

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Josué Argenta Chies

**CORPOS-DE-PROVA SUBMETIDOS À COMPRESSÃO:
INFLUÊNCIA DO TIPO DE PREPARAÇÃO
DAS FACES PARA DIFERENTES NÍVEIS
DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO**

Porto Alegre
dezembro 2011

JOSUÉ ARGENTA CHIES

**CORPOS-DE-PROVA SUBMETIDOS À COMPRESSÃO:
INFLUÊNCIA DO TIPO DE PREPARAÇÃO
DAS FACES PARA DIFERENTES NÍVEIS
DE RESISTÊNCIA DO CONCRETO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coorientador: Abrahão Bernardo Rohden

Porto Alegre
dezembro 2011

JOSUÉ ARGENTA CHIES

**CORPOS-DE-PROVA SUBMETIDOS À COMPRESSÃO:
INFLUÊNCIA DO TIPO DE PREPARAÇÃO DAS FACES
PARA DIFERENTES NÍVEIS DE RESISTÊNCIA DO
CONCRETO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Professores Orientadores e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2011

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)
Ph.D. pela University of Leeds
Orientador

Eng.MSc. Abrahão Bernardo Rohden (UFRGS)
MSc.Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
(UFRGS)
Dra. pela Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo

Eng.MSc. Luciane Fonseca Caetano
(UFRGS)
MSc. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Eng.MSc. Abrahão Bernardo Rohden (UFRGS)
MSc. Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Coorientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
(UFRGS)
Ph.D. pela University of Leeds
Orientador

Dedico este trabalho a meus pais, Rudimar e Adir, que fizeram o possível e o impossível, para que eu concluísse meu curso de Engenharia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida e a graça de ter chegado até aqui com saúde, dando-me forças nos momentos mais difíceis.

Agradeço a meus pais Rudimar Antônio Chies e Adir Teresinha Argenta Chies, que me serviram de exemplo de conduta e dedicação, mostrando-me a importância do estudo na vida pessoal e profissional de um ser humano, onde me proporcionaram todos os meios para que eu cursasse meu curso de graduação.

A todos professores que colaboraram em minha formação de engenheiro, repassando da melhor maneira possível seus conhecimentos, em especial à Profa. Carin Maria Schmitt que foi indispensável para a conclusão desse trabalho.

Agradeço ao engenheiro Eduardo Polesello, que se colocou a inteira disposição, e colaborou com o uso da retífica horizontal nas dependências de seu laboratório de controle tecnológico.

Agradeço a meu colega de engenharia Willians Leal do Amaral, que foi muito mais que um colega para os bons momentos, sendo um amigo e companheiro sempre pronto para as causas impossíveis.

Agradeço à ajuda pós-graduada das engenheiras do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, Alexandra Passuello, Camila Simonetti, Luciane Fonseca Caetano e Vânia Maria Nogueira Peres, que não mediram forças para me ajudar, tanto em meus ensaios como nos momentos que mais precisei em minha graduação.

Agradeço a todos colegas de Laboratório, em especial às alunas Josiane Anderle Scotton, Mariana Muller Barcelos e Suriane de Souza da Silva pela indispensável ajuda e parceria para a realização desse trabalho.

Agradeço a meu orientador Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho, que sempre me apoiou de forma brilhante durante toda minha permanência no LEME, sempre me engajando em projetos que certamente me renderão muitos frutos e saudades.

Agradeço ao meu coorientador e futuro colega engenheiro Abrahão Bernardo Rohden pelas incontáveis e inesquecíveis noites de trabalho e orientação, que possibilitaram o sucesso deste e outros projetos.

Nada te perturbe nada te espante, tudo passa.
A paciência tudo alcança, quem tem Deus nada lhe falta,
só Deus basta.

Santa Tereza D'Ávila

RESUMO

O controle tecnológico do concreto só pode ser considerado um procedimento com qualidade, quando todas as suas fases são realizadas com perícia. Essa importância é constatada na revisão bibliográfica, na qual se tem a noção da influência de variáveis inerentes não só ao ensaio de resistência à compressão, mas também a fatores como, por exemplo, os materiais constituintes, equipamentos de mistura, moldagem e cura dos corpos-de-prova. Em meio a tantas variáveis, o presente trabalho tem o intuito de colaborar para um melhor entendimento dos efeitos que estas podem causar na resistência à compressão do concreto. O ensaio de resistência à compressão tem importância incontestável, porém suscetível à variações em seu processo executivo. Devido a isso, o objetivo principal do trabalho é colaborar com informações sobre o preparo das bases de corpos-de-prova, comparando alguns métodos, como o capeamento por argamassa de enxofre, borracha de neoprene e desgaste superficial por meio de retífica vertical e horizontal. Um crescente conhecimento da ciência de produzir concreto causou significativo aumento da sua resistência e consumo, o que justifica a realização das comparações em concretos de distintos níveis de resistência. Foram produzidos em laboratório concretos de resistência à compressão de 20 a 120 MPa, para dar uma idéia real da influência do preparo das faces em um intervalo de resistências que abrange não só concretos de baixa e média resistência, mas também concretos especiais de alta resistência.

Palavras-chave: Resistência à Compressão. Preparação de Bases. Controle Tecnológico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama do delineamento da pesquisa.....	17
Figura 2 – Corpos-de-prova capeados com enxofre.....	31
Figura 3 – Conjunto de capeadores.....	32
Figura 4 – Efeito negativo da deformação do neoprene.....	33
Figura 5 – Par de pratos.....	33
Figura 6 – Retificadora vertical e corpo-de-prova retificado.....	34
Figura 7 – Composição granulométrica da areia.....	39
Figura 8 – Composição granulométrica da brita.....	40
Figura 9 – Betoneira de eixo inclinado.....	44
Figura 10 – Pesagem de materiais.....	44
Figura 11 – Concreto sendo misturado.....	45
Figura 12 – Corpos-de-prova recém moldados.....	46
Figura 13 – Corpos-de-prova desmoldados após 24 horas.....	47
Figura 14 – Corpos-de-prova acondicionados em câmara úmida.....	47
Figura 15 – Pesagem dos corpos-de-prova.....	48
Figura 16 – Corpo-de-prova sendo medido.....	49
Figura 17 – Pesagem dos materiais da mistura.....	51
Figura 18 – Controle da temperatura do enxofre derretido.....	51
Figura 19 – Consistência da mistura de enxofre derretido segundo a NM 77.....	52
Figura 20 – Mistura pronta no capeador.....	52
Figura 21 – Corpo-de-prova fixado pelo operador.....	53
Figura 22 – Mistura envolvendo completamente a face do corpo-de-prova.....	53
Figura 23 – Fissuras provocadas pela retração excessiva da mistura.....	54
Figura 24 – Corpo-de-prova preparado com mistura de enxofre segundo a NM 77.....	55
Figura 25 – Consistência do enxofre puro derretido.....	55
Figura 26 – Capeador pronto para receber o corpo-de-prova.....	56
Figura 27 – Enxofre puro derretido envolvendo todo corpo-de-prova.....	56
Figura 28 – Aparência de face preparada com enxofre puro derretido.....	57
Figura 29 – Corpo-de-prova preparado com enxofre puro pronto para ensaio.....	57
Figura 30 – Disco de neoprene de dureza 60 shore e pratos de confinamento.....	59
Figura 31 – Disco de neoprene de dureza 70 shore e pratos de confinamento.....	59
Figura 32 – Superfície do corpo-de-prova antes de ser ensaiado.....	60
Figura 33 – Corpo-de-prova pronto para ser ensaiado com discos de neoprene.....	60

