.

A tabela 12 demonstra a massa acumulada por peneira.

Tabela 12: Massa acumulada

Nº	Abertura(mm)	Peso Retido(g)	% Retido	% Acumulado
1	6,3	4	0,8	0,8
2	4,75	6	1,2	2
3	2,36	24,5	4,9	6,9
4	1,18	46,8	9,36	16,26
5	0,6	87,7	17,54	33,8
6	0,3	130,3	26,06	59,86
7	0,15	162,7	32,54	92,4
Fundo	0	38,7	7,74	100,14

Fonte: Elaborado pelos autores

Foi possível definir o módulo de finura do agregado miúdo que será utilizado no traço de concreto pela seguinte equação.

Equação 11

$$MF = \frac{\sum \% acumulada}{100} = \frac{0,8 + 2 + 6,9 + 16,26 + 33,8 + 59,86 + 92,4}{100} = 3,12$$

### 4.3 Dosagem de concreto

Foi definida a utilização do traço para um concreto de 20 MPa que é o mais utilizado na construção civil.

Escolhido um valor para SD, foi utilizada a equação de majoração da resistência do concreto.

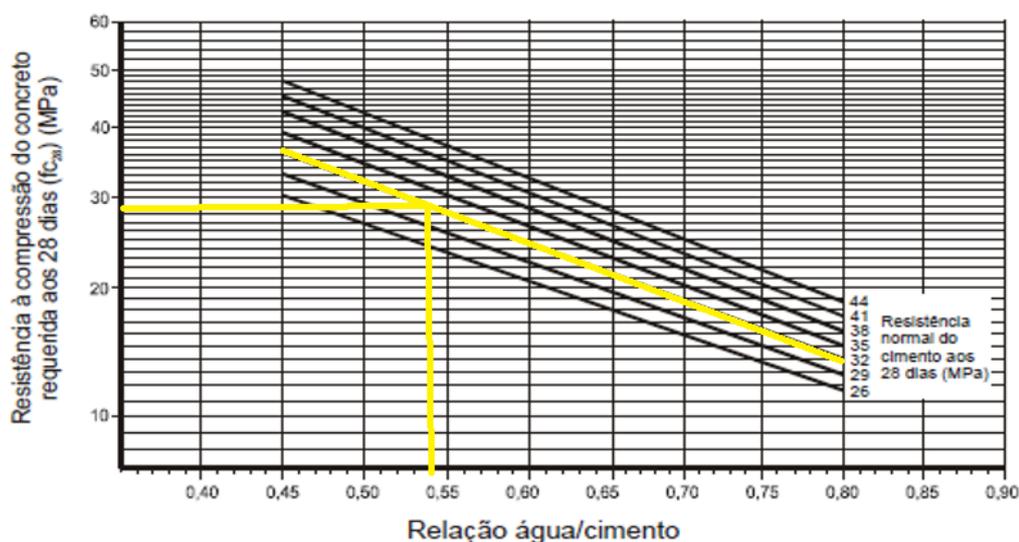
Equação 12

$$F_{c28} = f_{ck} + 1,65 * SD = 20 + 1,65 * 5,50 = 29 \text{ MPa}$$

Em seguida, foi utilizada a curva de Abrams, que relaciona resistência à compressão com relação água/aglomerante. A relação água/cimento será determinada em função da resistência de dosagem prevista para o concreto aos 28 dias, que se aplica ao tipo de cimento que irá ser utilizado.

Foi utilizada a relação a/c, para cimento de 32 MPa de resistência.

Figura 24: Curva de Abrams



Fonte: Adaptado pelos autores

De acordo com a tabela, essa relação é de 0,54.

Em seguida foi definido o consumo de água para o abatimento de 80-100.

Como já foi determinado no ensaio de granulometria um diâmetro máximo de 19 mm do agregado graúdo, pela tabela do consumo de água ficou definido em 205 (litros/m<sup>3</sup>).

O consumo de cimento é definido pela seguinte equação.

Equação 13

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} = \frac{205}{0,54} = 379,63 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

A seguir, pela tabela de consumo de agregado graúdo e as variáveis de diâmetro máximo de brita e o módulo de finura do agregado miúdo, foi definido o consumo de brita para cada metro cúbico de concreto.

