



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JOFRE SILVA LIMA

**Análise da Influência do Capeamento e da Geometria de Corpos-de-Prova na
Resistência à Compressão de Argamassas**

Caruaru, 2013

JOFRE SILVA LIMA

Análise da Influência do Capeamento e da Geometria de Corpos-de-Prova na Resistência à Compressão de Argamassas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Antonio Acacio de Melo Neto

Caruaru, 2013

Catálogo na fonte
Bibliotecário Aécio Oberdam CRB-4: 1895

L732a Lima, Jofre Silva.
Análise da influência do capeamento e da geometria de corpos-de-prova na resistência à compressão de argamassas/ Jofre Silva Lima - Caruaru: O Autor, 2013. 63f.; il.; 30 cm.

Orientador: Antônio Acácio de Melo Neto
Monografia – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Núcleo de Tecnologia - Curso de Engenharia Civil, 2013.
Inclui referências.

1. Argamassa. 2. Capeamento. 3. Corpos-de-prova. I. Melo Neto, Antônio Acácio de. (Orientador). II. Título.

624 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2013-117)

JOFRE SILVA LIMA

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CAPEAMENTO E DA GEOMETRIA DE
CORPOS-DE-PROVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO(A) APROVADO COM NOTA _____.

Caruaru, 27 de novembro de 2013.

Prof. Antonio Acacio de Melo Neto _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Roberto Evaristo de Oliveira Neto _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. José Moura Soares _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Elder Alpes de Vasconcelos _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos, principalmente os mais difíceis. Me guiando e mostrando sempre o melhor caminho a ser seguido.

Aos meus pais, Jailton e Lúcia, pelo apoio incondicional em todos os momentos e todas as decisões tomadas. E pelo direcionamento dado durante estes momentos e decisões. Por sempre estarem ao meu lado.

Ao meu irmão Jones, que independente da distância, sempre foi um apoio, um amigo nos melhores momentos e nos momentos mais difíceis. Pela paciência, incentivo, confiança e, acima de tudo, pelo apoio.

Aos meus avós Heleno (In Memoriam), Lourdes (In Memoriam) e Neide pelo apoio, carinho e exemplo de vida.

Ao orientador Antonio Acacio pela paciência e pelo direcionamento; e também a todos os professores por tudo que foi aprendido no decorrer destes anos, por me ajudarem na formação profissional/técnica e na formação pessoal.

Aos amigos que construí durante o decorrer do curso, que tornaram a jornada menos árdua e mais divertida. Pelas horas de estudo, pelas conversas e principalmente pelos momentos onde não foram medidos esforços para me ajudar.

Àqueles que me ajudaram nos procedimentos laboratoriais, desde os técnicos e colegas de laboratório até aqueles que apareceram uma vez ou outra e passaram apenas alguns minutos no laboratório.

RESUMO

Análise da Influência do Capeamento e da Geometria de Corpos-de-Prova na Resistência à Compressão de Argamassas

As argamassas são bastante utilizadas na construção civil. Dentre as características, a mais comumente utilizada é a resistência à compressão. O ensaio que verifica a resistência à compressão é o ensaio de compressão axial. Na literatura existem muitos estudos sobre a influência do capeamento e da geometria na resistência à compressão, no entanto a maioria destes está relacionada ao concreto. O capeamento mais utilizado para corpos-de-prova cilíndricos é feito com enxofre, embora este apresente como principal inconveniente o prejuízo à saúde e à segurança do operador. O capeamento feito com neoprene confinado é utilizado, em concretos, como uma alternativa ao capeamento feito com enxofre. A geometria prismática foi estudada por se tratar de uma alternativa prevista na atualização da NBR 13279, que alterou a geometria utilizada de cilíndrica para prismática. Para este trabalho, as faces dos corpos-de-prova cilíndricos foram preparadas pelos métodos de capeamento colado por enxofre puro, em ambas as faces; e não colado por discos de neoprene confinado, em ambas as faces e apenas na face superior. Já as faces dos corpos-de-prova prismáticos não foram submetidas a nenhum método de capeamento. De maneira geral, os corpos-de-prova cilíndricos não apresentaram diferenças estatísticas, independentemente do tipo de preparação de bases. Os corpos-de-prova cúbicos se apresentaram de forma bastante irregular, ora apresentando-se como uma solução melhor que os cilíndricos e ora apresentando-se como uma solução menos satisfatória. Os resultados em argamassas com baixa resistência são estatisticamente iguais para os tipos de preparo estudados.

Palavras-chave: Argamassa. Capeamento. Geometria. Corpos-de-Prova.

ABSTRACT

Analysis of Influence of covering and Geometry in Samples on Compressive Strength of Mortars

The mortars are widely used in construction. Among the characteristics, the most commonly used is the compressive strength. The test that determined the compressive strength is the axial compression test. In the literature there are many studies on the influence of the samples covering and the geometry in the compressive strength, however most of these are related to the concrete. The most commonly used capping bodies of the cylindrical test is done with sulfur, although this presents major inconvenient injury to health and safety of the operator. The capping is made from rubber (neoprene) with flange (helmet) metallic used in concrete as an alternative to capping with sulfur done. The prismatic geometry was studied because it is an alternative provided in NBR 13279, which changed the geometry used for the cylindrical prism. For this work, the mortars samples were prepared by the methods of capping pure sulfur -bonded on both faces; and neoprene disks confined on both sides and only the upper face. Already the faces of prismatic specimens were not subjected to any method of capping. Generally, regardless of base's preparation type, the specimens with cylindrical form did not differ statistically. The cubic specimen's results quite irregular, sometimes appearing as a better solution than the cylindrical and sometimes appearing as a less satisfactory. The results in mortars with low resistance are statistically similar to the types of preparation studied.

Key words: Mortar. Covering. Geometry. Sample.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 – Curva granulométrica da areia | 25 |
| Figura 2 – Corpo-de-prova cilíndrico capeado com enxofre sendo ensaiado..... | 29 |
| Figura 3 – Corpo-de-prova cilíndrico após o ensaio de resistência à compressão (capeamento com enxofre) | 29 |
| Figura 4 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre | 29 |
| Figura 5 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante..... | 30 |
| Figura 6 – Corpo-de-prova cilíndrico capeado com neoprene na face superior sendo ensaiado | 31 |
| Figura 7 – Corpo-de-prova cilíndrico após o ensaio de resistência à compressão (capeamento com neoprene na face superior) | 31 |
| Figura 8 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene na face superior | 31 |
| Figura 9 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante..... | 32 |
| Figura 10 – Corpo-de-prova cilíndrico capeado com neoprene em ambas as faces sendo ensaiado..... | 33 |
| Figura 11 – Corpo-de-prova cilíndrico após o ensaio de resistência à compressão (capeamento com neoprene em ambas as faces) | 33 |
| Figura 12 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces | 33 |
| Figura 13 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante..... | 34 |
| <i>Figura 14 – Corpo-de-prova cúbico sem a proteção plástica</i> | <i>35</i> |
| <i>Figura 15 – Corpo-de-prova cúbico com a proteção plástica</i> | <i>35</i> |
| Figura 16 – Corpo-de-prova cúbico após o ensaio de resistência à compressão..... | 35 |
| Figura 17 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cúbicos ... | 36 |

| | |
|---|----|
| Figura 18 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante..... | 36 |
| Figura 19 – Média das resistências à compressão a 1 dia..... | 37 |
| Figura 20 – Média das resistências à compressão aos 3 dias | 42 |
| Figura 21 – Média das resistências à compressão aos 7 dias | 47 |
| Figura 22 – Média das resistências à compressão aos 28 dias | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Classificação de Argamassas | 16 |
| Tabela 2 – Matriz Experimental | 23 |
| Tabela 3 – Composição Granulométrica da areia | 24 |
| Tabela 4 – Resistência à compressão exigida para CP II 32 | 26 |
| Tabela 5 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,48 | 38 |
| Tabela 6 – Anova para o traço 1:3:0,48 a 1 dia | 39 |
| Tabela 7 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,58 | 39 |
| Tabela 8 – Anova para o traço 1:3:0,58 a 1 dia | 40 |
| Tabela 9 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,68 | 41 |
| Tabela 10 – Anova para o traço 1:3:0,68 a 1 dia | 41 |
| Tabela 11 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 3 dias para o traço 1:3:0,48 | 43 |
| Tabela 12 – Anova para o traço 1:3:0,48 aos 3 dias | 43 |
| Tabela 13 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 3 dias para o traço 1:3:0,58 | 44 |
| Tabela 14 – Anova para o traço 1:3:0,58 aos 3 dias | 44 |
| Tabela 15 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 3 dias para o traço 1:3:0,68 | 45 |
| Tabela 16 – Anova para o traço 1:3:0,68 aos 3 dias | 46 |
| Tabela 17 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 7 dias para o traço 1:3:0,48 | 47 |
| Tabela 18 – Anova para o traço 1:3:0,48 aos 7 dias | 48 |
| Tabela 19 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 7 dias para o traço 1:3:0,58 | 49 |
| Tabela 20 – Anova para o traço 1:3:0,58 aos 7 dias | 49 |

| | |
|--|----|
| Tabela 21 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 7 dias para o traço 1:3:0,68..... | 50 |
| Tabela 22 – Anova para o traço 1:3:0,68 aos 7 dias..... | 50 |
| Tabela 23 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 28 dias para o traço 1:3:0,48..... | 51 |
| Tabela 24 – Anova para o traço 1:3:0,48 aos 28 dias..... | 52 |
| Tabela 25 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 28 dias para o traço 1:3:0,58..... | 53 |
| Tabela 26 – Anova para o traço 1:3:0,58 aos 28 dias..... | 53 |
| Tabela 27 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,68..... | 54 |
| Tabela 28 – Anova para o traço 1:3:0,68 aos 28 dias..... | 55 |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 | Histórico e Contextualização do Problema | 12 |
| 1.2 | Objetivos..... | 14 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 2.1 | Argamassa | 15 |
| 2.1.1 | Materiais Constituintes..... | 16 |
| 2.1.2 | Resistência à compressão | 18 |
| 2.2 | Ensaio de Resistência à Compressão | 19 |
| 2.2.1 | Influência da geometria e do capeamento | 19 |
| 3 | PROGRAMA EXPERIMENTAL | 23 |
| 3.1 | Matriz Experimental | 23 |
| 3.2 | Materiais Utilizados..... | 24 |
| 3.2.1 | Cimento..... | 24 |
| 3.2.2 | Agregado Miúdo | 24 |
| 3.2.3 | Água | 25 |
| 3.3 | Dosagem da argamassa | 25 |
| 3.4 | Moldagem dos corpos-de-prova | 26 |
| 3.5 | Cura dos corpos-de-prova | 26 |
| 3.6 | Ensaio de ruptura | 26 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 4.1 | Evolução da resistência com a idade..... | 28 |
| 4.1.1 | Corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre..... | 28 |
| 4.1.2 | Corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene na face superior..... | 30 |
| 4.1.3 | Corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces | 32 |
| 4.1.4 | Corpos-de-prova cúbicos | 34 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.2 | Resistência à compressão – 1 dia..... | 37 |
| 4.2.1 | Traço 1:3:0,48 | 37 |
| 4.2.2 | Traço 1:3:0,58 | 39 |
| 4.2.3 | Traço 1:3:0,68 | 40 |
| 4.3 | Resistência à compressão – 3 dias | 42 |
| 4.3.1 | Traço 1:3:0,48 | 42 |
| 4.3.2 | Traço 1:3:0,58 | 43 |
| 4.3.3 | Traço 1:3:0,68 | 45 |
| 4.4 | Resistência à compressão – 7 dias | 46 |
| 4.4.1 | Traço 1:3:0,48 | 47 |
| 4.4.2 | Traço 1:3:0,58 | 48 |
| 4.4.3 | Traço 1:3:0,68 | 49 |
| 4.5 | Resistência à compressão – 28 dias | 51 |
| 4.5.1 | Traço 1:3:0,48 | 51 |
| 4.5.2 | Traço 1:3:0,58 | 52 |
| 4.5.3 | Traço 1:3:0,68 | 54 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 56 |
| | REFERÊNCIAS | 57 |

1 INTRODUÇÃO

A NBR 7200 (1998, p.2) define argamassa como uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.”