Figura 34 – Retífica vertical pneumática utilizada.....	61
Figura 35 – Corpo-de-prova sendo retificado com retífica vertical.....	62
Figura 36 – Disco diamantado da retífica vertical.....	62
Figura 37 – Aparência da superfície retificada.....	63
Figura 38 – Corpo-de-prova retificado.....	63
Figura 39 – Retífica horizontal utilizada.....	64
Figura 40 – Corpo-de-prova sendo retificado com retífica horizontal.....	64
Figura 41 – Disco diamantado da retífica horizontal.....	65
Figura 42 – Aparência da superfície preparada com retífica horizontal.....	65
Figura 43 – Prensa hidráulica utilizada.....	66
Figura 44 – Corpo-de-prova capeado com enxofre sendo ensaiado.....	67
Figura 45 – Ruptura de corpo-de-prova capeado com enxofre puro.....	67
Figura 46 – Ruptura de corpo-de-prova capeado com enxofre segundo a NM 77.....	68
Figura 47 – Corpo-de-prova retificado sendo ensaiado.....	68
Figura 48 – Ruptura de corpo-de-prova retificado com retífica vertical.....	69
Figura 49 – Ruptura de corpo-de-prova retificado com retífica horizontal.....	69
Figura 50 – Corpo-de-prova com disco de neoprene confinado sendo ensaiado.....	70
Figura 51 – Ruptura de corpo-de-prova ensaiado com neoprene dureza 60 shore.....	70
Figura 52 – Ruptura de corpo-de-prova ensaiado com neoprene dureza 70 shore.....	70
Figura 53 – Ruptura Brusca com discos de neoprene.....	71
Figura 54 – Comparação geral entre métodos para diferentes níveis de resistência.....	72
Figura 55 – Desvio padrão dos métodos para diferentes níveis de resistência.....	73
Figura 56 – Ganho de resistência em relação ao capeamento com enxofre NM 77.....	74
Figura 57 – Influência da relação a/c na resistência à compressão do concreto.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de cimentos brasileiros e americanos.....	21
Quadro 2 – Vantagens de aditivos superplastificantes.....	22
Quadro 3 – Resistência à compressão de diversas composições de materiais. (MPa).....	23
Quadro 4 – Classificação segundo resistência característica à compressão.....	24
Quadro 5 – Valores para a formação de lotes de concreto.....	27
Quadro 6 – Número de camadas para moldagem de corpos-de-prova.....	28
Quadro 7 – Fator de correção h/D.....	29
Quadro 8 – Tolerância para a idade do testemunho.....	30
Quadro 9 – Comparativo entre capeamento com enxofre e retificação.....	35
Quadro 10 – Comparativo entre capeamento com enxofre e borracha de neoprene.....	36
Quadro 11 – Matriz experimental.....	38
Quadro 12 – Características do cimento utilizado.....	39
Quadro 13 – Composição granulométrica da areia.....	40
Quadro 14 – Composição granulométrica da brita.....	41
Quadro 15 – Características do aditivo superplastificante.....	42
Quadro 16 – Características da sílica ativa.....	42
Quadro 17 – Traços unitários e respectivos quantitativos.....	43
Quadro 18 – Valores de abatimento por tronco de cone.....	46
Quadro 19 – Especificações técnicas do enxofre.....	50
Quadro 20 – Durezas shore para intervalos de resistências.....	58
Quadro 21 – Compilação geral dos dados.....	72
Quadro 22 – Análise de variância global.....	75
Quadro 23 – Análise de variância grupo a grupo.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

a/c = relação água/cimento (adimensional)

f_{ck} = resistência característica do concreto (MPa)

h = altura do corpo-de-prova (cm)

D = diâmetro do corpo-de-prova (cm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	15
2.2.1 Objetivo Principal.....	15
2.2.2 Objetivo Secundário.....	15
2.3 HIPÓTESE.....	16
2.4 PRESSUPOSTO.....	16
2.5 PREMISA.....	16
2.6 DELIMITAÇÕES.....	16
2.7 LIMITAÇÕES.....	16
2.8 DELINEAMENTO.....	17
3 CONCRETO.....	19
3.1 MATERIAIS CONSTITUINTES.....	20
3.1.1 Agregados.....	20
3.1.2 Cimento.....	21
3.1.3 Adições e Aditivos.....	22
3.2 RESISTÊNCIA.....	22
3.2.1 Dosagem.....	23
3.2.2 Relação a/c.....	24
3.2.3 Idade e cura.....	25
4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	26
4.1 PROCEDIMENTOS.....	26
4.1.1 Moldagem de testemunhos.....	27
4.1.2 Cura.....	28
4.1.3 Equipamentos de ensaio.....	29
4.1.4 Preparo e ensaio.....	29
4.2 PREPARAÇÃO DAS BASES.....	30
4.2.1 Capeamento com enxofre.....	31
4.2.2 Capeamento com borracha de neoprene.....	32
4.2.3 Retificação por desgaste mecânico.....	33
4.3 COMPARATIVOS.....	34
5 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	37

5.1 MATRIZ EXPERIMENTAL.....	37
5.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	38
5.2.1 Cimento.....	38
5.2.2 Agregado miúdo.....	39
5.2.3 Agregado graúdo.....	40
5.2.4 Água.....	41
5.2.4 Aditivo Superplastificante.....	41
5.1.5 Sílica ativa.....	42
5.3 DOSAGEM DO CONCRETO.....	43
5.4 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA.....	44
5.5 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	47
5.5.1 Pesagem.....	48
5.5.2 Medição.....	48
5.5.3 Métodos de preparação de bases utilizados.....	49
5.5.3.1 Argamassa de enxofre derretido segundo a NM 77.....	49
5.5.3.2 Argamassa de enxofre puro derretido.....	55
5.5.3.3 Discos de neoprene.....	58
5.5.3.4 Desgaste superficial por retífica vertical.....	61
5.5.3.5 Desgaste superficial por retífica horizontal.....	63
5.6 RUPTURAS.....	66
5.7 RESULTADOS.....	71
6.0 CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS.....	78
APENDICE A.....	80

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no Brasil está vivendo um dos melhores momentos de sua história, apresentando números animadores, não só na esfera da habitação popular, mas também nas áreas de infraestrutura, indústria e pesquisa tecnológica. Para que esse crescimento ocorra, o mercado necessita de uma ampla gama de insumos, entre os quais se destaca o concreto. Este é o material de construção mais utilizado no mundo, com um consumo que fica na ordem dos bilhões de metros cúbicos por ano.