Tabela 13: Consumo de agregado

MF	Dimensão máxima (mm)				
	9,5	19,0	25,0	32,0	38,0
1,8	0,645	0,630	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,630	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,630	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,630	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,630	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,630	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,630	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,68
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado pelos autores

Pela tabela é possível definir o volume de brita em 0,630 m<sup>3</sup>, para o consumo é necessário utilizar a equação com as variáveis do volume de brita e a massa aparente da mesma, definida em laboratório.

Equação 14

$$C_b = \text{Volume brita} * \text{Massa aparente} = 0,630 * 1411,29 = 889,11 \text{ (kg)}$$

Em seguida foi determinado o volume de agregado miúdo, ou seja, o volume de areia que será utilizada no ensaio laboratorial.

Equação 15

$$V_a = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_{cim}} + \frac{C_b}{\gamma_{bri}} + \frac{C_a}{\gamma_{agua}} \right) = 1 - \left( \frac{379,63}{3100} + \frac{889,11}{2630} + \frac{205}{1000} \right) = 0,334 \text{ m}^3$$

Determinado o volume da areia e com a massa específica da mesma, foi definido o consumo de areia.

Equação 16

$$C_{areia} = V_a * \gamma_{areia} = 0,334 * 2604,167 = 869,8 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Por fim, define-se o traço do concreto, sempre dividindo o consumo de cada elemento pelo consumo de cimento.

Equação 17

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_{areia}}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} = \frac{379,63}{379,63} : \frac{869,8}{379,63} : \frac{889,11}{379,63} : \frac{205}{379,63} = 1 : 2,29 : 2,34 : 0,54$$

#### 4.4 Moldagem dos corpos de prova

Para os 20 corpos de prova foram separadas e pesadas as massas dos agregados, foi utilizado uma balança específica para este tipo de ensaio e com muito cuidado para manter o traço já calculado.

Figura 25: Pesagem de agregados



Fonte: Elaborado pelos autores

Os agregados foram pesados de acordo com o traço calculado pelo método ABCP, para 30 litros de concreto produzido em betoneira, conforme norma técnica.

Após separar todos os componentes do concreto, foram colocados na betoneira inicialmente os agregados graúdos e a água, que foram misturados e logo após foram

incluídos o cimento com o agregado miúdo e novamente misturados na betoneira por aproximadamente mais 5 minutos, até formar uma mistura homogênea.

Figura 26: Mistura dos agregados na betoneira



Fonte: Elaborado pelos autores

Na figura 19, é possível visualizar a betoneira em funcionamento na parte externa do laboratório.

Com o concreto pronto foi feito o ensaio de Slump, ou seja, o abatimento do tronco de cone, conforme a norma técnica NBR NM 67.

Figura 27: Cone de abatimento



Fonte: Elaborado pelos autores

O concreto foi colocado até um terço do cone e aplicados 20 golpes com haste metálica para preenchimento todos os espaços. O mesmo procedimento foi executado no segundo terço de preenchimento. No último terço, foi colocado concreto de forma que excedesse a altura máxima do recipiente, onde foi feito o rasamento da superfície com o auxílio de uma régua metálica.

O teste de Slump consiste na medição da massa de concreto após a retirada do tronco do cone de abatimento.

Segundo a dosagem do concreto pelo método ABCP, ficou calculado um abatimento entre 8 e 10cm.

Figura 28: Resultado do Slump



Fonte: Elaborado pelos autores

Depois da constatado de que o concreto executado estava dentro dos parâmetros estabelecidos, foi aplicado desmoldante no interior dos moldes dos corpos de prova, em seguida procedeu-se o seu preenchimento.

Figura 29: Rasamento do molde preenchido com concreto



Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme a NBR 5738, os moldes foram preenchidos até a metade e golpeados 12 vezes com auxílio de haste metálica para melhor adensamento do material. Na sequência, o recipiente foi completado com o concreto e feito o seu rasamento com régua metálica.

Figura 30: Secagem dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelos autores

Os moldes foram então acomodados em uma superfície plana, onde ficaram secando durante 24 horas, para depois serem desmoldados, numerados e colocados submersos em um tanque com água até o prazo estipulado de cura em 21 dias.

## **4.5 Processos de retífica e capeamento dos corpos de prova**

### **4.5.1 Retífica**

O processo de retífica consiste na preparação do corpo de prova, fazendo o nivelamento mecânico da base do mesmo com disco de desbaste. Para isto foi utilizada uma retificadora automática horizontal, onde o corpo de prova é colocado perpendicularmente ao disco que faz o desbaste do concreto.