Na escolha da argamassa devem ser observadas algumas características como impermeabilidade, aderência, durabilidade, volume constante e resistência mecânica. Dentre estes parâmetros, a resistência mecânica se mostrou como um dos mais importantes; e para que este parâmetro seja obtido, é necessário que as faces dos corpos-de-prova estejam niveladas e lisas durante o ensaio específico.

Portanto, visando contribuir para o controle tecnológico das argamassas, este trabalho busca promover a análise da influência da geometria e da técnica de nivelamento na resistência das argamassas para diferentes idades e relações água/cimento.

1.1 Histórico e Contextualização do Problema

A argamassa é um material conhecido há mais de 8 mil anos; inicialmente foi utilizada para reforçar e proteger as construções com revestimento de superfícies, antes mesmo da sua utilização entre as pedras, a fim de melhor fixa-las entre si. Inicialmente utilizou-se o barro, e então o misturou com fibras vegetais e palha, para lhe conferir maior consistência. Posteriormente, adicionou-se areia, diminuindo os inconvenientes da retração e produzindo uma argamassa mais dura e resistente. (MARTINS e ASSUNÇÃO, 2010)

Há cerca de 2000 A.C., o betume foi provavelmente muito utilizado para solidificar os componentes de alvenaria dando a ela a propriedade de evitar infiltrações, prática essa vista em muitos edifícios da Babilônia. (MARTINELLI e HELENE, 1991)

Os etruscos e egípcios utilizavam argamassas para construção de arcos, abóbadas e pirâmides cujos principais constituintes eram cal e gesso. Mais tarde, os romanos desenvolveram o histórico “concretum”, à base de cimentos naturais (cal) e cinza proveniente de lava vulcânica, baseado no conceito de “efeito pozolânico”. (MACCARI, 2010; MARTINS e ASSUNÇÃO, 2010)

Desde os romanos até o século XVIII houve pouco desenvolvimento na tecnologia das argamassas. Só em 1756 que o engenheiro britânico John Smeaton descobriu que os melhores cimentos hidráulicos eram obtidos a partir de calcário impuro. A escória dura, ou clínquer,

moída e misturada com água, produzia cimento de melhor qualidade. (MARTINS e ASSUNÇÃO, 2010)

Em 1812, o engenheiro francês Louis Vicat foi designado pra projetar uma ponte sobre o Rio Dordogne em Souillac, França. Em 1817, realizando experimentos com os materiais para construção desta mesma ponte, formulou um material com propriedades hidráulicas obtido a partir da calcinação conjunta de calcário com argila. Este produto foi, em 1824, patenteado por Joseph Aspdin, com a denominação de cimento Portland. (MARTINS e ASSUNÇÃO, 2010; LEVY e HELENE, 2002).

Iniciava-se uma nova era na construção civil com a incorporação do cimento às argamassas e aos concretos, viabilizando, a partir de então, a construção de edificações com maior número de pavimentos, pontes, viadutos e muitas outras, graças ao concreto armado.

Atualmente as argamassas são muito empregadas na construção civil. Sendo utilizadas em alvenaria de alicerces, chapisco, emboço, revestimentos, pisos, entre outros. Na escolha da argamassa devem ser observadas algumas características como impermeabilidade, aderência, durabilidade, volume constante e resistência mecânica. (MACCARI, 2010)

A resistência mecânica está relacionada com a capacidade de uma argamassa resistir aos esforços de tração, compressão ou cisalhamento, decorrentes de cargas estáticas ou dinâmicas. A característica mais comumente utilizada é a resistência à compressão. Entende-se que esta propriedade verifica a uniformidade da produção do cimento. (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004)

O ensaio que verifica a resistência à compressão é o ensaio de compressão axial. Este ensaio possui alguns detalhes que devem ser atendidos para obtenção de resultados melhores e mais verdadeiros. Um deles é que as faces do corpo-de-prova estejam niveladas e lisas para que não haja concentração de tensão. Pois devido a isto, a amostra pode romper-se com um valor menor de carga e conseqüentemente apresentar divergências entre o valor real e obtido no ensaio. (MENEZES, 2011; VIEIRA,1991)

Os corpos-de-prova prismáticos levam vantagem sobre os cilíndricos, uma vez que nos primeiros há maior facilidade em se obter pelo menos duas faces paralelas. Para os cilíndricos, se faz necessário a utilização de alguma técnica que proporcione o nivelamento da superfície sem comprometer a resistência final da amostra. (BARBOSA et al., 2009; MENEZES, 2011; VIEIRA,1991)

Atualmente, para corpos-de-prova cilíndricos, o tipo de nivelamento mais utilizado é o capeamento feito com enxofre. Este tipo de capeamento tem como principais desvantagens o perigo ao meio ambiente e às pessoas que o utilizam devido aos gases provenientes da fusão

do enxofre; má aderência junto à superfície e variação da resistência do enxofre, devido à entrada de materiais estranhos durante a operação. (BEZERRA, 2007; VIEIRA, 1991)

A utilização de neoprene com reforço metálico apresentaria resultados próximos ao do capeamento com enxofre. Porém, devido ao seu custo elevado e o cuidado que se deve ter ao conservá-lo, é uma alternativa que nem sempre é utilizada. (RUDUIT, 2006)

1.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

- Avaliar a influência da técnica de nivelamento do corpo-de-prova com uso de enxofre puro nos resultados de ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa.
- Avaliar a influência da técnica de nivelamento do corpo-de-prova com uso de borracha de neoprene confinado nos resultados de ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de argamassa.
- Avaliar a influência da geometria do corpo-de-prova com uso de corpos-de-prova prismáticos nos resultados de ensaio de resistência à compressão em corpos-de-prova de argamassa.
- Determinar qual técnica é a mais indicada para corpos-de-prova de argamassa nos traços 1:3:0,48; 1:3:0,58 e 1:3:0,68 (em massa) para as idades de 1, 3, 7 e 28 dias.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Argamassa

A NBR 7200 (1998, p.2) define argamassa como uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.”

Aglomerantes são materiais que unem os grãos do material inerte (agregado). São os elementos ativos da argamassa, ou seja, os que sofrem as reações químicas. Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, o mais utilizado em argamassas é a areia de rio, com dimensão máxima de até 4,8mm. (BAUER, 2008; DUBAJ, 2000; MACCARI, 2010)

As argamassas mais utilizadas são aquelas cujos aglomerantes são cal aérea, cimento e as mistas. Argamassas de gesso são utilizadas apenas para decoração, enquanto as argamassas de cal hidráulica não são utilizadas. (FIORITO, 1994; PETRUCCI, 2003)

A destinação das argamassas determina qual o tipo de aglomerante ou qual a mistura de diferentes tipos de aglomerante utilizado. As argamassas de cal são utilizadas para emboço e reboco; as argamassas de cimento são utilizadas em alvenarias de alicerces, chapisco, reservatórios de água; ou seja, locais onde se exige uma resistência mecânica e ao desgaste ou locais onde as condições de impermeabilidade são exigíveis; e as de cal e cimento são utilizadas no assentamento de revestimentos e contrapisos. (FIORITO, 1994)

Uma boa argamassa deve atender a diversas condições, como: resistência mecânica, compactidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade. A importância destas condições depende de fatores como quantidade e qualidade do aglomerado e do agregado e quantidade de água. (PETRUCCI, 2003)

A NBR 13281 (ABNT, 2001) classifica as argamassas de acordo com a sua resistência à compressão, capacidade de retenção de água e teor de água incorporada. Conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de Argamassas

| Características | Identificação | Limites |
|---|----------------------|-------------------------|
| Resistência à compressão aos 28 dias (MPa) | I | $> 0,1$ e $< 4,0$ |
| | II | $\geq 4,0$ e $\leq 8,0$ |
| | III | $> 8,0$ |
| Capacidade de retenção de água (%) | Normal | ≥ 80 e ≤ 90 |
| | Alta | > 90 |
| Teor de ar incorporado (%) | a | < 8 |
| | b | ≥ 8 e ≤ 18 |
| | c | > 18 |

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2001)

Dentre as propriedades das argamassas, uma das mais importantes é a resistência mecânica. Que consiste na sua capacidade de resistir a esforços de tração, compressão e cisalhamento, decorrentes de cargas estáticas ou dinâmicas atuantes nas edificações, ou decorrente de condições ambientais. A resistência à compressão é a mais comumente utilizada, pois esta característica verifica a uniformidade da produção. No entanto esta característica estaria mais associada às argamassas de assentamento pela forma à qual esta vai ser solicitada no sistema de vedação. (DUBAJ, 2000; NAKAKURA e CINCOTTO, 2004)

2.1.1 Materiais Constituintes

Conhecer a origem e estrutura dos materiais dos quais as argamassas são constituídas é indispensável para que se possa ter um conhecimento mais aprofundado das suas características.

A argamassa é composta por cimento, areia e água; podendo conter cal, aditivos e adições. Cada um destes materiais apresenta características próprias que interferem nas propriedades da argamassa.

2.1.1.1 Areia

A areia precisa ter grãos formados de material consistente. Para preparar as argamassas nas obras, costumava-se secar a areia espalhando em finas camadas ao sol e peneirando-a. Estando, portanto, limpa, livre de torrões de argila, galhos, folhas e raízes ou qualquer outro tipo de matéria orgânica. (BAUER, 2008; MACCARI, 2010)

O agregado tem como funções principais a redução do consumo de aglomerante, o aumento da resistência à compressão e a diminuição da retração da argamassa. No entanto, para cumprir adequadamente estas funções, deve possuir uma granulometria contínua. Tendo, portanto, um maior índice de vazios, o que leva a um menor consumo de aglomerantes. (DUBAJ, 2000)

A areia nas argamassas tem função econômica e tecnológica. Econômica porque geralmente é mais barata que os aglomerantes e tecnológica pois contribui para otimizar as propriedades das argamassas, a durabilidade e a textura final dos revestimentos. (DUBAJ, 2000)

2.1.1.2 Cimento

Cimento é um pó fino; composto por calcário, argila, gesso e possíveis adições; que em contato com a água tem propriedade de unir firmemente diversos tipos de materiais. Depois de endurecido, ele não se decompõe mais, mesmo que seja submetido novamente à ação da água. (FREIRE e BERALDO, 2003)

O cimento é o responsável pela ligação das partículas do agregado. Ele endurece na presença de água. É utilizado em argamassas pela sua capacidade de resistir à ação da água, conferir resistência mecânica e é o principal responsável pela aderência. (DUBAJ, 2000)

Devido ao seu alto custo energético de produção, foram incorporados diversos materiais que aumentaram a qualidade do produto e diminuíram seu custo. Assim surgiram os diferentes tipos de cimentos. Eles são normatizados pela ABNT e podem ser utilizados em obras sem restrições, entre eles estão (CHIES, 2011; DUBAJ, 2000):

- Cimento Portland comum (CP I, CP I S): cimento de uso geral;
- Cimento Portland composto (CP II E, CP II Z, CP II F): tem adições de escória, pozolana e fíler, respectivamente;
- Cimento Portland de alto forno (CP III): possui pega mais lenta que os cimentos anteriores, porém alcançando maiores resistências mecânicas em idades mais avançadas;
- Cimento Portland pozolânico (CP IV): tem propriedades físicas iguais ao CP III;
- Cimento Portland de alta resistência inicial (CP V ARI): atinge altas resistências mecânicas em curto prazo, mas desenvolve muito calor de hidratação.