Todo crescimento traz consigo inúmeros desafios e, conseqüentemente, o desenvolvimento de novas técnicas. O concreto é exemplo disso, pois nos últimos anos evoluiu consideravelmente em suas propriedades como resistência ao fogo, permeabilidade, durabilidade e na mais reconhecida propriedade mecânica: a resistência à compressão. Esse avanço necessita um controle tecnológico equivalente, com o desenvolvimento de práticas mais rápidas, econômicas e confiáveis.

Dentre os inúmeros ensaios que avaliam a qualidade do concreto e seus compostos, o ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos é o mais difundido no meio técnico. Esta escolha se justifica por alguns motivos: tem custos consideravelmente baixos; facilidades de execução e de correlação dos seus resultados com outras propriedades, como o módulo de elasticidade e resistência à tração. Porém, é sabido que o concreto é um material heterogêneo e o ensaio apresenta muitas variáveis dependentes dos materiais componentes, geometria, tratamento da superfície de aplicação da carga, adensamento e taxa de aplicação do carregamento. É dentro deste contexto que estão acontecendo diversos debates devidos às opiniões controversas entre calculistas, concreteiras, construtores e pesquisadores do meio acadêmico.

Tendo em vista a quantidade de variáveis influentes e a importância do assunto, esse trabalho visa colaborar, analisando, basicamente, a questão geométrica dos corpos-de-prova, que dependem muito mais da qualidade de execução do ensaio de resistência à compressão do que do material propriamente dito. Amparado em normas vigentes e trabalhos anteriores, será avaliado, através de pesquisa experimental, à influência de diversas formas de preparação de

bases de corpos-de-prova numa gama de resistências que englobam tanto concretos convencionais quanto os concretos de alta resistência.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

O método de pesquisa está subdividido em questão de pesquisa, objetivos, hipótese, pressuposto, premissa, delimitações, limitações e delineamento e é descrito a seguir.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual o tipo de preparação de superfícies de corpos-de-prova mais adequado para concretos de baixa, média e alta resistência?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundário e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

Visando colaborar com o aperfeiçoamento do controle tecnológico do concreto, esse trabalho tem por objetivo principal a verificação de qual o método de preparação de bases mais apropriado para cada nível de resistência do concreto.

2.2.2 Objetivo secundário

O trabalho tem por objetivo secundário quantificar a resistência dos concretos para as diferentes formas de preparação de suas bases.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que o método de preparação de bases por capeamento com argamassa de enxofre se mostra mais promissor para concretos de baixa resistência e em contrapartida, faceamento por meio de retífica mostrará melhores resultados para concretos de alta resistência. Já nos concretos de média resistência as bases podem ser preparadas por mais de um método, mostrando resultados semelhantes entre eles.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que os procedimentos recomendados pelas normas NBR 5738/2008 – Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova – e NBR 5739/2007 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos – são considerados como referência e que podem trazer os melhores resultados ao ensaio.

2.5 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a preparação das bases dos corpos-de-prova cilíndricos é indispensável para a correta execução do ensaio de resistência à compressão.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à confecção de corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 10 cm x 20 cm moldados e ensaiados em laboratório

2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) serão analisados os procedimentos de preparação de bases de corpos-de-prova através de capeamento com enxofre, borracha de neoprene e desgaste superficial com uso de retífica;

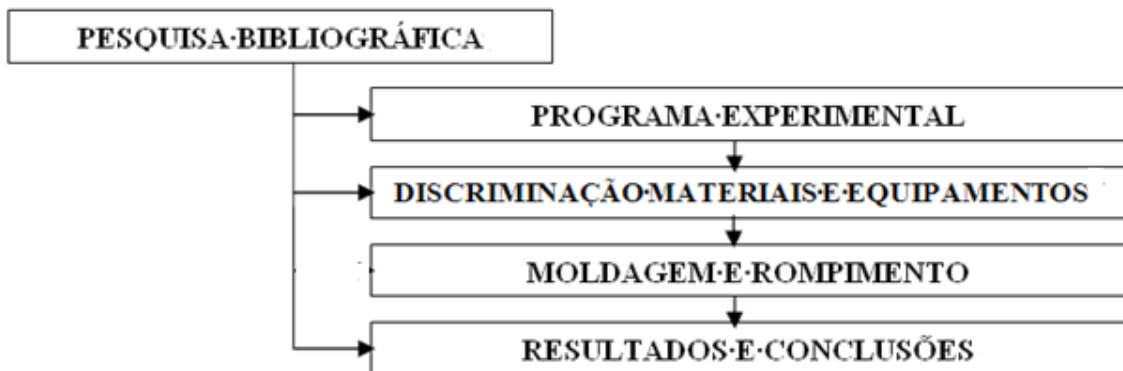
- b) os corpos-de-prova serão adensados de forma manual e submetidos à cura em câmara úmida, com temperatura e umidade controlada, indicadas por norma;
- c) a velocidade de carregamento no ensaio de resistência à compressão será limitada a 0,45 MPa/s;
- d) os concretos terão resistência à compressão limitada entre 20 e 120 MPa.

2.8 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir que estão representadas na figura 1:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) programa experimental;
- c) discriminação de materiais e equipamentos;
- d) moldagem e rompimento;
- e) resultados e conclusões;

Figura 1 – Diagrama do delineamento da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Como etapa inicial foi realizada uma pesquisa bibliográfica que abrangeu assuntos referentes à história, materiais constituintes e controle tecnológico do concreto, através de livros, trabalhos acadêmicos e normas vigentes que regulamentam o controle de sua qualidade. Dentre os diversos assuntos abordados, a pesquisa deu ênfase aos procedimentos que constituem o ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto.

A etapa seguinte foi a criação de um programa experimental, no qual se definiu parâmetros como as resistências do concreto à serem estudadas e as variáveis a serem analisadas, no caso, os métodos de preparação das bases dos corpos-de-prova.

Com o programa experimental definido, foram calculados os quantitativos de materiais para as moldagens de corpos-de-prova e posterior aquisição dos mesmos. Também foi verificada a disponibilidade de todos equipamentos de aquisição de dados e utensílios necessários como fôrmas, discos de neoprene, betoneira, balanças, paquímetro e prensa entre outros.

Após a moldagem de cada resistência, os corpos de prova eram desmoldados, identificados e acondicionados segundo as recomendações pesquisadas. Na data determinada os corpos-de prova tiveram suas bases preparadas por três diferentes métodos, posteriormente ensaiados à compressão axial, até a ruptura em uma prensa hidráulica.

Após a ruptura dos exemplares de todas as resistências foram feitas as análises e discussões pertinentes dos resultados, para que assim se pudessem apresentar as conclusões do trabalho.

3 CONCRETO

O concreto é um material considerado moderno, se comparado à materiais como a rocha que é usada com muita destreza desde a época dos egípcios, construindo monumentais estruturas existentes até hoje. Esta só foi substituída com a chegada da revolução industrial, trazendo consigo as estruturas metálicas que puderam vencer vãos nunca antes vencidos. O concreto de cimento Portland tem sua descoberta datada em meados do fim do século XIX e teve seu uso difundido somente no século XX. Inovou a maneira de se projetar e construir, sendo considerada por muitos como a maior descoberta da história da humanidade, pelo motivo de ter proporcionado um salto de desenvolvimento e qualidade de vida para o homem (HELENE; ANDRADE, 2010, p. 945).