Figura 31: retifica mecânica



Fonte: Elaborado pelos autores

O processo com o desbaste mecânico retirou em média 3 milímetros dos corpos de prova, assim deixando a superfície mais regular e nivelada.

#### 4.5.2 Pasta de cimento

Para este tipo de capeamento foi utilizado cimento Portland do tipo CPV ARI para obter uma secagem mais rápida para desmoldagem e maior resistência final à compressão. Primeiro foram misturados somente cimento e água até que formasse uma pasta homogênea, com textura firme e com boa trabalhabilidade, de modo que recebesse o corpo de prova e desempenhasse um revestimento uniforme.

Figura 32: Capeamento com pasta de cimento



Fonte: Elaborado pelos autores

Após o capeamento com a pasta de cimento, passado o tempo de cura da pasta os corpos de prova ficaram prontos para o rompimento.

#### 4.5.3 Capeamento com gesso

Para este revestimento foi utilizado gesso convencional adicionado à água seguindo a orientação do fabricante. Aguardou-se o tempo de repouso até que atingisse o ponto ideal para aplicação.

Um filme plástico foi aplicado sobre uma mesa de granito, onde a pasta de gesso foi despejada de maneira uniforme, o corpo de prova foi posicionado verticalmente sobre ela com o auxílio de um nível de bolha, sendo deixado em repouso por aproximadamente 60 minutos, estando pronto para a desmoldagem.

Figura 33: Capeamento com pasta de gesso



Fonte: Elaborado pelos autores

Esse processo foi realizado dos dois lados do corpo de prova.

#### 4.5.4 Capeamento com enxofre

Esse método consiste no revestimento dos corpos de prova com uma camada de enxofre, inicialmente em pó, que é derretido a aproximadamente 120°C, adquirindo

consistência fluída, que depois de aplicado na fase líquida, ao secar apresenta uma superfície homogênea.

Figura 34: Derretimento do enxofre em pó



Fonte: Elaborado pelos autores

Para este estudo comparativo foi utilizado enxofre em pó adicionando-se 5% de caulim para adquirir melhor trabalhabilidade.

Superfícies planas, lisas e perpendiculares em relação ao eixo do corpo de prova, dependem do nivelamento do capeador, além disto, o molde deve estar limpo, isento de qualquer material além do óleo usado para lubrificá-lo.

Figura 35: corpo de prova capeado com enxofre



Fonte: Elaborado pelos autores

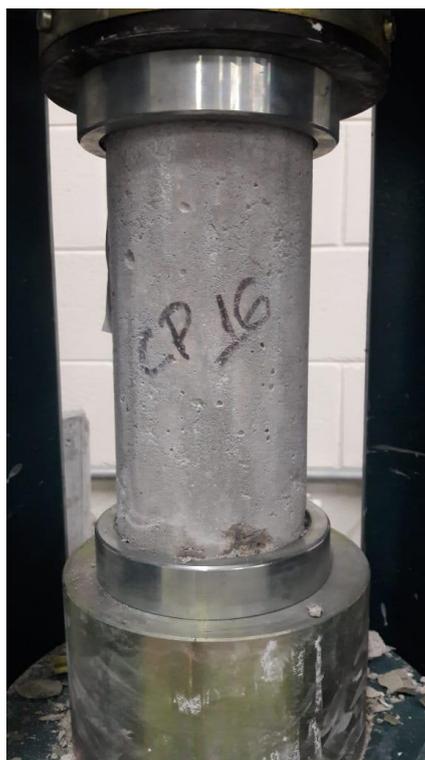
Para este estudo a superfície dos corpos de prova foi preparada tendo o cuidado de ser isenta de riscos ou vazios e não ter falhas de planicidade superiores a 0,05mm em qualquer ponto.

Durante a realização do capeamento com enxofre podem ocorrer acidentes como queimaduras (por ser aplicado em alta temperatura), contaminação pela evaporação de gases durante o processo de derretimento do enxofre e pela falta de equipamentos de segurança, (tais como luvas) ou ainda de máscara onde a pessoa que realiza o capeamento acaba inalando o gás sulfídrico eliminado pelo aquecimento do enxofre.