2.1.1.3 Água

A água de amassamento deve estar livre de impurezas, como matéria orgânica, resíduos sólidos, açúcares e íons cloreto e sulfato. Supõe-se que a água proveniente do abastecimento público atenda a estes requisitos. (FREIRE e BERALDO, 2003)

2.1.2 Resistência à compressão

Resistência de um material é a sua capacidade de resistir a algum tipo de tensão sem se romper. A resistência mecânica das argamassas está relacionada com a sua capacidade de resistir a esforços de tração, compressão ou cisalhamento, advindas de cargas estáticas e dinâmicas atuantes nas edificações ou decorrentes de efeitos ambientais. (CHIES, 2011; NAKAKURA e CINCOTTO, 2004)

A resistência nas argamassas varia conforme os seguintes fatores: traço, granulometria do agregado, quantidade de água, compactação da massa e modo de lançamento, condições de temperatura e umidade. (MACCARI, 2010)

A resistência mecânica está mais relacionada com a sua capacidade de resistir à abrasão superficial, impacto, tração e cisalhamento do que a capacidade de resistência à compressão. No entanto, por esta última ser de fácil avaliação e estar estatisticamente ligada às demais propriedades do revestimento endurecido, é a propriedade que melhor representa a resistência mecânica das argamassas. Sendo, portanto, importante para o controle da qualidade do cimento e adotada para argamassa, verifica a uniformidade da produção. (DUBAJ, 2000; NAKAKURA e CINCOTTO, 2004)

Para a obtenção da resistência à compressão, são moldados corpos-de-prova específicos para este fim, onde este parâmetro é obtido por meio de ensaios de compressão uniaxial. (BARBOSA et. al., 2009)

2.1.2.1 Relação água/cimento

A relação a/c tem considerável importância e está relacionada diretamente com a resistência mecânica de uma argamassa. Os fatores que influenciam esta relação são: consumo do agregado seco em relação ao consumo de cimento, a consistência conferida à argamassa e o tipo de agregado. (MACCARI, 2010)

2.1.2.2 Idade

A resistência à compressão das argamassas se inicia com o endurecimento e aumenta continuamente com o tempo. (MACCARI, 2010)

2.2 Ensaio de Resistência à Compressão

A resistência à compressão pode ser alterada por diversos fatores, como geometria, dimensões, grau de adensamento, tipo de molde, processo de cura e forma de preparação do topo. Além daqueles relacionados com a execução do ensaio. (BARBOSA et. al., 2009)

2.2.1 Influência da geometria e do capeamento

De acordo com a NBR 13279 (1995), os corpos-de-prova deveriam apresentar a geometria cilíndrica de 5x10cm. Com as modificações na norma, NBR 13279 (2005), estes passaram a ser prismáticos de 4x4x16cm.

A grande vantagem da geometria prismática está no fato de possibilitar que, através do mesmo corpo-de-prova, obtenha-se a resistência à tração na flexão e então com as metades obtidas neste primeiro ensaio, à resistência à compressão, através de dois cubos de 4x4x4cm. (SILVA et. al., 2006)

Um fator importante quando se comparam corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos, está na relação entre a base e a altura do corpo-de-prova. Nos cilíndricos, esta relação é igual a 2; enquanto nos cúbicos é igual a 1. No caso do concreto, existe um consenso na literatura quanto ao fato de que ao se reduzir a relação altura/base dos corpos-de-prova de 2 para 1, a resistência à compressão aumenta em até 20%. É esperado, portanto, que a alteração desta relação em argamassas pudesse resultar em diferentes valores de resistência à compressão. (SILVA et. al., 2006)

SILVA et. al. (2006) concluiu que não haveria diferenças significativas entre os corpos-de-prova cilíndricos e os prismáticos. Enquanto MOHAMAD (2009) encontrou um paralelismo entre as duas geometrias e que a proporção entre a resistência da amostra cilíndrica em função da cúbica era igual a 0,70.

Para execução do ensaio de compressão axial é necessário que as superfícies onde se aplicam as cargas estejam paralelas, planas e lisas; de modo que o carregamento seja distribuído uniformemente. Nesse aspecto, os corpos-de-prova cúbicos levam vantagem sobre

os cilíndricos, uma vez que nos primeiros há uma facilidade de se obter duas faces paralelas entre as quatro faces que podem ser ensaiadas. Pequenas irregularidades na superfície já são suficientes para que o carregamento não seja distribuído uniformemente, diminuindo a resistência do corpo-de-prova e, portanto, não representando a resistência real da argamassa. (BARBOSA et. al., 2009)

Para se garantir a boa transferência do carregamento entre a prensa e o corpo-de-prova, as superfícies dos corpos-de-prova cilíndricos devem receber tratamento para que fiquem planas, ortogonais ao longo do eixo longitudinal e isentas de partículas, como um grão de areia, que possa concentrar cargas e reduzir o resultado. A limpeza é simples e pode ser feita com uma escova ou um pano antes de se colocar a amostra na prensa. Já para se garantir esta planicidade entre as superfícies das amostras, é usualmente necessária a preparação das superfícies ou bases. (RUDUIT, 2006; VIEIRA, 1991)

Dentre todos os cuidados e procedimentos para ensaio de compressão axial, a preparação das bases é uma das mais relevantes, pois é por elas que o corpo-de-prova recebe as tensões exercidas pela máquina do ensaio. (CHIES, 2011)

Existem dois tipos de sistemas de capeamento: os colados e os não colados. Os sistemas colados são aqueles que utilizam materiais que formam uma camada regular que adere física ou quimicamente à superfície do corpo-de-prova. Como exemplo deste tipo de preparação de superfície, temos o capeamento com enxofre puro. A NBR 13279 (1995) e demais normas que utilizam corpos-de-prova cilíndricos recomendam este tipo de preparação de base. Porém a sua utilização traz danos ao ser humano e ao meio ambiente. (BARBOSA et. al., 2009)

Os sistemas não colados caracterizam-se pela utilização de um material como almofada para as bases do corpo-de-prova, podendo este material estar confinado ou não. Como exemplo, temos o neoprene confinado em uma base metálica.

2.2.1.1 Capeamento com Enxofre

Por ser resistente e com ótimo acabamento quando solidificado e de fácil e rápido derretimento, o enxofre derretido é considerado o melhor material para capeamento. Outra grande vantagem é a possibilidade do seu reaproveitamento, pois pode ser removido com certa facilidade do topo dos corpos-de-prova logo após seu ensaio e posteriormente derretido novamente. (RUDUIT, 2006)

Além do mencionado anteriormente, o uso do capeamento tem como outras vantagens o endurecimento rápido, alta produtividade, boa aderência, envolver com facilidade todos os

defeitos dos corpos-de-prova e elevada resistência à compressão às primeiras horas de idade. (BEZERRA, 2007; RUDIT, 2006)

O capeamento com enxofre deve ser executado da seguinte maneira (MENEZES, 2011):

- Deve-se utilizar um dispositivo auxiliar, denominado capeador que garanta a ortogonalidade com o eixo longitudinal;
- A superfície resultante deve ser lisa, isenta de risco ou vazios e não ter falhas de planicidade;
- A espessura da camada de capeamento não deve exceder 3mm.

O principal inconveniente do capeamento com enxofre é a liberação do gás sulfídrico durante a fusão do enxofre em pó quando contaminado com materiais orgânicos, como parafina e óleos. Pode ocorrer também a formação do ácido sulfúrico. Devido à liberação do gás e a possível produção do ácido sulfúrico, há o perigo de intoxicação e agressão ao meio ambiente. Por isto, é aconselhável que o recipiente de derretimento esteja dentro de uma capela de exaustão com as emissões esgotadas para fora do ambiente para impedir o acúmulo do gás. (BARBOSA et. al., 2009; BEZERRA, 2007; VIEIRA, 1991)

O gás dióxido de enxofre (SO_2), formado como produto da combustão do enxofre, é altamente tóxico e irritante para as vias respiratórias. Os sintomas de sua inalação vão desde uma simples tosse até a morte. Esse gás é perigoso porque, ao se combinar com o oxigênio e a água, forma o ácido sulfúrico. Na fusão do enxofre, devido às impurezas dos hidrocarbonetos, há a liberação do gás sulfídrico ou sulfeto de hidrogênio (H_2S) que só é gerado em temperaturas acima dos 120°C . Este é um gás altamente tóxico, incolor, que forma uma mistura explosiva com o ar, possui cheiro de ovo podre em baixas concentrações e inibe o olfato em altas concentrações. (BEZERRA, 2007)

Além do apresentado acima, este tipo de preparação de superfície apresenta outros inconvenientes, como (VIEIRA, 1991):

- Queimaduras provocadas pelo seu manuseio, devido às altas temperaturas do enxofre;
- Rachaduras do capeamento, na desforma do corpo-de-prova;
- Quebra das beiradas do capeamento já endurecido, durante o transporte e o manuseio do corpo-de-prova até o local do ensaio;
- Variações de espessura na camada de capeamento;
- Descentralização do corpo-de-prova em relação ao capeamento;

- Gasto de energia elétrica e gás combustível;
- Tempo de mão de obra gasto, na preparação e aplicação do material;
- Má aderência do capeamento junto à superfície, provocada pela ocorrência de vazios na interface.

2.2.1.2 Capeamento com Borracha de Neoprene

O capeamento com almofadas elastoméricas está sendo amplamente utilizado no Brasil e no mundo, mas ainda existem poucos estudos a respeito do seu emprego. O principal elastômero utilizado tem sido o Policloroprene, comercialmente conhecido como Neoprene. Pode ser utilizado na forma não confinada ou confinada. Contudo, a primeira apresenta inconsistências nos resultados quando comparada com o enxofre. Por isso, o capeamento por borracha de neoprene confinada é mais usual; para o confinamento é utilizada uma base metálica, cuja função é restringir a deformação lateral do elastômero. (BARBOSA et. al., 2009; BEZERRA, 2007)

O capeamento com almofadas de neoprene confinadas é composto por um par de almofadas e um par de bases metálicas com anel que envolve a almofada de neoprene. A este conjunto dá-se o nome de capeador elastomérico; onde a base metálica pode ser reaproveitada e a borracha pode ser reutilizada até mil vezes, sendo a parte descartável do sistema. (BEZERRA, 2007)

Deve-se ter cuidado com os corpos-de-prova ensaiados com borracha de neoprene, pois a ruptura é mais violenta se comparada com aqueles ensaiados com capeamentos colados, como o enxofre, e devem ser tomadas precauções para evitar acidentes. Isso ocorre devido ao fato dos capeamentos elastoméricos absorverem mais energia de deformação. (BEZERRA, 2007)

VIEIRA (1991) concluiu que, embora os corpos-de-prova de concreto estivessem com defeitos por moldagem deficiente e/ou transporte inadequado, o capeamento elastomérico apresentou bons resultados; enfatizou o fato de que a implementação deste sistema de capeamento resultou numa economia de 60% sobre os custos e tempo gastos na preparação dos corpos-de-prova.

3 Programa Experimental

Para dar continuidade ao trabalho, depois de feita a revisão bibliográfica e toda a compreensão da questão de pesquisa, foi criado um programa experimental e traz um maior detalhamento de todas as variáveis e aspectos de cada etapa. Para que o objetivo pudesse ser alcançado, foram moldadas argamassas com diferentes traços e idades, de acordo com a NBR7215 (ABNT, 1996). Neste trabalho utilizam-se sendo três quartos das misturas em fôrmas cilíndricas e um quarto em fôrmas prismáticas. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco.

3.1 Matriz Experimental

As faces dos corpos-de-prova cilíndricos foram preparadas pelos métodos de capeamento colado por enxofre puro, em ambas as faces; e não colado por discos de neoprene confinado, em ambas as faces e apenas na face superior. Já as faces dos corpos-de-prova prismáticos não foram submetidas a nenhum método de capeamento.

Todos os corpos-de-prova foram moldados, preparados e ensaiados pelos mesmos equipamentos e operadores, para que se pudesse analisar de maneira isolada a influência da geometria e do método de capeamento. A Tabela 2 mostra a matriz experimental definida. Onde E designa o capeamento com enxofre puro, N2 o capeamento com borracha de neoprene em ambas as faces e N o capeamento com borracha de neoprene apenas na face superior.

Tabela 2 – Matriz Experimental

| | | Geometria | | | | Prismática |
|----------|---------------|---------------------------------|----|---------------|-----|------------|
| | | Cilíndrica | | | | |
| | | Métodos de Preparação das faces | | | | |
| Traços | Idades (dias) | E | N2 | N | | |
| 1:3:0,48 | 1 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 3 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 7 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 28 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| 1:3:0,58 | 1 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 3 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 7 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 28 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| 1:3:0,68 | 1 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 3 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 7 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | 28 | 9 | 9 | 9 | 6 | |
| | | | | TOTAL: | 396 | |

3.2 Materiais Utilizados

Este capítulo tem o objetivo de apresentar todos os materiais e suas respectivas características, que foram essenciais para garantir um bom andamento nas moldagens dos corpos-de-prova.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado foi o CPII-F, Cimento Portland composto com Fíler, pois o mesmo é um dos cimentos mais utilizados na região e se comporta de maneira semelhante, quanto à resistência, aos tipos de cimentos mais comuns no país.