Metha e Monteiro (2008, p. 3-4) mostram algumas razões do porquê o concreto é o material de construção mais usado no mundo, com um consumo anual que atinge 11 bilhões de toneladas métricas. Dentre as diversas razões que justificam esses números, citam a resistência do concreto à água como característica relevante. O motivo se explica pelo fato de que a partir daí, pôde-se construir estruturas de controle, armazenamento e transporte da água, bem essencial para a vida, com maior eficiência e durabilidade. Estruturas antes construídas em madeira e aço comum, hoje são confeccionadas na grande maioria em concreto convencional ou armado, e são facilmente encontradas em praticamente todos os lugares do mundo.

Com o intuito de ajudar a esclarecer essa crescente difusão e evolução desse material, hoje indispensável para todos nós, Metha e Monteiro (2008, p. 6-8) indicam como pontos positivos para o concreto: a enorme variedade de geometrias que se consegue obter, qualidade que surge em função de sua consistência em estado fresco ser plástica, conferindo-lhe a capacidade de penetrar em locais esbeltos e de difícil acesso. Atributos como resistência ao fogo e carregamento cíclico também são levados em conta, mas o fator econômico ainda é o que prevalece. O concreto é produzido basicamente por agregado, água e cimento Portland, insumos ainda encontrados em abundância e com valores relativamente baixos.

3.1 MATERIAIS CONSTITUINTES

Conhecer a origem e estrutura dos materiais dos quais o concreto é constituído é indispensável para que se possa ter um conhecimento mais aprofundado das características do concreto. Helene e Andrade (2010, p. 946-947) apresentam o concreto de cimento Portland como um material em constante evolução, em especial nos últimos vinte anos. A melhor seleção dos agregados o desenvolvimento de novos materiais como as pozolanas industrializadas, e a melhora dos aditivos superplastificantes culminaram no surgimento de Concretos de Alto Desempenho dentre eles: Concreto de Alta e Ultra Alta Resistência; Concreto Reforçado com Fibras; Concreto Leve. Os principais constituintes dos concretos são detalhados nos próximos itens.

3.1.1 Agregados

Exemplificando de forma simples e clara, Metha e Monteiro (2008, p. 11) definem agregado como sendo um “[...] material granular, como a areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa.”. Na produção de concreto, usa-se basicamente dois tipos de agregados, que se diferenciam por sua origem e dimensão. Dependendo do fim para os quais serão destinados, os agregados recebem uma denominação de acordo com sua granulometria.

No Brasil, os agregados para concreto são especificados pela norma NBR 7211. Nessa Norma, agregado miúdo é o “Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, [...]” e agregado graúdo o “Agregado cujos grãos passam pela peneira de com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, [...]”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 3).

Conforme citado anteriormente agregados podem ser classificados de diversas formas, porém para a produção de concretos de boa qualidade algumas características são essenciais. Farias e Palmeira (2010, p. 494) afirmam que é importante a seleção e respectiva britagem da rocha matriz. Rocha matriz com aparência xistosa e com muitas descontinuidades produzem agregados com qualidades inferiores à basaltos e granitos, rochas normalmente usadas na

produção de agregados para concretos, pois apresentam forma mais cúbica depois de britadas. Outra característica que deve ser levada em consideração é a rugosidade da superfície, quanto mais rugosa, mais aderência haverá com a pasta de cimento.

3.1.2 Cimento

Metha e Monteiro (2008, p. 205) citam que para um melhor entendimento das propriedades aglomerantes do cimento Portland, é necessário um melhor entendimento de seu processo de fabricação, propriedades químicas e mineralógicas. O cimento puro é formado basicamente de compostos à base de calcário e argila e que são levados a um forno e posterior moagem. Devido a seu alto custo energético de produção, foram sendo incorporados materiais que ao mesmo tempo que conferiam mais qualidades, tornavam sua produção menos onerosa. Surgem então os cimentos compostos, pozolâmicos e de alta resistência inicial. O quadro 1 mostra os diferentes cimentos disponíveis no mercado brasileiro e americano.

Quadro 1 – Tipos de cimentos brasileiros e americanos

BRASIL		EUA		
Sigla	Denominação	ASTM	Sigla	Denominação
CP I	Portland Comum	C 150	I	Portland
CP I-S	Portland Comum com adição de Filer Carbonático			
		Portland Comum com adição de Escória ou Pozolana		
CP II-E	Portland Composto com Escória	C 595	I(SM)	Slag-Modified Portland
CP II-Z	Portland Composto com Pozolana		I(PM)	Pozzolan-Modified Portland
CP II-F	Portland Composto com Filer			
CP III	Portland de Alto-Forno	C 595	IS	Portland Blast Furnace Slag
CP IV	Portland Pozolânico		IP	Portland Pozzolan
CP V-ARI	Portland de Alta Resistência Inicial	C 150	III	Portland with High Early Strength
		C 1157	IIE	
Todos com sufixo BC	Portland de Baixo Calor de Hidratação	C 150	IV	Portland with Low Heat Hydratation
		C 1157	LH	
Todos com sufixo RS	Portland Resistente à Sulfatos	C 150	II	Moderate Sulfate Resistance
		C 595	I(SM), MS, I(PM) MS, IS(MS), IP(MS) e P(MS)	
		C 1157	MS	
		C 150	V	High Sulfate Resistance
		C 595	IS(HS) e IP(HS)	
C 1157	HS			

(fonte: MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 255)

3.1.3 Adições e aditivos

Reforçando a relevância de seu uso, Metha e Monteiro (2008, p. 289-290) afirmam:

A percepção de que propriedades importantes do concreto, seja no estado fresco, seja no estado endurecido, podem ser favoravelmente modificadas pelo uso de aditivos/adições impulsionou tanto a indústria desses materiais, que nos 20 anos após o início do desenvolvimento dessa indústria, na década de 1940, 275 produtos diferentes foram lançados na Inglaterra e 340 na Alemanha.

A variedade de aditivos no mercado hoje é grande, existindo os incorporadores de ar, redutores de água, retardadores de pega, plastificantes e superplastificantes, largamente utilizados na indústria de concreto. Adições minerais ao mesmo tempo que incorporam ao concreto benefícios como aumento da resistência, coesão, redução do consumo de cimento e calor de hidratação do cimento, também colaboram em prol da sustentabilidade, por ter origem na maior parte das vezes de rejeitos produzidos em abundância pela indústria. No Brasil as mais difundidas são a cinza volante, o metacaulin, escória de alto-forno e a sílica ativa. O quadro 2 mostra em números alguns benefícios de aditivos superplastificantes.

Quadro 2 – Vantagens de aditivos superplastificantes

Ensaio	Consumo de cimento (Kg/m ³)	Relação água/cimento	Abatimento (mm)	Resistência à compressão (MPa)			
				1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
Concreto de referência (sem aditivo)	360	0,6	225	10	21	32	45
Concreto de mesma consistência do acima, mas contendo menos água e 2% de superplastificante em	360	0,45	225	20	35	43	55
Concreto de mesma água/cimento, mas sem superplastificante e com abatimento menor que a	360	0,45	30	16	28	37	52

(fonte: MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 298)

3.2 RESISTÊNCIA

Define-se por resistência de um determinado material a capacidade que este têm de resistir à alguma tipo de tensão sem se romper (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p. 49). Diferentemente

de outros materiais, o concreto gera pequenas fissuras no interior de sua estrutura antes de se romper.