#### **4.5.5 Capeamento com elastômero sintético policloropreno (neoprene)**

O capeamento utilizando neoprene confinado com reforço metálico é composto de duas almofadas de neoprene com dureza Shore A 63, mais o anel metálico.

Figura 36: Capeamento com neoprene na prensa



Fonte: Elaborado pelos autores

Após a colocação do neoprene e o posicionamento do corpo de prova na prensa, o ensaio de compressão é realizado tendo o cuidado com a centralização do material em relação aos pratos da prensa para evitar o problema de excentricidade.

### 3.6 Processo de rompimento do corpo de prova

Verificando o tempo de cura dos corpos de prova pré determinado, de vinte e um dias, os mesmos foram levados à prensa hidráulica para o rompimento, aferindo-se os valores de compressão que cada um dos corpos suportou.

O procedimento foi realizado respeitando a NBR 5739, onde a altura não deve ser maior que duas vezes o seu diâmetro e as medidas diamétricas têm tolerância de 1% e de 2% na altura, portanto mediante as verificações, todos as peças estavam de acordo com o especificado.

A velocidade de aplicação da carga, foi efetuada dentro do limite de 0,3 MPa/s até 0,8 MPa/s, especificado na norma brasileira NBR 5739:1994.

Figura 37: corpo de prova rompido pela prensa



Fonte: Elaborado pelos autores

Obtidos os resultados através do ensaio de compressão, apresentados em tonelada/força na prensa hidráulica, foram feitas as devidas conversões para que o resultado final fosse apresentado em MPa.

Inicialmente foram rompidos os corpos de prova com o topo e a base retificados, que serviriam como parâmetro para nossa análise em comparação aos demais capeamentos em estudo.

## 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

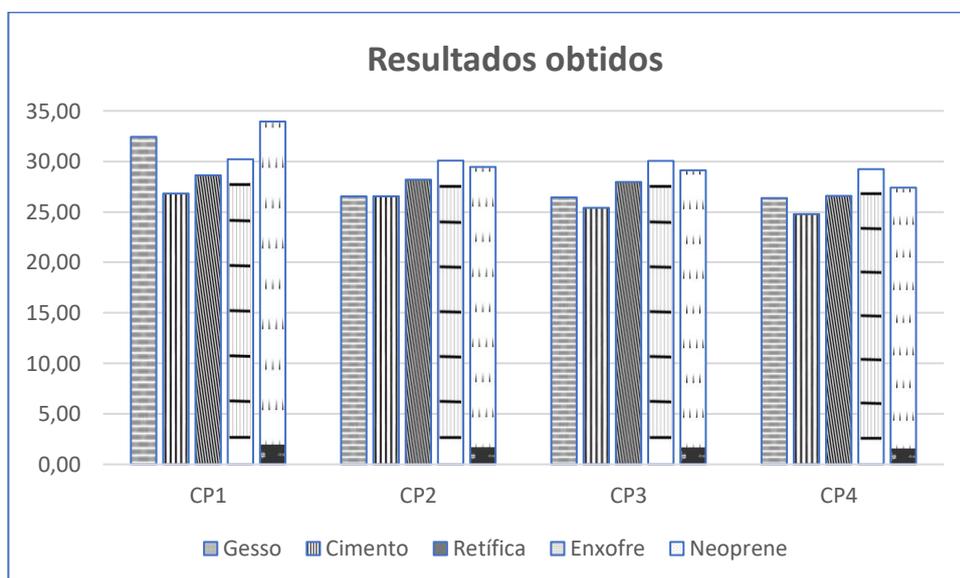
De acordo com os dados obtidos durante os ensaios de cada capeamento e retífica, foram analisados os resultados finais de cada método utilizado.

Com auxílio do Excel, foi feita uma análise de resultados e comparativos, verificando qual dos ensaios a compressão teve mais influência na distribuição da força aplicada e conseqüentemente no resultado final.

Os resultados apontam um desvio padrão com baixo índice de variação para os capeamentos com pasta de cimento e enxofre incluindo a retífica, segundo Vieira (1991), não é recomendada a utilização do sistema com neoprene, para concretos com resistência abaixo de 10 MPa ou acima de 85 MPa. Isto não se configurou nos resultados deste estudo, os valores sofreram uma variação em torno de 24%.

O gráfico abaixo apresenta os resultados obtidos em cada um dos ensaios.