3.2.2 Agregado Miúdo

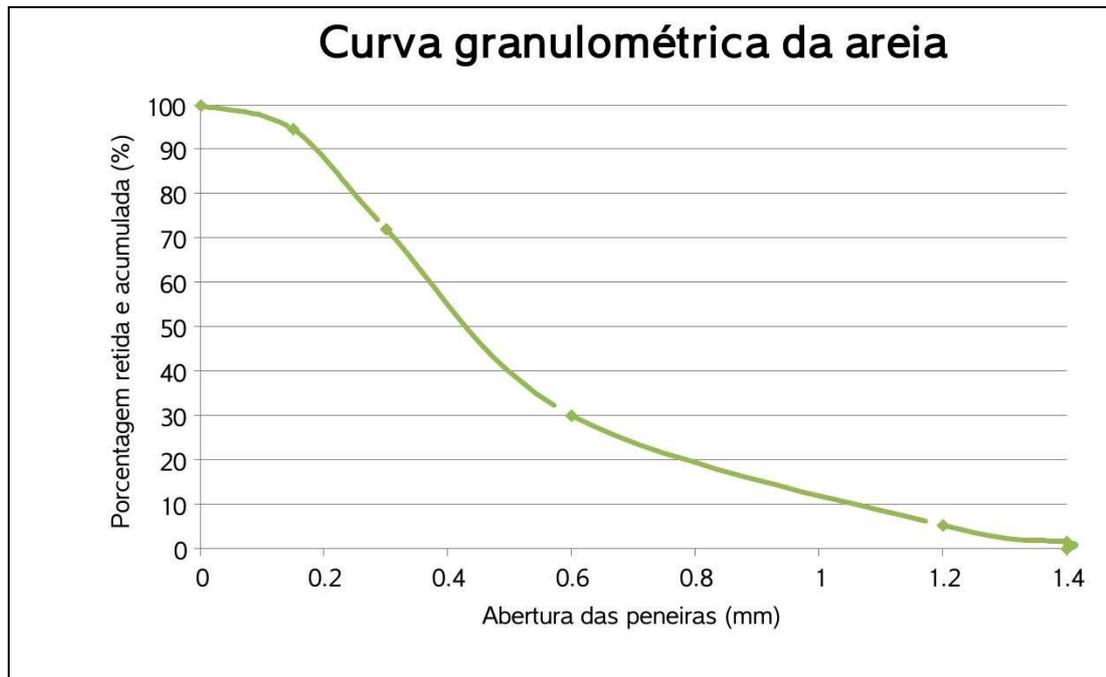
O agregado miúdo utilizado para a elaboração das argamassas desta pesquisa foi proveniente de um areal na cidade de Caruaru, localizada no agreste do estado de Pernambuco, e teve suas características granulométricas obtidas em laboratório através do ensaio recomendado pela NBR 7214 (ABNT, 1982). A Figura 1 e a Tabela 3 apresentam os resultados deste ensaio.

Tabela 3 – Composição Granulométrica da areia

| Peneira (#) | AREIA | | |
|-------------|------------------|------------------------|------------------------------------|
| | Massa retida (g) | Porcentagem retida (%) | Porcentagem retida e acumulada (%) |
| 4,8 mm | 0 | 0 | 0 |
| 2,4 mm | 18,2 | 1,63 | 1,63 |
| 1,2 mm | 42,6 | 3,8 | 5,43 |
| 0,6 mm | 278 | 24,82 | 30,25 |
| 0,3 mm | 470,4 | 42 | 72,25 |
| 0,15 mm | 252,4 | 22,54 | 94,79 |
| Fundo | 58,4 | 5,21 | 100 |
| Total | 1120 | 100 | |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 1 – Curva granulométrica da areia



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.3 Água

A água empregada na confecção das argamassas para o ensaio prescrito foi água potável fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa).

3.3 Dosagem da argamassa

Foram escolhidos três traços distintos, para quatro idades diferentes, a fim de abranger o maior intervalo de resistências possível. Foi escolhido o traço de 1:3:0,48 (em massa) por ser o traço utilizado para determinação da resistência à compressão do cimento, pela NBR 7215 (1996) e ter suas resistências esperadas preconizadas na NBR 11578 (1991) e a Tabela 4 mostra os resultados esperados para este traço. A utilização deste traço serve para averiguação da qualidade dos corpos-de-prova produzidos. Foram escolhidos mais dois traços com relação a/c maior, com o intuito de encontrar amostras com resistência à compressão menor e mais próxima da utilizada usualmente.

Tabela 4 – Resistência à compressão exigida para CP II 32

| | Resistência à compressão (MPa) |
|---------|--------------------------------|
| 3 dias | $\geq 10,0$ |
| 7 dias | $\geq 20,0$ |
| 28 dias | $\geq 32,0$ |

Fonte: adaptado da NBR 11578 (ABNT, 1991)

3.4 Moldagem dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova cilíndricos foram moldados de acordo com a NBR 7215 (1996), enquanto os prismáticos foram moldados de acordo com a NBR 13279 (2005). Foi feito adensamento mecânico, a fim de retirar a influência que o operador pudesse ter durante este processo. As amostras foram moldadas em três bateladas por traço para os corpos-de-prova cilíndricos e uma batelada para os corpos-de-prova prismáticos.

3.5 Cura dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova foram curados por 24h ao ar, à temperatura ambiente ($23 \pm 2^\circ\text{C}$), desmoldados e imersos em um tanque com água saturada com cal até a idade de ruptura; com exceção daqueles com a idade de 1 dia, onde não se fez necessário a imersão. Os corpos-de-prova foram retirados do tanque com algum tempo de antecedência, de acordo com o solicitado nas referidas normas.

3.6 Ensaio de ruptura

Os corpos-de-prova cilíndricos foram rompidos de acordo com a NBR 7215 (1996), onde dentre os 27 corpos-de-prova foram escolhidos de forma aleatória 9 para cada tipo de capeamento, a fim de eliminar quaisquer influência que a mistura teria sobre o resultado. Foram todos rompidos em uma prensa hidráulica de 20 toneladas (Fabricante Solotest) pelo mesmo operador.

3.7 Análise dos resultados

Para a análise dos resultados foram usados métodos bastantes difundidos para este tipo de estudo, onde há a comparação de resultados alterando apenas uma das variáveis de estudo. Inicialmente foi feita a média aritmética e desvio padrão para todas as misturas para os diferentes tipos de geometrias/capeamentos e então foram feitos testes de comparação entre média.

Os testes de comparação de média utilizados foram a Análise de Variância (ANOVA) e os testes de diferença entre médias (Teste de Duncan e Tukey). Enquanto a análise de variância avalia a amostra como um todo, para concluir se toda a amostra, independente do capeamento/geometria; os testes de diferença entre médias comparam grupo de amostras em pares, concluindo se os pares de misturas se comportam de maneira semelhantes.

Os testes de Duncan e Tukey são semelhantes. Porém, devido à sua formulação matemática, o teste de Duncan se mostra mais sensível à pequenas alterações entre as misturas que o teste de Tukey.

O cálculo das médias e desvios-padrão e todos os gráficos foram feitos com auxílio do software Microsoft Excel[®]. A tabela contendo a análise de variância e os testes de diferença entre médias foi feita com auxílio do software Minitab[®].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Evolução da resistência com a idade

A resistência à compressão aumenta de acordo com a idade do corpo-de-prova, ou seja, idades maiores resultam em resistências maiores. À medida que a relação água/cimento aumenta, há um decréscimo da resistência à compressão nas argamassas. Ambas as relações são esperadas (Figura 4, Figura 8, Figura 12 e Figura 17).

Fica evidente que a evolução da resistência à compressão, em relação à idade, graficamente, apresenta uma similaridade; independentemente do traço escolhido ou do tipo de geometria/capeamento. Isso fica claro se observadas as Figuras 5, 9, 13 e 19.

O tipo de capeamento ou geometria modifica o tipo de ruptura, alguns tipos de capeamento apresentaram a ruptura mais violenta que os demais, demandando mais cuidado durante a execução do ensaio. Isso pode indicar que a forma de distribuição de tensões nas amostras modificou-se a cada tipo de capeamento ou geometria.

4.1.1 Corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre

Os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre (Figura 3) apresentaram ruptura mais branda que os capeados com neoprene; e apresentaram uma ruptura ligeiramente mais violenta que o corpo-de-prova cúbico.

Figura 2 – Corpo-de-prova cilíndrico capeado com enxofre sendo ensaiado



Fonte: foto tirada pelo autor

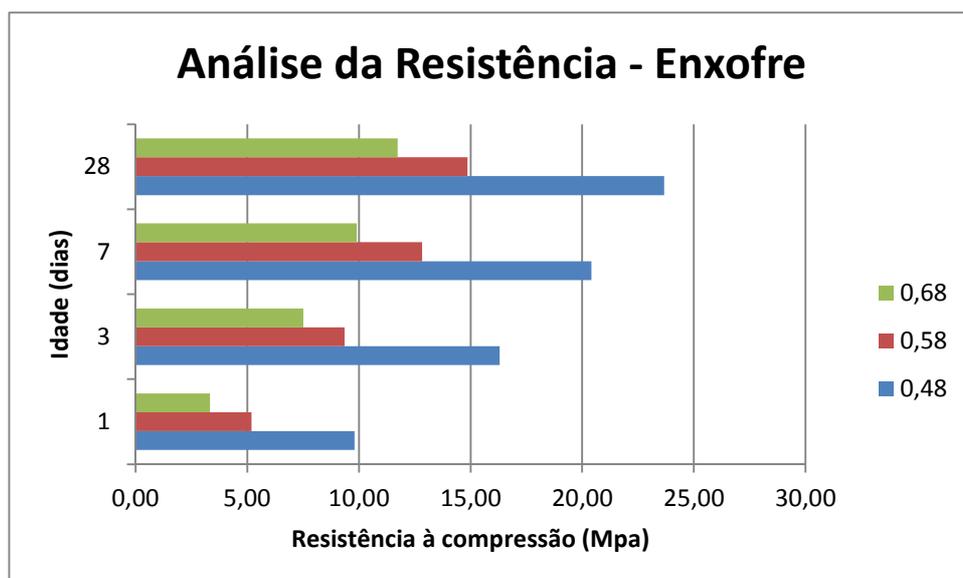
Figura 3 – Corpo-de-prova cilíndrico após o ensaio de resistência à compressão (capeamento com enxofre)



Fonte: foto tirada pelo autor

A média das resistências à compressão (Figura 4) se apresenta conforme o esperado, ou seja, aumentando de acordo com o aumento idade e diminuindo com o aumento da relação água/cimento.

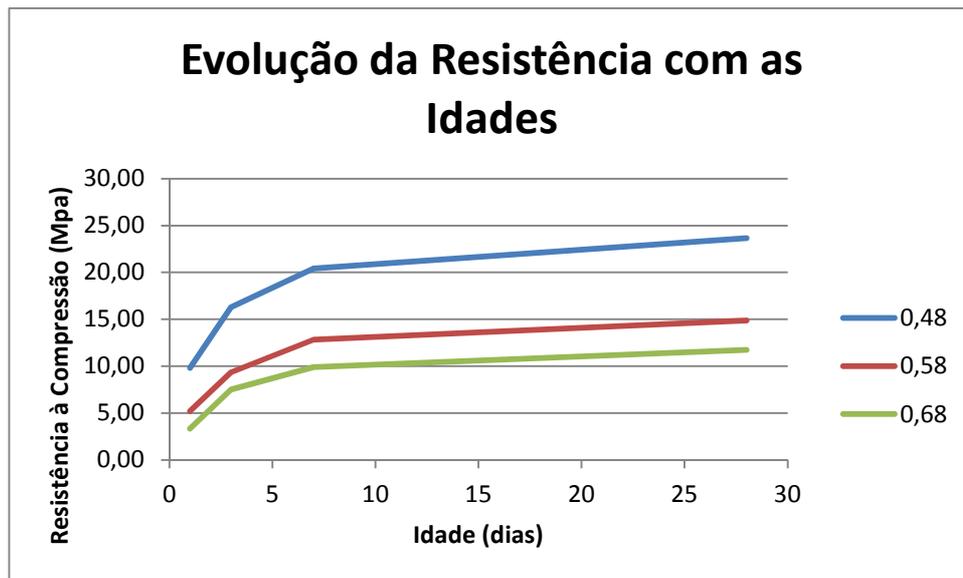
Figura 4 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre



Fonte: Elaborado pelo autor

A evolução da resistência à compressão (Figura 5) apresenta-se de forma coerente, com a mesma inclinação do gráfico para as diferentes relações água/cimento, indicando que o aumento da resistência à compressão se comporta de maneira semelhante para o capeamento feito com enxofre.