A partir do momento que se teve a certeza da capacidade que o concreto têm de resistir à esforços, profissionais de Engenharia concordam que a resistência à compressão é sem dúvida a característica mais marcante e mais utilizada por eles em seus cálculos e projetos, deixando solicitações de tração e corte para outros materiais como o aço. Tendo essa idéia presente, pode-se considerar o concreto como uma rocha artificial, podendo atingir resistências semelhantes a algumas rochas que dão origem aos agregados. O quadro 3 demonstra resistências à compressão para os diferentes tipos de cimento.

Quadro 3 – Resistência à compressão de diversas composições de materiais (MPa)

Tipo e classe de cimento	Relação a/c				
	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45
CP I 32	28	32	37	41	47
CP II 32	24	28	31	35	39
CP II 40	28	32	36	41	46
CP III 32	23	27	31	36	41
CP III 40	27	32	37	42	49
CP IV 32	24	28	32	38	41
CP V ARI RS	30	33	38	42	46
CP V ARI	33	38	42	47	53

Nota:

1 Agregados de origem granhítica	2 Diâmetro máximo dos agregados de 25mm
3 Abatimento entre 50mm e 70mm	4 Concretos com aditivo plastificante normal

(fonte: HELENE; ANDRADE, 2010, p. 971)

Mesmo com toda essa capacidade em receber esforços o concreto não é um material perfeito. Conclusão que se confirma por conta da resistência à compressão ser influenciada por uma série de fatores como: dosagem, relação a/c, idade e cura.

3.2.1 Dosagem

Existem diversos métodos para dosagem de concreto, diferenciando-se pelas técnicas de proporcionamento ou pelo nível de resistência desejado. Um concreto bem dosado com o uso de materiais de boa qualidade, pode alcançar níveis de resistências desejados, entretanto o

contrário também é verdadeiro. A NBR 8953 separa os concretos em grupos de resistência à compressão, como demonstra o quadro 4, para fins de especificação da resistência do concreto em projeto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992, p. 2).

Quadro 4 – Classificação segundo resistência característica à compressão

Grupo I de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)	Grupo II de resistência	Resistência característica à compressão (MPa)
C10	10	C55	55
C15	15		
C20	20	C60	60
C25	25		
C30	30	C70	70
C35	35		
C40	40	C80	80
C45	45		
C50	50		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992)

3.2.2 Relação a/c

A água com impurezas não só pode reduzir a resistência à compressão do concreto, mas também formar depósitos de sais, tornando uma possível armadura na estrutura propensa à corrosão, mas este fator não é o que mais influencia na redução da resistência à compressão do concreto, e sim sua quantidade em relação ao consumo de cimento. Metha e Monteiro (2008, p. 54) afirmam que “[...] a relação a/c no concreto pode facilmente ser explicada como consequência natural do enfraquecimento progressivo da matriz causado pelo aumento da porosidade com o aumento do consumo de água no concreto.”. A resistência à compressão não é o único fator que é diretamente prejudicado com o aumento da relação a/c, perde-se durabilidade também pelo motivo de aumentar em muito sua porosidade, que colabora em muito na degradação de compostos resistentes do concreto.

3.2.3 Idade e Cura

Mehta e Monteiro (2008, p. 61) indicam que “O termo cura do concreto envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, como tempo, temperatura e umidade, consideradas imediatamente depois do lançamento de uma mistura de concreto na fôrma.”. Como já foi citado anteriormente, o concreto exige que em sua mistura, seja usada apenas a quantidade de água suficiente para garantir seu bom lançamento e adensamento. É exatamente o contrário que ocorre na sua fase de cura, para que o cimento otimize a produção de silicato de cálcio hidratado (C-S-H), principal elemento resistente do concreto, é necessário altos teores de umidade.

A NBR 5738 padroniza condições de cura para concreto com função de controle tecnológico. Cuidados que vão desde a proteção para evitar a perda de água nas primeiras idades, até umidade e temperatura controladas em solução ou câmara climatizadas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 5).

Adotando todos procedimentos referenciados em Norma obtém-se a máxima resistência à compressão do concreto. Fatores como umidade e tempo de cura são determinantes para que o concreto adquira resistência. Tempo esse que varia de acordo com o tipo de cimento utilizado, mas a conhecida data de 28 dias nos fornece subsídios para determinar a resistência característica do concreto, o f_{ck} , período em que praticamente todos os tipos de concreto se equiparam, pois atingem em torno de 90% de sua resistência final.

4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Bezerra (2007, p. 27) é enfático quando indica:

Cada vez mais têm sido fabricados concretos de elevadas resistências, que possuem em sua composição diferentes materiais, ou mesmo adições inéditas. Muitas das vezes é necessário realizar ensaios cujos resultados sejam capazes de expressar a influência desses materiais, ou seja, os resultados não deveriam ser influenciados por nada além da variável analisada.

No Brasil o ensaio de compressão axial é o mais utilizado na verificação da resistência do concreto, fornecendo resultados que servem como uma valiosa ferramenta de controle e aproximação de diversas propriedades, que se relacionam a este material, como, resistência à tração e módulo de elasticidade. Para verificar resistências de tanta importância, se faz necessário um estudo cada vez mais aprofundado sobre as variáveis intrínsecas a ele.

4.1 PROCEDIMENTOS

Antes de qualquer atitude deve-se seguir rigorosamente a NBR 12655, que dá indicações a serem seguidas antes de executar qualquer controle tecnológico. Resumidamente, essa Norma recomenda (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, p. 2):

- a) caracterização dos materiais componentes do concreto, conforme a NBR 12654;
- b) estudo da dosagem do concreto;
- c) ajuste e comparação do traço de concreto;
- d) preparo do concreto.

Dosados de maneira racional ou experimental, com o uso de parâmetros como o proporcionamento de materiais por volume ou massa em campo, também estão citados em Norma para cada situação em especial, o quadro 5 mostra em que situações é obrigatório a formação de lotes de corpos-de-prova, para serem submetidos à ensaio de resistência à compressão.

Quadro 5 – Valores para a formação de lotes de concreto

Loimites superiores	Solicitação principal dos elementos da estrutura	
	Compressão ou compressão e flexão	Flexão simples
Volume de concreto	50 m ³	100 m ³
Número de andares	1	1
Tempo de concretagem	3 dias de concretagem	
Este período deve estar compreendido no prazo total máximo de sete dias, que inclui eventuais interrupções para tratamento de juntas		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996)

4.1.1 Moldagem de testemunhos

A NBR 5738 fornece todas as características de peças e equipamentos para todos os estágios da moldagem. Permite que sejam usados moldes de diferentes geometrias para a confecção dos corpos-de-prova. Moldes cilíndricos e prismáticos, confeccionados em metal ou material resistente e estanque de diferentes bitolas são aceitos, desde que respeitada a razão de $h=2D$, onde h representa a altura e D o diâmetro do corpo-de-prova. O adensamento pode ser feito de maneira manual por meio de soquete, ou mecânica, com vibradores, ambos especificados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 2).