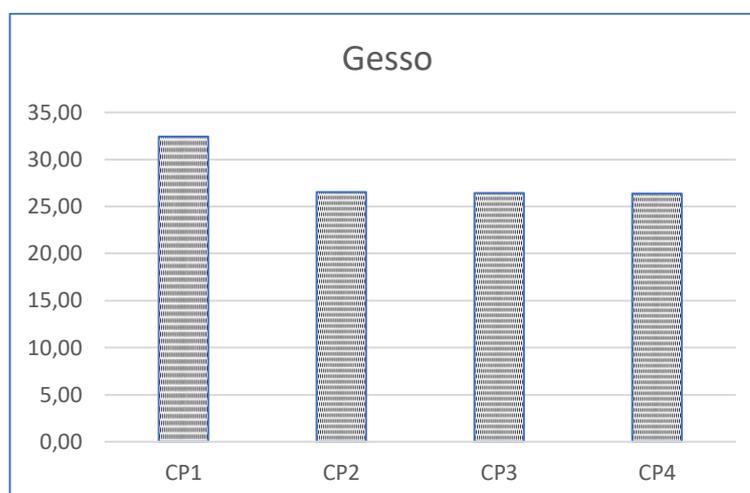
Gráfico 1: Comparativo entre capeamentos



Fonte: Elaborado pelos autores

Dentro dos resultados aferidos, o capeamento com pasta de gesso apresentou a maior resistência a compressão, demonstrando que a camada de regularização distribuiu melhor a força axial aplicada.

Gráfico 2: Capeamento com gesso

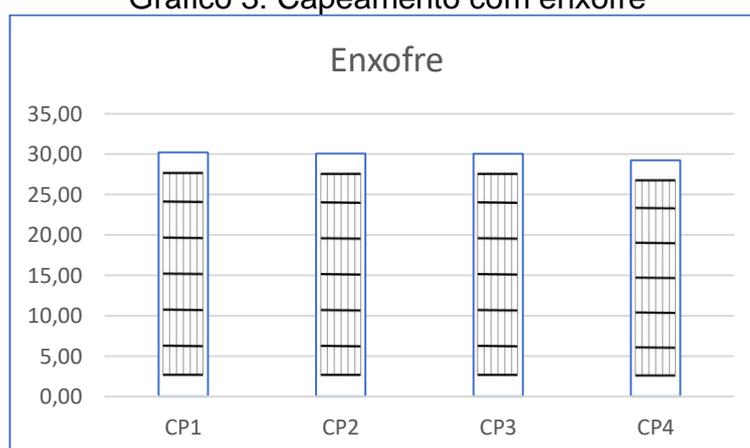


Fonte: Elaborado pelos autores

Inversamente, o mesmo capeamento em gesso também sofreu uma grande variação no desvio padrão, como existem poucos trabalhos acadêmicos a respeito do uso deste material, sua utilização foi pautada a nível de pesquisa experimental.

Analisando o melhor resultado entre os capeamentos, o ensaio que apresentou uma maior regularidade foi o enxofre, que obteve uma melhor performance diante do desvio padrão apresentado, seu desvio padrão foi de 0,26, sendo que para desvio padrão, quanto mais próximo de zero menor será a diferença entre os valores analisados.

Gráfico 3: Capeamento com enxofre

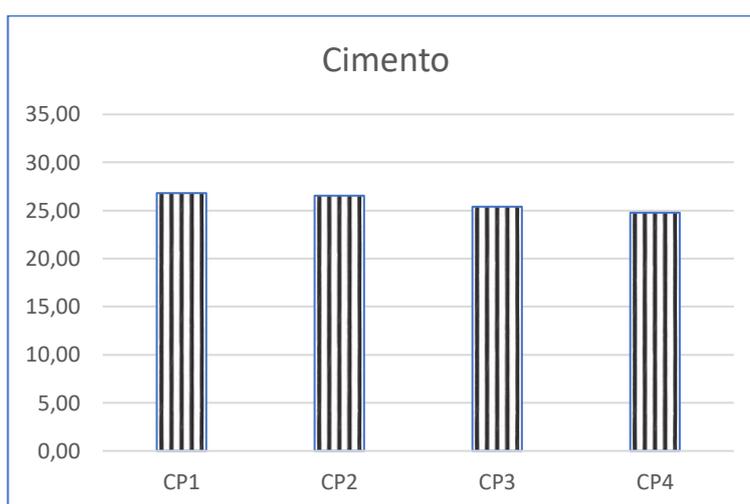


Fonte: Elaborado pelos autores

Pode-se afirmar que o capeamento com enxofre teve o menor desvio padrão por ser fixado nas bases em estado líquido, assim preenchendo com mais eficiência a superfície do topo dos corpos de prova e distribuindo melhor a força aplicada, portanto, não existiu muito acúmulo de tensão em todo seu volume, por possuir menor dispersão nos valores obtidos nos ensaios, mensurado por meio do coeficiente de variação e apresentar maior média das tensões de ruptura.