Figura 5 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2 Corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene na face superior

Os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene apenas na face superior apresentaram ruptura mais violenta que os capeados com enxofre e os cúbicos; e apresentaram uma ruptura ligeiramente mais branda que o corpo-de-prova capeado com neoprene em ambas as faces. Conforme indicado na literatura, que os capeamentos elastoméricos absorveriam mais energia de deformação que o enxofre.

Figura 6 – Corpo-de-prova cilíndrico capeado com neoprene na face superior sendo ensaiado



Fonte: foto tirada pelo autor

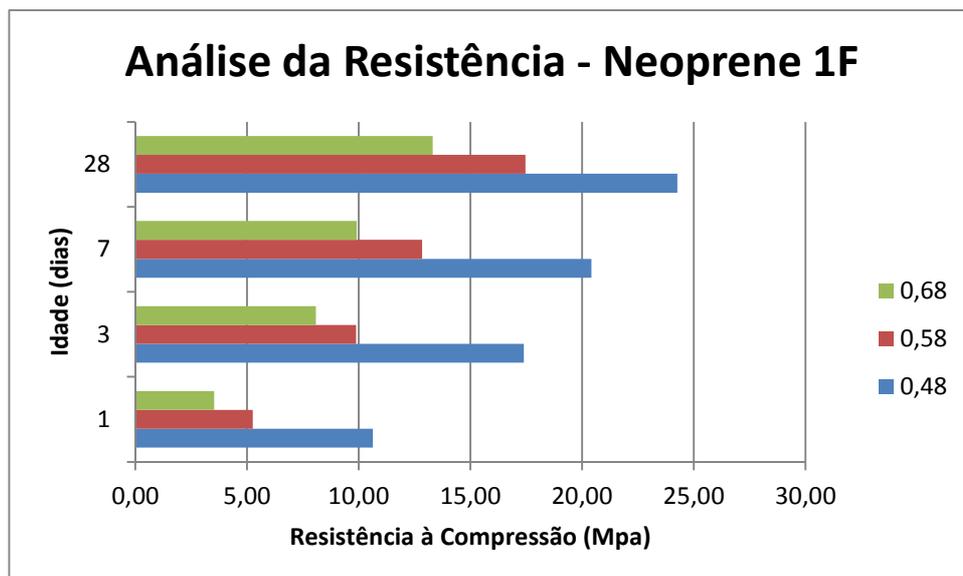
Figura 7 – Corpo-de-prova cilíndrico após o ensaio de resistência à compressão (capeamento com neoprene na face superior)



Fonte: foto tirada pelo autor

A média das resistências à compressão (Figura 8) se apresenta conforme o esperado, ou seja, aumentando de acordo com o aumento da idade e diminuindo com o aumento da relação água/cimento.

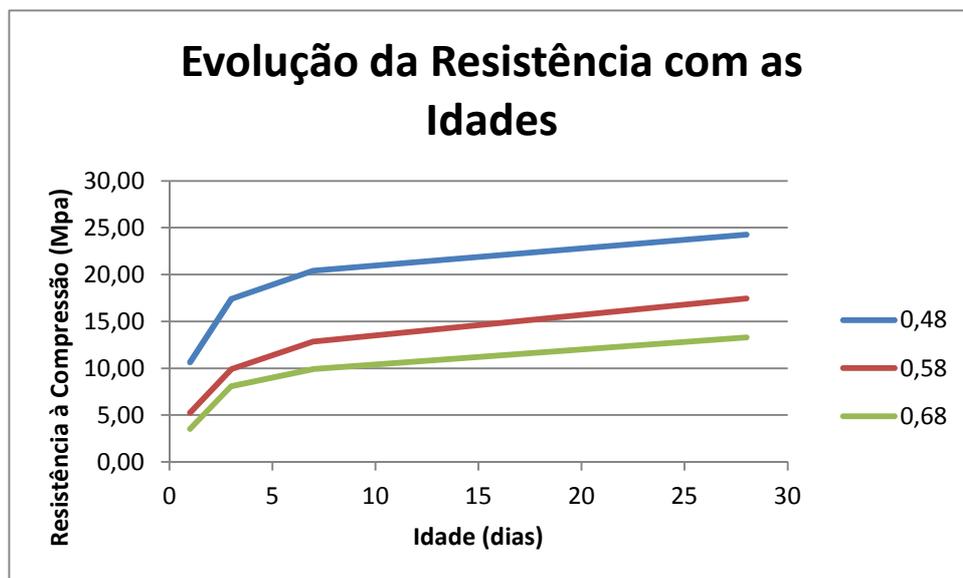
Figura 8 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene na face superior



Fonte: Elaborado pelo autor

A evolução da resistência à compressão (Figura 9) apresenta-se de forma coerente, com a mesma inclinação do gráfico para as diferentes relações água/cimento, indicando que o aumento da resistência à compressão se comporta de maneira semelhante para o capeamento com neoprene na face superior.

Figura 9 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.3 Corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces

Os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces apresentaram a ruptura mais violenta dentre os casos estudados (Figura 11), indicando a necessidade de certo cuidado para argamassas com resistência à compressão superior àquelas encontradas durante este trabalho. No momento da ruptura, pode ocorrer o desprendimento de partes dos corpos-de-prova, e em alguns casos, atingir o operador.

Figura 10 – Corpo-de-prova cilíndrico capeado com neoprene em ambas as faces sendo ensaiado



Fonte: foto tirada pelo autor

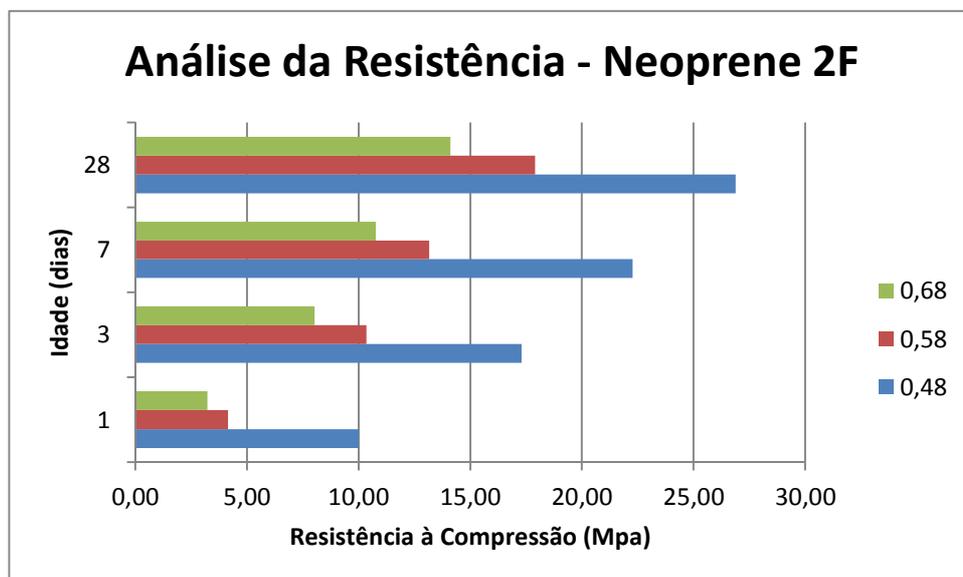
Figura 11 – Corpo-de-prova cilíndrico após o ensaio de resistência à compressão (capeamento com neoprene em ambas as faces)



Fonte: foto tirada pelo autor

A média das resistências à compressão (Figura 12) se apresenta conforme o esperado, ou seja, aumentando de acordo com o aumento idade e diminuindo com o aumento da relação água/cimento.

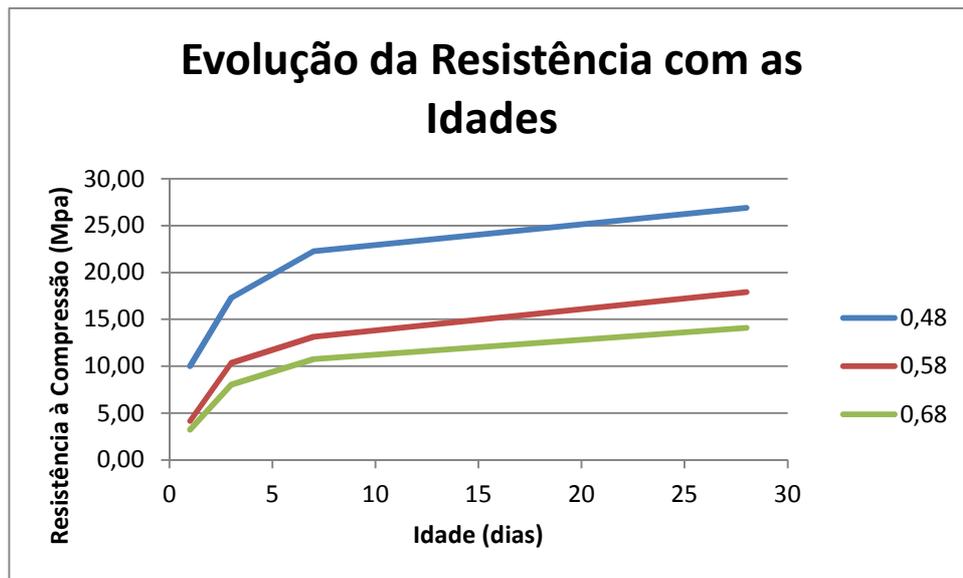
Figura 12 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces



Fonte: Elaborado pelo autor

A evolução da resistência à compressão (Figura 13) apresenta-se de forma coerente, com a mesma inclinação do gráfico para as diferentes relações água/cimento, indicando que o aumento da resistência à compressão se comporta de maneira semelhante para o capeamento com neoprene em ambas as faces.

Figura 13 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.4 Corpos-de-prova cúbicos

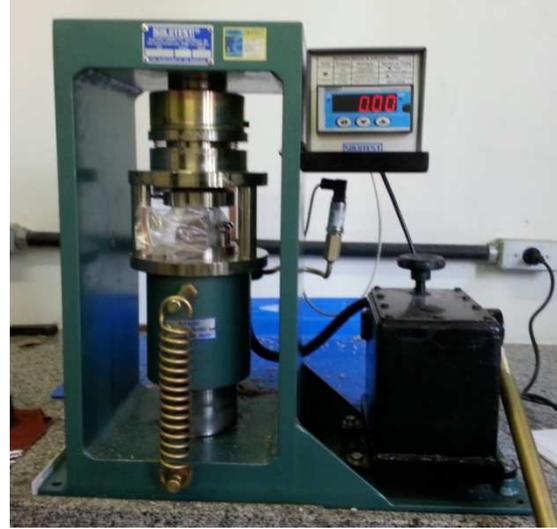
Os corpos-de-prova cúbicos apresentaram a ruptura mais branda dentre os casos estudados, indicando que qualquer material colocado no corpo-de-prova absorveria alguma energia daquela aplicada. A forma de ruptura do corpo-de-prova apresenta um desprendimento muito fácil de pequenos grãos (Figura 16), o que tornou necessário a sua proteção com um material plástico (Figura 14 e Figura 15).