No Brasil os moldes mais comuns são metálicos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. O quadro 6 resume as dimensões e formas de adensamento.

Quadro 6 – Número de camadas para moldagem de 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	9	225
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3		

Para concretos com abatimento superior a 160mm, 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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 4)

4.1.2 Cura

Após executados todos os procedimentos de moldagem, os corpos-de-prova deverão ser acondicionados em lugar arejado, ao abrigo do sol e a superfície livre deve ser coberta com material isolante e não absorvente. Depois de desmoldados, os testemunhos devem ser colocados em cura. A NBR 5738 orienta condições ideais para a cura dos corpos-de-prova durante 28 dias, indicando (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 5):

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

As condições exigidas em Norma devem ser seguidas desde o momento da desmoldagem até o momento do ensaio propriamente dito, variações devem sempre constar no relatório final do ensaio.

4.1.3 Equipamentos de ensaio

Analisando a normatização específica para o ensaio em questão, a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 1) não especifica uma máquina especialmente para o ensaio. Basicamente a máquina de ensaio é uma prensa mecânica ou hidráulica, que atenda exigências como capacidade de ajuste de cargas constantes, planicidade e ausência de imperfeições nos pratos de ensaio. O prato superior deve possuir rótula esférica que permita a acomodação de possíveis imperfeições.

Paquímetros, com precisão de 0,1 mm, devem ser utilizados para a determinação das dimensões. Caso a relação h/D for menor que 1,94 devem ser feitas as correções multiplicando-se a resistência obtida pelos fatores indicadas pelo quadro 7.

Quadro 7 – Fator de correção h/D

Relação h/d	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00
Fator de correção	1	0,98	0,96	0,93	0,87
NOTA Os índices correspondentes à relação h/d não indicada podem ser obtidos por interpolação mlinear, com aproximação de centésimos					

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5)

4.1.4 Preparo e ensaio

Uma vez que os corpos-de-prova foram retirados do ambiente de cura, a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3), orienta como deve-se proceder nas próximas etapas do ensaio. As bases dos testemunhos em seu processo de moldagem não ganham acabamento adequado para o ensaio em questão, Para garantir a ortogonalidade e planicidade das faces, métodos como capeamento com argamassa de enxofre, pasta de cimento e desgaste superficial com uso de retífica são indicados pela Norma. Em seguida, o corpo-de-prova já pode ser submetido ao carregamento propriamente dito, com velocidade que deve estar dentro do intervalo $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s. A Norma também indica as tolerâncias da idade de ensaio permitidas de acordo com a idade do testemunho, como mostra o quadro 8.

Quadro 8 – Tolerância para a idade do testemunho

Idade do ensaio	Tolerância permitida h
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48
NOTA Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação	

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4)

4.2 PREPARAÇÃO DAS BASES

Dentre todos os cuidados e procedimentos indicados por Norma, a preparação das bases é uma das mais relevantes, pois é por elas que o corpo-de-prova recebe as tensões exercidas pela máquina no ensaio. Consequência dessa importância é a existência de uma norma específica para esse procedimento: a norma NM 77. Esta Norma cita a maneira adequada de realizar as diferentes formas de acabamento satisfatório nas faces dos corpos-de-prova (COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO, 1996, p. 1).

Basicamente se dividem em três grupos os tipos de arremate, ou seja, sistema de:

- a) capeamento colado;
- b) capeamento não colado;
- c) desgaste mecânico.

Dentro do grupo dos sistemas colados os capeamentos com pasta de cimento Portland e capeamento por argamassa de enxofre são os mais utilizados. Neste trabalho será dada atenção especial ao capeamento de enxofre, pois seu uso é mais difundido no dia-a-dia de laboratórios de controle tecnológico.

4.2.1 Capeamento com enxofre

Bezerra (2007, p. 38) afirma que os sistemas de capeamento colado “[...] consistem no uso de materiais que formam uma camada regular que adere, fisicamente ou quimicamente, à superfície da base do corpo-de-prova.”. Outras características são citadas pela NBR 5738 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 6), como a propriedade de fluidez no momento de sua aplicação, acabamento liso e resistência à compressão compatível com valores comumente encontrados em concretos.

Para que a argamassa de enxofre adquira tais resistências a NM 77 (COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO, 1996, p. 3) define como proporção ideal para a mistura:

- a) 75% de enxofre;
- b) 5% de grafite;
- c) 20% material inerte;

A Norma também afirma que é de suma importância que, decorridas 2h, o enxofre atinja uma resistência à compressão de aproximadamente 35 MPa. A temperatura indicada para a fusão e solidificação nos moldes é de 130°C. Para o capeamento com enxofre existe a necessidade de se possuir um capeador que garanta a planicidade das faces e a ortogonalidade dos corpos-de-prova. As figuras 2 e 3 mostram respectivamente corpos-de-prova capeados com enxofre e o capeador respectivamente.

Figura 2 – Corpos-de-prova capeados com enxofre



(fonte: foto do autor)

Figura 3 – Conjunto de capeadores

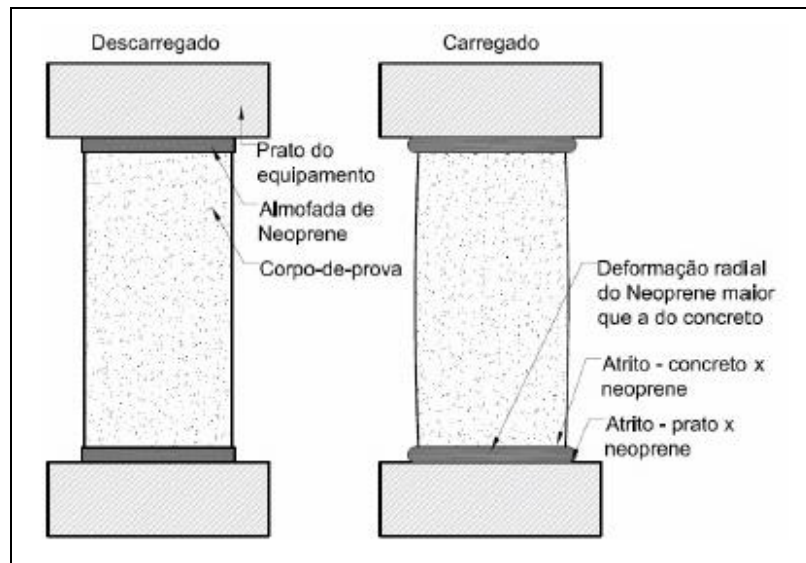


(fonte: foto do autor)

4.2.2 Capeamento com borracha de neoprene

No grupo dos capeamentos não colados encontra-se o neoprene que é largamente utilizado no Brasil, o que não acontece com outros tipos de capeamentos não colados, como por exemplo, o chumbo, papelão e caixa de areia (BEZERRA, 2007, p. 47). Diversos estudos confirmam que corpos-de-prova ensaiados com neoprene não confinado, rompiam de forma adversa, consequência de efeitos de tração causados pela deformação da borracha. Mesmo não existindo normalização brasileira referente ao uso desse material no capeamento, considera-se correto a presença de um par pratos de aço envolvendo as laterais e fundo do neoprene, como mostram as figuras 4 e 5.