O gráfico 4 apresenta os resultados com o capeamento de pasta de cimento.

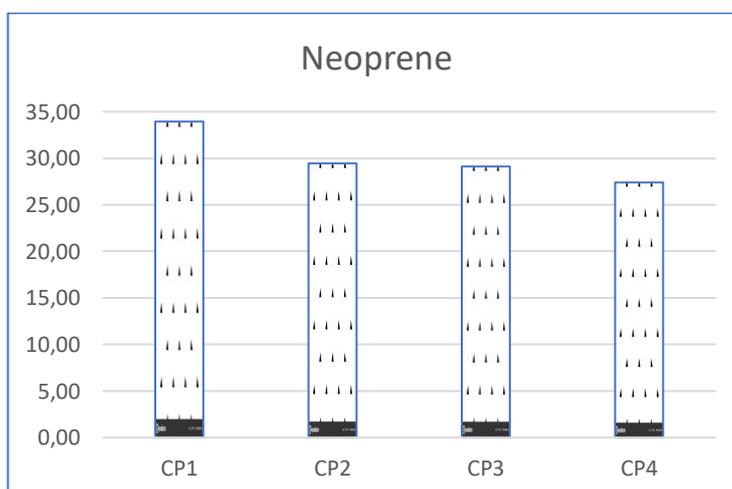
Gráfico 4: Capeamento com pasta de cimento



Fonte: Elaborado pelos autores

O gráfico 5 apresenta os resultados com o capeamento de neoprene.

Gráfico 5: capeamento de neoprene

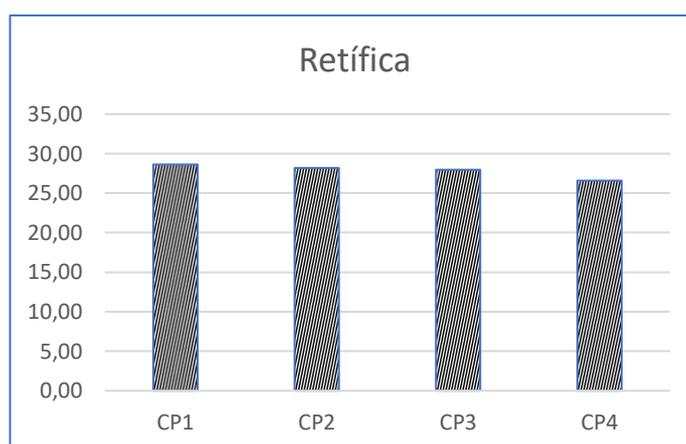


Fonte: Elaborado pelo autor

O motivo que pode ter influenciado nos resultados com o neoprene, que apresentou um grande desvio padrão, indica que a borracha elastomérica talvez não tenha preenchido os todos os espaços vazios da superfície das bases do corpo de prova, assim distribuindo a força aplicada de forma irregular o que causou uma grande diferença da compressão axial aplicada nos diferentes corpos de prova.

O gráfico 6 apresenta os resultados com retífica mecânica.

Gráfico 6: Retífica mecânica

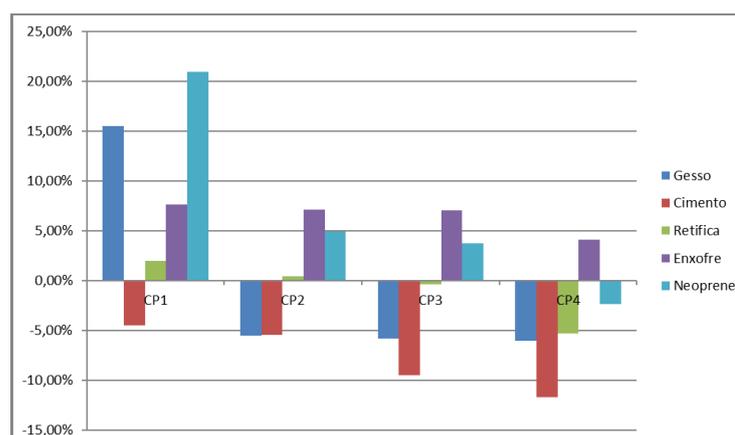


Fonte: Elaborado pelo autor

Os corpos de prova retificados tiveram o desempenho já esperado, baseado em resultados de outros trabalhos que aqui foram estudados, não houve uma disparidade grande de resultados.