Figura 14 – Corpo-de-prova cúbico sem a proteção plástica



Fonte: foto retirada pelo autor

Figura 15 – Corpo-de-prova cúbico com a proteção plástica



Fonte: foto retirada pelo autor

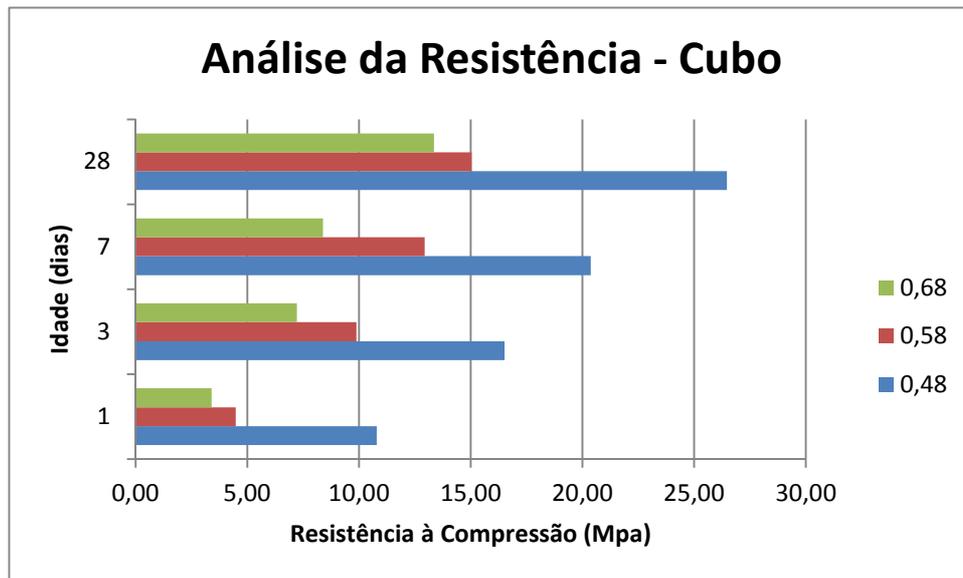
Figura 16 – Corpo-de-prova cúbico após o ensaio de resistência à compressão



Fonte: foto tirada pelo autor

A média das resistências à compressão (Figura 17) se apresenta conforme o esperado, ou seja, aumentando de acordo com o aumento idade e diminuindo com o aumento da relação água/cimento.

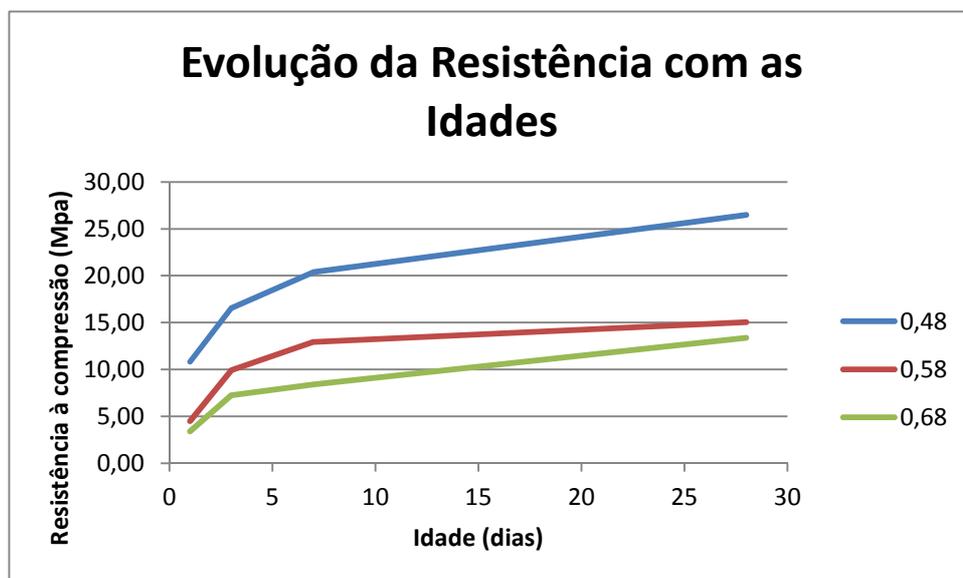
Figura 17 – Média das resistências à compressão para os corpos-de-prova cúbicos



Fonte: Elaborado pelo autor

A evolução da resistência à compressão (Figura 9) apresenta-se de forma coerente, com a mesma inclinação do gráfico para as diferentes relações água/cimento, indicando que o aumento da resistência à compressão se comporta de maneira semelhante para os corpos-de-prova cúbicos.

Figura 18 – Evolução da resistência à compressão com as idades para diferentes relações água/aglomerante



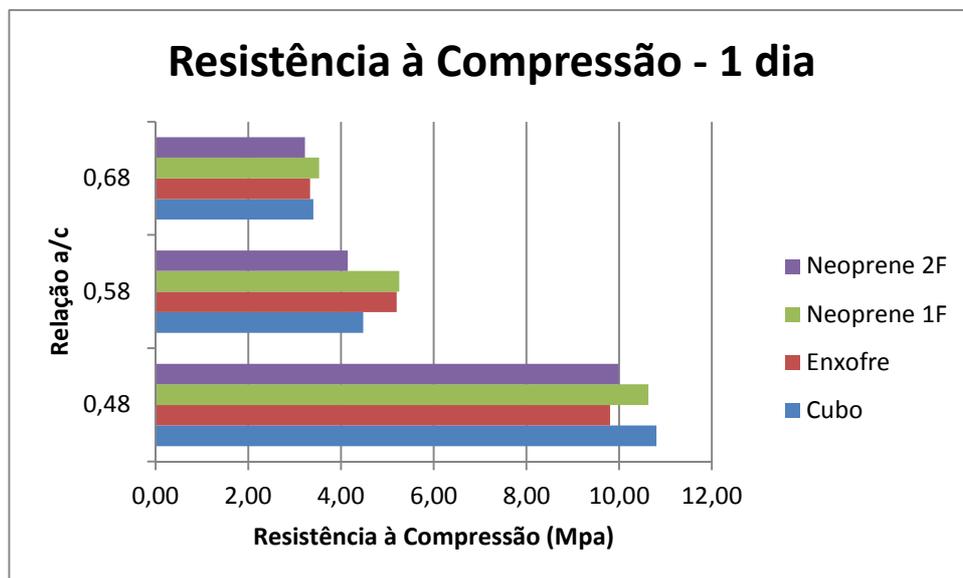
Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Resistência à compressão – 1 dia

Pela análise das médias (Figura 19), percebe-se que os diferentes tipos de geometrias e capeamentos apresentam resultados bastante semelhantes. Contudo, para a geometria cilíndrica, os corpos-de-prova capeados com neoprene apenas na face superior apresentaram resultados ligeiramente maiores. O que a princípio poderia demonstrar que este capeamento seria melhor que os demais, pode apenas demonstrar que alguns dos dados apresentaram valores superiores, levando a média para cima.

De forma comparativa, devem-se utilizar outros tipos de análise que sejam mais completos e que levem em consideração outros fatores, como a variância entre os dados e visualizar de forma individualizada cada traço; encontrando, a princípio, para cada grupo de amostras uma relação entre os diferentes tipos de capeamentos e geometrias.

Figura 19 – Média das resistências à compressão a 1 dia



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.1 Traço 1:3:0,48

Para a relação água/cimento igual a 0,48; com a idade de 1 dia, os resultados para os diferentes tipos de capeamentos/geometrias apresentaram médias e desvios-padrão bastante semelhantes, não podendo ser tiradas conclusões observando apenas estes dados.

Tabela 5 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,48

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 9,81 | 0,6793 |
| Neoprene 1F | 9 | 10,63 | 0,5985 |
| Cubo | 12 | 10,79 | 0,6171 |
| Neoprene 2F | 9 | 9,99 | 0,5827 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

Para melhor visualização sobre a relação entre os tipos de capeamento/geometria, foram feitos os testes de Duncan e Tukey. Para o teste de Duncan, há diferenças significativas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e aqueles capeados com neoprene em apenas uma das faces; como também entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e os corpos-de-prova cúbicos.

Para o teste de Tukey, há apenas diferença significativa entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e os corpos-de-prova cúbicos.

Tabela 6 – Anova para o traço 1:3:0,48 a 1 dia

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|-------|----|------|------|-------------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | Valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 6,83 | 3 | 2,28 | 5,92 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 13,46 | 35 | 0,39 | | | |
| Total | 20,29 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)**Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)**

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,008 | | | |
| Neoprene2 | 0,511 | 0,031 | | |
| Cúbico | 0,002 | 0,586 | 0,011 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,037 | | | |
| Neoprene2 | 0,917 | 0,148 | | |
| Cúbico | 0,005 | 0,941 | 0,031 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.2 Traço 1:3:0,58

Para a relação água/cimento igual a 0,58; com a idade de 1 dia, os corpos-de-prova capeados com enxofre e neoprene na face superior apresentaram resultados bastante semelhantes, com médias e dispersão dos dados com valores próximos.

Tabela 7 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,58

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 5,20 | 0,2917 |
| Neoprene 1F | 9 | 5,26 | 0,2973 |
| Cubo | 12 | 4,48 | 0,5301 |
| Neoprene 2F | 9 | 4,14 | 0,2078 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

Os testes de Duncan e Tukey apresentaram resultados iguais, indicando que não há diferenças estatísticas apenas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e aqueles capeados com neoprene em apenas uma das faces; e entre os corpos-de-prova capeados com neoprene nas duas faces e os cúbicos.

Tabela 8 – Anova para o traço 1:3:0,58 a 1 dia

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|-------|----|------|-------|-------------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 8,30 | 3 | 2,77 | 20,07 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 4,82 | 35 | 0,14 | | | |
| Total | 13,12 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,745 | | | |
| Neoprene2 | 0,000 | 0,000 | | |
| Cúbico | 0,000 | 0,000 | 0,056 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,989 | | | |
| Neoprene2 | 0,000 | 0,000 | | |
| Cúbico | 0,001 | 0,000 | 0,191 | |

4.2.3 Traço 1:3:0,68

Para a relação água/cimento igual a 0,68; com a idade de 1 dia, os corpos-de-prova apresentaram valores de médias e desvios-padrão semelhantes.

Tabela 9 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,68

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 3,33 | 0,229 |
| Neoprene 1F | 9 | 3,53 | 0,274 |
| Cubo | 12 | 3,40 | 0,156 |
| Neoprene 2F | 9 | 3,22 | 0,156 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. Isso se deve ao fato da variância calculada usando a média ser maior do que a calculada usando os dados pertencentes a cada grupo individual. No entanto o teste F indica o contrário, onde o F calculado é menor que o crítico.

Para o teste de Duncan, há diferenças significativas apenas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene na face superior e em ambas as faces. Enquanto para o teste de Tukey não existe diferença significativa entre nenhum tipo de capeamento ou geometria.

Tabela 10 – Anova para o traço 1:3:0,68 a 1 dia

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|------|----|------|------|---------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 0,46 | 3 | 0,15 | 3,64 | 0,02 | 4,40 |
| Erro | 1,48 | 35 | 0,04 | | | |
| Total | 1,94 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|---------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,051 | | | |
| Neoprene2 | 0,245 | 0,004 | | |
| Cúbico | 0,448 | 0,182 | 0,073 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

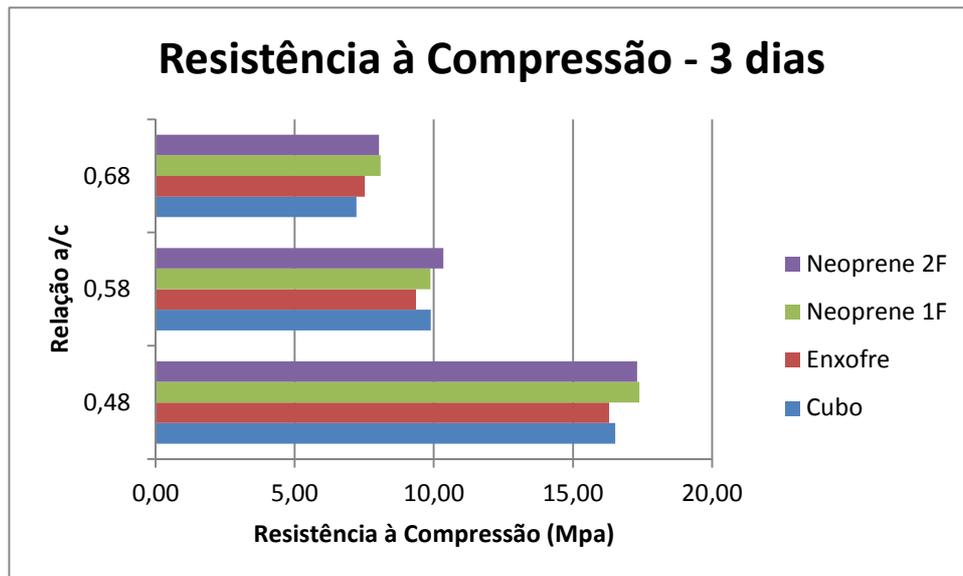
| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|---------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,186 | | | |
| Neoprene2 | 0,665 | 0,015 | | |
| Cúbico | 0,857 | 0,502 | 0,201 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.3 Resistência à compressão – 3 dias

Pela análise das médias (Figura 20), percebe-se que os diferentes tipos de geometrias e capeamentos apresentam resultados bastante semelhantes, não apresentando clara evidência de que um capeamento ou geometria apresentaria resultados melhores que outro.