Figura 4 – Efeito negativo da deformação do neoprene



(fonte: BEZERRA, 2007, p. 48)

Figura 5 – Par de pratos



(fonte :BEZERRA, 2007, p. 49)

4.2.3 Retificação por desgaste mecânico

A NM 77 (COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO, 1996, p. 6) também orienta o preparo de bases de corpo-de-prova por corte com disco diamantado, quando os exemplares apresentarem desníveis significativos e não possam ser corrigidos com argamassa de enxofre

ou outro método. Mostra-se útil em casos de testemunhos extraídos de estruturas ou pavimentos e de concretos com resistências muito altas, porém a especificação de procedimentos ainda é muito resumida em Norma.

Com a retirada de finas camadas de material das faces, a superfície tende a ter uma aparência de polimento, o que garante uma superfície com acabamento condizente com as necessidades de ensaio, porém, também deve-se garantir a planicidade das faces, o que não é uma característica diretamente ligada ao polimento. Efeito que ocorre principalmente em concretos de alta resistência.

Figura 6 – Retificadora vertical e corpo-de-prova retificado



(fonte: RUDUIT, 2006, p. 38)

4.3 COMPARATIVOS

Diversos trabalhos têm sido publicados sobre a comparação de métodos de preparação de bases de corpos-de-prova, provavelmente por conta do significativo volume de discussões entre os profissionais de diversas áreas da Engenharia Civil. O assunto é levantado a todo instante em que se quer entender o porquê de casos nos qual o concreto não atingiu a resistência especificada em projeto. Mesmo com esse grande número de publicações não se

pode tirar conclusões definitivas, pois resultados isolados e limitados a um ou dois métodos, com concretos, na maioria das vezes, com resistências convencionais, são algumas das razões pela qual ainda não se chegou a um consenso com segurança.

Ruduit (2006, p. 52) apresenta resultados interessantes obtidos na comparação entre capeamento com enxofre e retificação para três resistências distintas, como mostra o quadro 9.

Quadro 9 – Comparativo entre capeamento com enxofre e retificação

Traço	Tipo de tratamento	Média dos resultados dos ensaios (MP a)	Diferença das médias dos CP retificados para os capeados (%)	Desvio padrão dos resultados dos ensaios
1:3	retificação	43,2	2,55	1,32
	capeamento	44,3		1,00
1:5	retificação	34,1	3,52	0,25
	capeamento	35,3		1,41
1:7	retificação	23,0	10,87	1,41
	capeamento	25,5		0,53

(fonte: RUDUIT, 2006, p. 52)

Bezerra (2007, p. 101) analisa a diferença entre capeamento com enxofre e capeamento com borracha de neoprene, complementar a isso avalia a influência da velocidade de carregamento na resistência, os resultados são apresentados no quadro 10.

Quadro 10 – Comparativo entre capeamento com enxofre e borracha de neoprene

Traço	Capeamento	Velocidade de carregamento			Tensão de ruptura		
		Equip	Tempo (s)	MPa/s	Média	Desvio-Padrão	Coefic. Var. (%)
1	Enxofre puro	2	80,00	0,59	47,22	1,61	3,411
		4	21,33	2,17	46,33	7,51	16,205
		6	10,00	4,75	47,49	1,45	3,053
	Neoprene 10 mm - 68 Sh A - Capeador 1	2	166,00	0,28	46,64	1,08	2,322
		4	41,00	1,21	49,54	1,86	3,761
		6	19,67	2,53	49,71	2,25	4,535
2	Enxofre puro	2	55,00	0,58	31,70	2,14	6,736
		4	15,33	2,05	31,50	1,13	3,575
		6	8,22	4,16	34,18	1,16	3,379
	Neoprene 10 mm - 68 Sh A - Capeador 1	2	101,00	0,33	33,71	1,02	3,030
		4	36,00	0,94	33,91	2,09	6,153
		6	18,00	1,89	34,09	0,11	0,313

(fonte: BEZERRA, 2007, p. 101)

Trabalhos como estes, parecem demonstrar rigor ao cumprir as normas de controle tecnológico já referenciadas nesse trabalho, pode-se afirmar com certa segurança pelo fato de apresentarem coeficientes de variação e desvio padrão baixos. Como pode-se ver em nenhum momento foram analisadas resistências maiores que 50 MPa, parcela na qual o trabalho pretende agregar informações.

5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para dar continuidade ao presente trabalho foi criado um programa experimental que traz consigo um maior detalhamento de todas as variáveis e aspectos de cada etapa. Para que se pudesse alcançar os objetivos, foram dosados concretos com resistências que estivessem compreendidas no intervalo de 20 e 120 MPa, utilizando três métodos distintos e duas variações de preparação das bases dos corpos-de-prova.

Todos os ensaios foram realizados nas dependências do Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS) e ocorreram entre os meses de setembro e novembro de 2011.

5.1 MATRIZ EXPERIMENTAL

As faces dos corpos-de-prova foram preparadas pelos métodos de capeamento por argamassa de enxofre, capeamento não colado por discos de neoprene confinado, com duas durezas distintas, e desgaste superficial por retífica vertical e horizontal. Para cada método foram moldados cinco corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, permitindo que todos exemplares necessários para se analisar os métodos em um determinado traço, fossem provenientes de uma mesma betonada.

Todos os corpos-de-prova foram moldados, preparados e ensaiados pelos mesmos equipamentos e operadores, para que se pudesse analisar de maneira mais isolada a influência da preparação das bases na resistência à compressão do concreto. O quadro 11 mostra a matriz experimental definida.

Quadro 11 – Matriz experimental

MATRIZ EXPERIMENTAL						
Método de preparação de bases						
	Enxofre Puro	Enxofre Norma NM 77/96	Neoprene 60 Shore	Neoprene 70 Shore	Retífica Vertical	Retífica Horizontal
Traço 1	5	5	5	5	5	5
Traço 2	5	5	5	5	5	5
Traço 3	5	5	5	5	5	5
Traço 4	5	5	5	5	5	5
Traço 5	5	5	5	5	5	5
Traço 6	5	5	5	5	5	5
Traço 7	5	5	5	5	5	5
					TOTAL	210

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 MATERIAIS UTILIZADOS

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

5.2.1 Cimento

O cimento utilizado para a moldagem de todo programa experimental é identificado como cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) da marca CAUÊ proveniente do mesmo lote, com massa específica de 3,11 g/cm³. Foi escolhido este cimento por dois motivos, primeiramente pelo fato de que os corpos-de-prova eram desmoldados 24 horas após sua moldagem, minimizando possíveis danos oriundos do manuseio nas primeiras idades. Também esse tipo de cimento é indispensável para a dosagem de concretos de alta resistência que também fizeram parte do presente trabalho. Informações sobre o material foram retiradas do site do fabricante, como mostra o quadro 12.