O gráfico 7 apresenta a média percentual de desempenho entre os corpos de prova.

Gráfico 7: Média percentual de desempenho



Fonte: Elaborado pelos autores

O desvio padrão exemplifica a dispersão dos valores encontrados nos ensaios, quanto maior o valor encontrado maior será a diferença entre os resultados dos ensaios.

A tabela 14 relaciona os desvios padrão encontrados nos ensaios.

Tabela 14: Desvio padrão dos corpos de prova

Média (MPa)		Desvio padrão	
Gesso	27,9	Gesso	1,73
Cimento	25,9	Cimento	0,55
Retífica	27,8	Retífica	0,51
Enxofre	29,9	Enxofre	0,26
Neoprene	30,0	Neoprene	1,61

Fonte: Elaborado pelos autores

O método da NBR 5738 atingiu o nível de resistência desejado em todos os testes.

---

## **6. ESTUDOS FUTUROS**

Estudos podem ser feitos com um maior número de corpos de prova, podendo realizar novas análises, com superfícies regularizadas e/ou sem tratamento, e aplicando a borracha elastomérica para comparar os resultados entre eles.

Podendo também utilizar outros métodos de capeamento, como por exemplo com areia úmida ou EPS, a nível de pesquisa, para comparar possíveis desempenhos que podem superar os capeamentos convencionais.

---

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Podemos concluir com este estudo que quanto mais regular a área de contato com a compressão axial melhor será o desempenho em distribuição de carga aplicada, entre os diversos capeamentos utilizados, não há uma perfeita exatidão na similaridade entre os resultados apresentados.

Um cuidado muito grande deve ser tomado, pois os capeamentos apresentam resultados muito próximos possíveis de serem obtidos com o uso de outros capeamentos.

Ao todo foram efetuados 5 tipos de regularização nos corpos de prova, sendo pasta de cimento, neoprene, pasta de gesso, enxofre e base retificada.

Após a conclusão do rompimento dos 20 corpos de prova, foram analisados os dados e feitos os comparativos do desvio padrão e sendo constatada a resistência média de 28 Mpa, sem contabilizar os valores atípicos ou inconsistentes, que apresentam um grande afastamento dos demais resultados da série, ocorridos no gesso e no neoprene.

A pasta de cimento teve o resultado esperado, pela sua facilidade de aplicação, trabalhabilidade e baixo custo, que correspondeu positivamente na regularização.

No ensaio com a regularização retificada foi utilizada uma retificadora automática horizontal para corrigir as superfícies dos corpos de prova, que tiveram um desempenho dentro do esperado, sendo este o ensaio que não utiliza nenhum tipo de interferência de outro de material, como nos ensaios capeados, e caso a retificação não fosse bem executada, poderia ocasionar em um baixo resultado e perda de eficiência na resistência analisada.

No teste com a borracha elastomérica (neoprene), era esperado um comportamento e resultado superior aos demais capeamentos, por se tratar de um material muito utilizado pela indústria e ter uma tecnologia já aplicada no material.

Foi obtido um resultado aceitável e dentro da normalidade, mas por não preencher totalmente os vazios contidos nas bases dos corpos de prova, não houve muita influência durante a aplicação da carga axial.

Acredita-se que em ensaios com corpos de prova de maior resistência, este tipo de capeamento tenha um efeito muito mais positivo, onde a maior deformidade da

borracha devida a alta carga de aplicação, preencherá melhor os vazios, fazendo assim uma melhor regularização e distribuição da carga aplicada.

A pasta de gesso apresentou resultados surpreendentes, por se tratar de uma pasta de gesso convencional, que tem fácil aplicação, trabalhabilidade, manuseio, sua cura e secagem são mais rápidas, quando comparadas aos demais materiais estudados. Sua capacidade de regularizar as bases se mostrou eficiente, porém obteve um grande desvio padrão, que pode ser estudado com mais profundidade em futuras análises.