Figura 20 – Média das resistências à compressão aos 3 dias



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1 Traço 1:3:0,48

Para a relação água/cimento igual a 0,48; com a idade de 3 dias, os corpos-de-prova apresentaram resultados semelhantes.

Tanto para o teste ANOVA quanto para os testes de Duncan e Tukey, não existe diferença significativa entre nenhum tipo de capeamento ou geometria.

Tabela 11 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 3 dias para o traço 1:3:0,48

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 16,30 | 1,034 |
| Neoprene 1F | 9 | 17,39 | 1,354 |
| Cubo | 12 | 16,52 | 1,018 |
| Neoprene 2F | 9 | 17,30 | 0,843 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 12 – Anova para o traço 1:3:0,48 aos 3 dias

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|-------|----|------|------|---------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 8,51 | 3 | 2,84 | 2,46 | 0,08 | 4,40 |
| Erro | 40,28 | 35 | 1,15 | | | |
| Total | 48,79 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,047 | | | |
| Neoprene2 | 0,059 | 0,857 | | |
| Cúbico | 0,650 | 0,102 | 0,120 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|---------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,154 | | | |
| Neoprene2 | 0,213 | 0,998 | | |
| Cúbico | 0,964 | 0,274 | 0,366 | |

4.3.2 Traço 1:3:0,58

Para a relação água/cimento igual a 0,58; com a idade de 3 dias, os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene na face superior e os cúbicos apresentaram distribuição normal semelhante. Enquanto o capeamento com neoprene em ambas as faces apresentou-se como a melhor opção com a maior média e a menor dispersão dos dados. Ao contrário do capeamento com enxofre, que apresentou a menor média e a maior dispersão dos dados.

Tabela 13 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 3 dias para o traço 1:3:0,58

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 9,36 | 0,731 |
| Neoprene 1F | 9 | 9,88 | 0,716 |
| Cubo | 12 | 9,89 | 0,702 |
| Neoprene 2F | 9 | 10,34 | 0,630 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. Isso se deve ao fato da variância calculada usando a média ser maior do que a calculada usando os dados pertencentes a cada grupo individual. No entanto o teste F indica o contrário, onde o F calculado é menor que o crítico.

Para o teste de Duncan, há diferenças significativas apenas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces e os capeados com enxofre. Enquanto para o teste de Tukey não existe diferença significativa entre nenhum tipo de capeamento ou geometria.

Tabela 14 – Anova para o traço 1:3:0,58 aos 3 dias

Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico)

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
|-------------------|-------|----|------|------|---------|-----------|
| Tipo de Preparo | 4,35 | 3 | 1,45 | 2,99 | 0,04 | 4,40 |
| Erro | 16,98 | 35 | 0,49 | | | |
| Total | 21,33 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,114 | | | |
| Neoprene2 | 0,007 | 0,175 | | |
| Cúbico | 0,126 | 0,974 | 0,161 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,408 | | | |
| Neoprene2 | 0,025 | 0,496 | | |
| Cúbico | 0,332 | 1,000 | 0,458 | |

4.3.3 Traço 1:3:0,68

Para a relação água/cimento igual a 0,68; com a idade de 3 dias, todos os corpos-de-prova cilíndricos apresentaram resultados semelhantes, independentemente da preparação da base. Enquanto os corpos-de-prova cúbicos apresentaram resultados diferentes, com média inferior às demais e com dispersão também inferior.

Tabela 15 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 3 dias para o traço 1:3:0,68

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 7,52 | 0,578 |
| Neoprene 1F | 9 | 8,09 | 0,578 |
| Cubo | 12 | 7,22 | 0,266 |
| Neoprene 2F | 9 | 8,02 | 0,641 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

Os testes de Duncan e Tukey apresentaram resultados iguais e, conforme indicava as distribuições normais, as diferenças estatísticas ocorrem entre os corpos-de-prova cúbicos e os cilíndricos capeados com neoprene, tanto na face superior quanto em ambas as faces.

Tabela 16 – Anova para o traço 1:3:0,68 aos 3 dias

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|-------|----|------|------|-------------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 5,29 | 3 | 1,76 | 6,56 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 9,41 | 35 | 0,27 | | | |
| Total | 14,70 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)**Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)**

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,029 | | | |
| Neoprene2 | 0,040 | 0,798 | | |
| Cúbico | 0,217 | 0,002 | 0,002 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

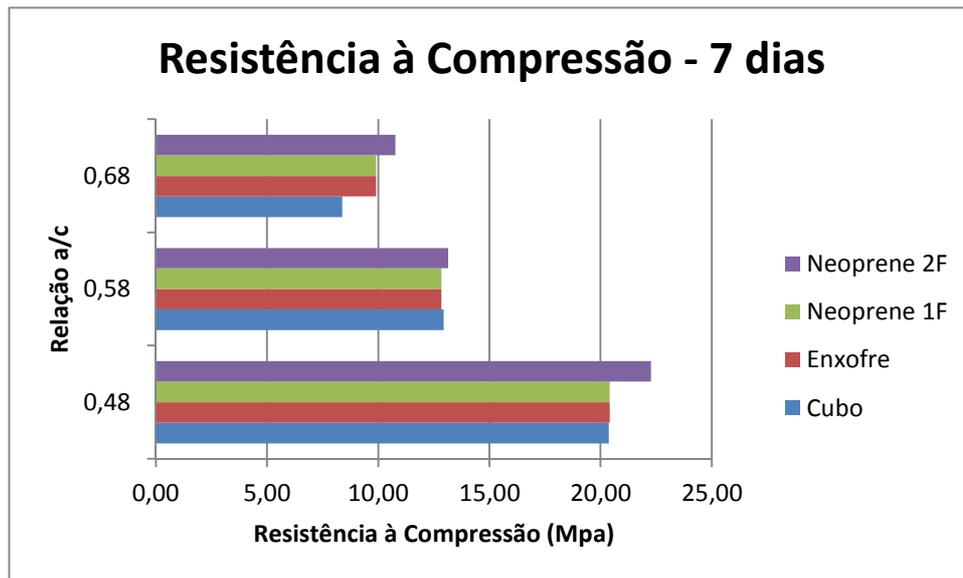
| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|---------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,114 | | | |
| Neoprene2 | 0,184 | 0,994 | | |
| Cúbico | 0,569 | 0,003 | 0,007 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.4 Resistência à compressão – 7 dias

Pela análise das médias (Figura 21), percebe-se que os diferentes tipos de geometrias e capeamentos apresentam resultados bastante semelhantes. Contudo, para a geometria cilíndrica, os corpos-de-prova capeados com neoprene em ambas as faces apresentaram resultados ligeiramente maiores.

Figura 21 – Média das resistências à compressão aos 7 dias



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 Traço 1:3:0,48

Para a relação água/cimento igual a 0,48; com a idade de 7 dias, todos os corpos-de-prova apresentaram resultados semelhantes. Com destaque para os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces, que apresentou a maior das médias e o segundo menor desvio padrão; e os corpos-de-prova cúbicos que apresentou a menor dispersão dentre os grupos de amostras estudados.

Tabela 17 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 7 dias para o traço 1:3:0,48

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 20,42 | 1,603 |
| Neoprene 1F | 9 | 21,32 | 1,498 |
| Cubo | 12 | 20,38 | 1,253 |
| Neoprene 2F | 9 | 22,27 | 1,347 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. Isso se deve ao fato da variância calculada usando a média ser maior

do que a calculada usando os dados pertencentes a cada grupo individual. No entanto o teste F indica o contrário, onde o F calculado é menor que o crítico.

O teste de Tukey reafirma o encontrado pelo teste F, onde fica claro que não há diferenças significativas entre os grupos estudados. O teste de Duncan encontra diferenças estatísticas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e com neoprene 2F; e entre os corpos-de-prova cúbicos e os cilíndricos capeados com neoprene em ambas as faces.

Tabela 18 – Anova para o traço 1:3:0,48 aos 7 dias

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|-------|----|------|------|---------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 23,03 | 3 | 7,68 | 3,82 | 0,02 | 4,40 |
| Erro | 70,29 | 35 | 2,01 | | | |
| Total | 93,32 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,173 | | | |
| Neoprene2 | 0,009 | 0,149 | | |
| Cúbico | 0,955 | 0,181 | 0,010 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,541 | | | |
| Neoprene2 | 0,042 | 0,490 | | |
| Cúbico | 1,000 | 0,450 | 0,023 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.2 Traço 1:3:0,58

Para a relação água/cimento igual a 0,58; com a idade de 7 dias, todos os corpos-de-prova apresentaram resultados semelhantes, independentemente da preparação da base.

Tabela 19 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 7 dias para o traço 1:3:0,58

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 12,84 | 1,328 |
| Neoprene 1F | 9 | 13,77 | 1,431 |
| Cubo | 12 | 12,94 | 0,653 |
| Neoprene 2F | 9 | 13,15 | 1,202 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Tanto para o teste ANOVA quanto para os testes de Duncan e Tukey, não existe diferença significativa entre nenhum tipo de capeamento ou geometria.

Tabela 20 – Anova para o traço 1:3:0,58 aos 7 dias

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|-------|----|------|------|---------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 4,93 | 3 | 1,64 | 1,23 | 0,31 | 4,40 |
| Erro | 46,73 | 35 | 1,34 | | | |
| Total | 51,66 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|---------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,112 | | | |
| Neoprene2 | 0,584 | 0,243 | | |
| Cúbico | 0,848 | 0,143 | 0,694 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|---------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,328 | | | |
| Neoprene2 | 0,940 | 0,661 | | |
| Cúbico | 0,997 | 0,370 | 0,976 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.4.3 Traço 1:3:0,68

Para a relação água/cimento igual a 0,68; com a idade de 7 dias, os corpos-de-prova cilíndricos apresentaram resultados semelhantes. Enquanto os corpos-de-prova cúbicos

apresentaram média e dispersão bem menores que aquelas obtidas nos corpos-de-prova cilíndricos.

Tabela 21 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 7 dias para o traço 1:3:0,68

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 9,91 | 0,980 |
| Neoprene 1F | 9 | 10,62 | 0,611 |
| Cubo | 12 | 8,38 | 0,443 |
| Neoprene 2F | 9 | 10,77 | 0,897 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

Os testes de Duncan e Tukey apresentaram resultados iguais e, conforme indicava as distribuições normais, as diferenças estatísticas ocorrem entre os corpos-de-prova cilíndricos (independendo do tipo de preparação de base) e os cúbicos.

Tabela 22 – Anova para o traço 1:3:0,68 aos 7 dias

Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico)

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
|-------------------|-------|----|-------|-------|-------------|-----------|
| Tipo de Preparo | 38,63 | 3 | 12,88 | 23,39 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 19,27 | 35 | 0,55 | | | |
| Total | 57,90 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,043 | | | |
| Neoprene2 | 0,021 | 0,661 | | |
| Cúbico | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |

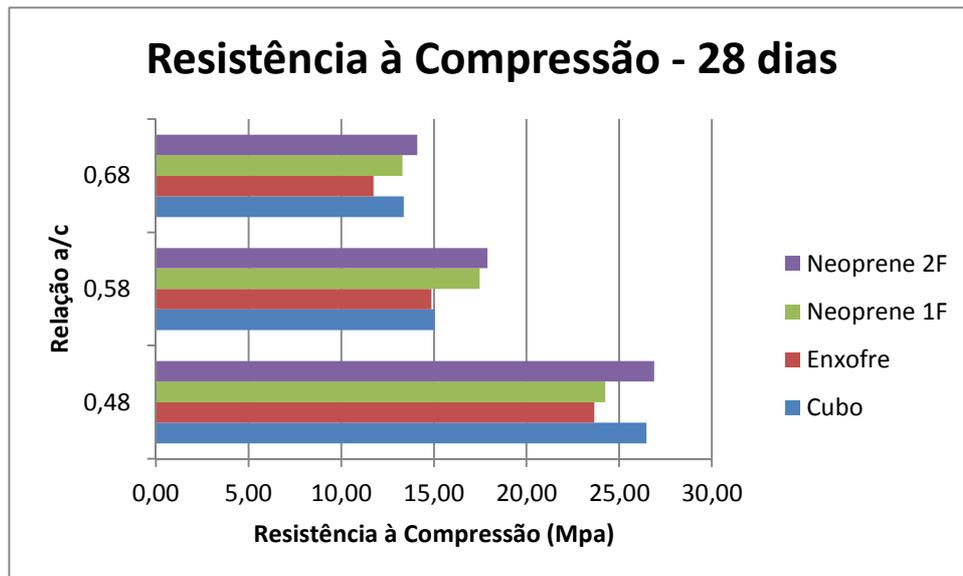
Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,196 | | | |
| Neoprene2 | 0,085 | 0,973 | | |
| Cúbico | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |

4.5 Resistência à compressão – 28 dias

Pela análise das médias (Figura 22), percebe-se que os diferentes tipos de geometrias e capeamentos apresentam resultados bastante semelhantes. Contudo, para a geometria cilíndrica, os corpos-de-prova capeados com neoprene em ambas as faces apresentaram resultados ligeiramente maiores.

Figura 22 – Média das resistências à compressão aos 28 dias



4.5.1 Traço 1:3:0,48

Para a relação água/cimento igual a 0,48; com a idade de 28 dias, os corpos-de-prova apresentaram resultados bastante semelhantes.

Tabela 23 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 28 dias para o traço 1:3:0,48

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 23,67 | 1,586 |
| Neoprene 1F | 9 | 24,26 | 2,026 |
| Cubo | 12 | 26,48 | 2,188 |
| Neoprene 2F | 9 | 26,89 | 1,346 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

Para o teste de Duncan, há diferenças significativas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e aqueles capeados com neoprene em ambas as faces; entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e os corpos-de-prova cúbicos e entre os capeamentos com neoprene (1F e 2F).

Para o teste de Tukey, há apenas diferença significativa entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e aqueles capeados com neoprene em ambas as faces; como também entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre.

Tabela 24 – Anova para o traço 1:3:0,48 aos 28 dias

| Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico) | | | | | | |
|---|--------|----|-------|------|-------------|-----------|
| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
| Tipo de Preparo | 72,63 | 3 | 24,21 | 7,06 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 120,09 | 35 | 3,43 | | | |
| Total | 192,71 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,487 | | | |
| Neoprene2 | 0,001 | 0,005 | | |
| Cúbico | 0,003 | 0,013 | 0,627 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,904 | | | |
| Neoprene2 | 0,004 | 0,024 | | |
| Cúbico | 0,008 | 0,048 | 0,957 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

4.5.2 Traço 1:3:0,58

Para a relação água/cimento igual a 0,58; com a idade de 28 dias, os corpos-de-prova cilíndricos capeados com neoprene tanto na face superior quanto em ambas as faces apresentaram as maiores médias. O enxofre como capeamento apresentou a menor das médias e o menor desvio padrão. Enquanto os corpos-de-prova cúbicos apresentaram-se como uma

alternativa inferior às demais por apresentar uma maior dispersão dos dados e uma das menores médias.

Tabela 25 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 28 dias para o traço 1:3:0,58

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 14,86 | 0,625 |
| Neoprene 1F | 9 | 17,46 | 1,279 |
| Cubo | 12 | 15,04 | 1,683 |
| Neoprene 2F | 9 | 17,91 | 1,258 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

Os testes de Duncan e Tukey apresentaram resultados iguais e não há diferenças estatísticas apenas entre os dois tipos de capeamentos de neoprene; e entre o capeamento com enxofre e os corpos-de-prova cúbicos.

Tabela 26 – Anova para o traço 1:3:0,58 aos 28 dias

Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico)

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
|-------------------|--------|----|-------|-------|-------------|-----------|
| Tipo de Preparo | 72,84 | 3 | 24,28 | 14,16 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 60,03 | 35 | 1,72 | | | |
| Total | 132,87 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)

Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,000 | | | |
| Neoprene2 | 0,000 | 0,463 | | |
| Cúbico | 0,764 | 0,000 | 0,000 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,001 | | | |
| Neoprene2 | 0,000 | 0,889 | | |
| Cúbico | 0,989 | 0,001 | 0,000 | |

4.5.3 Traço 1:3:0,68

Para a relação água/cimento igual a 0,68; com a idade de 28 dias, todos os grupos de amostras apresentaram resultados de desvio-padrão diferentes.

Tabela 27 – Médias e Desvios-Padrão da Resistência à compressão a 1 dia para o traço 1:3:0,68

| Capeamento / Geometria | N | Média (Mpa) | Desvio-Padrão |
|------------------------|----|-------------|---------------|
| Enxofre | 9 | 11,74 | 0,358 |
| Neoprene 1F | 9 | 13,31 | 1,575 |
| Cubo | 12 | 13,37 | 1,174 |
| Neoprene 2F | 9 | 14,11 | 0,860 |

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no teste ANOVA pode-se afirmar que existe variação entre tipos de preparo deste grupo de amostras. E, portanto, para este grupo de dados, há uma influência do tipo de capeamento/geometria nos resultados do ensaio de compressão axial.

O teste de Duncan confirmou o que indicava as distribuições normais, onde os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre são estatisticamente diferentes de todos os demais.

Para o teste de Tukey, existem diferenças estatísticas apenas entre os corpos-de-prova cilíndricos capeados com enxofre e aqueles capeados com enxofre em ambas as faces; e entre os corpos-de-prova capeados com enxofre e os corpos-de-prova cúbicos.

Tabela 28 – Anova para o traço 1:3:0,68 aos 28 dias

Tipo de Preparo (Enxofre, Neoprene1, Neoprene2, Cúbico)

| Fonte da variação | SQ | gl | MQ | F | valor-p | F crítico |
|-------------------|-------|----|------|------|-------------|-----------|
| Tipo de Preparo | 26,99 | 3 | 9,00 | 7,50 | 0,00 | 4,40 |
| Erro | 41,96 | 35 | 1,20 | | | |
| Total | 68,95 | 38 | | | | |

Diferença entre médias (Post hoc Comparisons)**Teste de Duncan (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)**

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,004 | | | |
| Neoprene2 | 0,000 | 0,140 | | |
| Cúbico | 0,003 | 0,907 | 0,148 | |

Teste de Tukey (as diferenças marcadas são significantes a $p < 0,01$)

| Tipo de Preparo | Enxofre | Neoprene1 | Neoprene2 | Cúbico |
|-----------------|--------------|-----------|-----------|--------|
| Enxofre | | | | |
| Neoprene1 | 0,022 | | | |
| Neoprene2 | 0,000 | 0,421 | | |
| Cúbico | 0,009 | 0,999 | 0,430 | |

Fonte: Elaborada pelo autor

5 CONCLUSÕES

Os dados para todos os tipos de geometrias e capeamentos estudados se mostraram coerentes, todos dentro da mesma ordem de grandeza esperada. Respeitando o esperado pela literatura, ou seja, o aumento da resistência com a idade e a sua diminuição à medida que se aumentava a relação água/aglomerante.

Os corpos-de-prova cúbicos se apresentaram de forma bastante irregular, ora apresentando-se como uma solução melhor que os cilíndricos e ora apresentando-se como uma solução menos satisfatória.

Mesmo com evidências que alguns capeamentos apresentaram-se com um comportamento melhor que os demais, segundo o estudo estatístico, não evidências claras de que a geometria ou o tipo de capeamento apresentem influência nos resultados de resistência à compressão. Pois esta diferença se apresentou em alguns casos, mas sem nenhum tipo de tendência.

De acordo com a literatura, existem diversos estudos que abordam o tipo de preparo da superfície em concretos, demonstrando que a utilização do neoprene pode ser feita e se obter resultados semelhantes ao capeamento com enxofre. Neste trabalho, observou-se a mesma tendência na utilização em argamassas, ressaltando-se que os resultados em argamassas com baixa resistência são estatisticamente iguais para os tipos de preparo estudados. Isto é importante, pois, as argamassas de revestimento são caracterizadas por sua baixa resistência à compressão e, de acordo com os resultados, é possível a utilização de neoprene nestes casos.

Para novos estudos, recomendam-se novos testes com outros tipos de capeamento e também a utilização de corpos-de-prova cilíndricos sem capeamento, com o aumento do tempo de adensamento, garantindo a planicidade e o paralelismo entre as faces. E também testar a mudança da resistência alterando-se outros parâmetros como tempo de adensamento, condições de cura, tipo de agregado; a fim de demonstrar a real importância destes para a resistência à compressão em argamassas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578 - Cimento Portland composto. Rio de Janeiro. 1991.
- _____. NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1995.
- _____. NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 2005.
- _____. NBR 7200 - Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, p. 13. 1998.
- _____. NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 1982.
- _____. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- BARBOSA, F. R. et al. Análise da Influência do Capeamento de Corpos-de-Prova Cilíndricos na Resistência à Compressão do Concreto. Anais do 51º Congresso Brasileiro de Concreto, Curitiba, Outubro 2009. 16.
- BAUER, L. A. F. Materiais de construção, 1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 488p.
- BEZERRA, A. C. S. Influência das Variáveis de Ensaio nos Resultados de Resistência à Compressão de Concretos: Uma Análise Experimental e Computacional. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 151. 2007.
- CHIES, J. A. Corpos-de-prova submetidos à compressão: influencia do tipo de preparação das faces para diferentes níveis de resistência do concreto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011.
- DUBAJ, E. Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 102p. 2000.
- FIORITO, A. J. S. I. Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: Pini, 1994. 223p.
- FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. Campinas: Editora da UNICAMP, 2003. 330p.
- LEVY, M.; HELENE, P. R. D. L. Evolução Histórica da Utilização do Concreto Como Material de Construção. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 17. 2002. (ISSN 0103-9830).

MACCARI, G. H. Argamassa de Assentamento com Saibro: Um Estudo das Práticas na Região de Tubarão/SC. UNESC. Criciúma. 2010.

MARTINELLI, F. A.; HELENE, P. R. D. L. Usos, Funções e Propriedades das Argamassas Mistas Destinadas ao assentamento e Revestimento de Alvenarias. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 15. 1991.

MARTINS, J. G.; ASSUNÇÃO, J. Argamassas e Rebocos. 3ª. ed. [S.l.]: UFP, 2010.

MENEZES, A. J. R. Estudo Comparativo entre Capeamento de Corpo-de-Prova de Concreto com Enxofre, Uso de Neoprene e Retificação de Topo para Ensaio de Resistência à Compressão Axial. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2011.

MOHAMAD, G. et al. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura. Revista Matéria, v. 14, n.2, p. 824 – 844. 2009.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento. Escola Politécnica da USP. São Paulo. 2004.

PETRUCCI, E. G. R., Materiais de construção. 12. ed. São Paulo: globo, 2003. 435p.

RUDUIT, F. R. Resistência à Compressão de Amostras de Concreto: Comparação dos Resultados entre a Preparação de Topos com Capeamento de Enxofre Derretido e Retificação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 85. 2006.

SILVA, G. M. et al. Resistência à compressão de argamassa de assentamento: corpo de prova cilíndrico versus prismático. Anais do XXI Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Santa Maria, 2006.

VIEIRA, A. P. Implementando Novo Sistema de Capeamento. Revista IBRACON, Setembro/Outubro 1991. 54-59.