O enxofre em estado líquido foi moldado com o auxílio de uma base própria para capeamento. O material foi fundido diretamente na superfície das bases dos corpos de prova, com alto desempenho de regularização, apresentando o melhor resultado em eficiência entre os ensaios, porém dentre todos os materiais é o mais difícil em relação ao manuseio e aplicação.

Foi concluído com as análises dos estudos que as irregularidades presentes nos topos e bases dos corpos de prova podem interferir bruscamente no comportamento e resultados apresentados em ensaios laboratoriais, prejudicando a análise dos dados encontrados.

Os capeamentos estudados influenciaram positivamente nos resultados das análises laboratoriais, distribuindo melhor a força aplicada na prensa durante os ensaios, fazendo com que os dados obtidos estivessem mais próximos da resistência real do concreto que foi calculado.

No que se refere a construção civil, o estudo é importante para que se possa chegar em parâmetros mais fieis sobre a resistência do concreto utilizado na obra, pois os resultados encontrados nos ensaios são mais próximos do concreto executado, mesmo que divergindo para o estado multiaxial de tensões encontrado na realidade da obra.

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 39 – Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM Committee C09 on Concrete and concrete Aggregates, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1231/C 1231M - Standard practice for use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders. ASTM Committee C09 on Concrete and concrete Aggregates, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5739: Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7680: Concreto: extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: concreto para fins estruturais - classificação por grupos de resistência. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, F. R., MOTA, J., SILVA, A., OLIVEIRA, R. Análise da Influência do Capeamento de corpos de prova Cilíndricos na Resistência à Compressão do Concreto. Anal do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. 2009.

BEZERRA, A. C. S. Influência das Variáveis de Ensaio nos Resultados de Resistência à Compressão de Concretos: uma análise experimental e computacional. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

BUCHER, H. R. E. e RODRIGUES FILHO, H. C. - Argamassas de enxofre para capeamento de corpos de prova. Seminário sobre controle de resistência do concreto, IBRACON, São Paulo, 1983.

COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 77:96 - Concreto - Preparação das bases dos corpos de prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão. CSM 05 – Comitê Setorial de Cimento e Concreto, 1996.

COUTINHO, A. S. e GONÇALVES, A. - Fabrico e propriedades do betão. Volume III, 2º Ed, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

DUARTE, J. B., GAGLIARDO, D. P., Resistência ou Desempenho: Qual aspecto mais relevante para Construções em Concreto? Notas de Aula. Centro Universitário Adventista de São Paulo. 2009.

HELENE, P., ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. (Ed) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2. p. 945-984.

LIMA, F. B. e BARBOSA, A. H. - Influência do tamanho e do tipo do corpo de prova na resistência à compressão do concreto. 44º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Belo Horizonte, 2002.

LESSARD, M. e AÏTICIN, P.C. Testing high-performance concrete. Material to Structure, London, 1992, ISBN 0419176004.

MARCO, F. F.; REGINATTO, G. M. e JACOSKI, C. A. - Estudo comparativo entre capeamento de neoprene, enxofre e pasta de cimento para corpos de prova cilíndricos de concreto. 45º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Vitória, 2003.

PATNAIK A. K. e PATNAIKUNI I. - Correlation of strength of 75 mm diameter and 100 mm diameter cylinders for high strength concrete. *Cement and Concrete Research* 32, p. 607–613, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

RUDUIT, F. R., *Resistência à Compressão de Amostras de Concreto: Comparação dos Resultados entre a Preparação de Topos com Capeamento de Enxofre e Retificação*. Trabalho de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006.

SCANDIUZZI, L. e ANDRIOLO, F. R. - *Concreto e seus materiais: propriedades e ensaios*. Pini, São Paulo, 1986.

UTAH DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / TRANSPORTATION TECHNICIAN QUALIFICATION PROGRAM. Use of unbonded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders for ASTM C 1231. *Concrete Strength Testing, UDOT/TTQP*, 2003.

UTAH DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / TRANSPORTATION TECHNICIAN QUALIFICATION PROGRAM. Capping concrete test specimens for AASHTO T 231. *Concrete Strength Testing, UDOT/TTQP*, 2005.