Quadro 13 – Composição granulométrica da areia

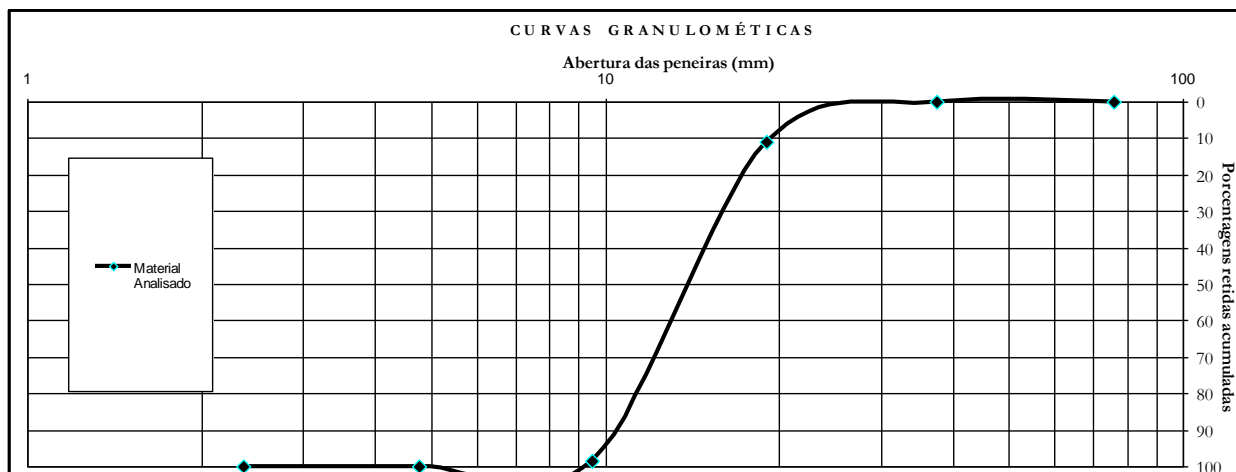
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gr) = 1.000,0		(Vr)		(Mrm)	(Mra)	
	b) massa inicial seca (gr) = 1.000,0		Massa retida		Massa retida	Massa retida	
	Mr(g) Massa retida (gr)		Mr(%) Massa retida (%)		Variações	média	acumulada
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	± 4 %	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	0,2	0,7	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
2,36	11,8	11,2	3,9%	3,7%	0,2%	3,8%	4,0%
1,18	29,7	30,0	9,9%	10,0%	0,1%	10,0%	13,9%
0,6	90,9	88,2	30,4%	29,4%	1,0%	29,9%	43,8%
0,3	135,5	135,8	45,2%	45,3%	0,0%	45,3%	89,1%
0,15	0,4	0,4	0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	89,2%
Fundo	31,0	33,7	10,4%	11,2%	0,9%	10,8%	100,0%
Mt) Total S	299,5	300,0	Módulo de Finura =				2,40

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.3 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado foi uma brita basáltica de dimensão máxima de 19 mm e massa específica de 2,90 g/cm³, proveniente da Mineração Vila Rica, localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre/RS. Antes de qualquer uso a brita sofreu processo de lavagem em betoneira para retirada de poeira e materiais indesejáveis. Assim como o agregado miúdo, foram feitos ensaios de composição granulométrica para a brita que são apresentados pela figura 8 e quadro 14.

Figura 8 – Composição granulométrica da brita



(fonte: elaborada pelo autor)

Quadro 14 – Composição granulométrica da brita

Abertura das Peneiras (mm)	M(g) Massa retida (gramas)		Mr(%) Massa retida (Porcentagem)		(Vr) Massa retida variação	(Mm) Massa retida média	(Mra) Massa retida acumulada
	Ensaio	Ensaio	Ensaio	Ensaio	± 4 %	(%)	(%)
	a	b	a	b			
75	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
63	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
50	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
37,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
31,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
25	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
19	566,0	538,0	11,3%	10,8%	0,6%	11,0%	11,0%
12,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	11,0%
9,5	4.363,0	4.382,0	87,3%	87,7%	0,4%	87,5%	98,5%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	98,5%
4,75	66,0	79,0	1,3%	1,6%	0,3%	1,5%	100,0%
2,36	5,0	0,0	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%	100,0%
1,18	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
0,6	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
0,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
0,15	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Fundo	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
Mt) Total	5.000,0	4.999,0	D. máx. =	19		Módulo de Finura =	7,09

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.4 Água

A água de amassamento de todos os concretos produzidos para este trabalho é proveniente da rede de abastecimento local, administrada pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto do município de Porto Alegre/RS.

5.2.4 Aditivo Superplastificante

Se fez necessário o uso de aditivo superplastificante apenas na elaboração do traço 6 e 7, onde se pretendia atingir resistências à compressão significativamente superiores aos traços 1 a 5. O aditivo utilizado foi o GLENIUM 54, fabricado pela BASF. Informações retiradas do site da empresa são mostradas pelo quadro 15.

Quadro 15 – Características do aditivo superplastificante

Dados Técnicos		
Função	Aditivo superplastificante de terceira geração p	
Base Química	Éter policarboxílico	
Aspecto	Líquido	
Cor	Branco turvo	
Teste		
Aparência	Líquido branco turvo	Visual
ph	5 - 7	-
Densidade	1,067 - 1,107	g/cm ³
Sólidos	38 - 42	%
Viscosidade	<150	cps

(fonte: adaptado de BASF SA, 2011)

5.1.5 Sílica ativa

A sílica ativa, ou por muitas vezes chamada comercialmente de microssílica, também teve seu uso exclusivo nos traços de alta resistência, pelo fato de apresentar excelente capacidade de preenchimento de pequenos vazios e sua já conhecida ação pozolânica. Foi utilizada a sílica ativa SILMIX, fabricada pela Camargo Corrêa Metais SA, os dados técnicos são apresentados pelo quadro 16.

Quadro 16 – Características da sílica ativa

Características Físicas e Químicas	
Massa específica	2200 Kg/m ³
Superfície específica	20000 m ² /Kg
Formato da partícula	esférico
Diâmetro médio	0.2 um
Teor de SiO₂	Min 85%
Umidade	Máx 3%
Equivalente Alcalino	Máx 0,5%

(fonte: adaptado de IMPERCIA ATACADISTA LTDA, 2011)

5.3 DOSAGEM DO CONCRETO

Depois de todos os materiais conhecidos e caracterizados, iniciou-se a etapa de concepção dos traços a serem utilizados no trabalho. Assim a partir de do procedimento descrito por Mehta; Monteiro (2008, p. 332) referente às recomendações do ACI 211, foi possível definir diferentes traços com características semelhantes. O método é interessante pelo fato de que, tendo as características dos agregados e aglomerantes disponíveis, faz-se uso de tabelas que levam a situações equivalentes aos materiais utilizados para elaboração das mesmas.

Como o foco do trabalho não é fazer a comparação entre traços, nem a verificação da resistência de determinada proporção, decidiu-se escolher cinco fatores a/c, que levaram os nomes de traço 1, traço 2, traço 3, traço 4 e traço 5 que envolveram resistências até 50MPa. Nesses três combinações tanto o consumo de água como de brita por m³ de concreto é igual, sendo essa uma das características que fizeram com que fosse escolhido este procedimento de dosagem.

Para o traço do concreto de alta resistência à compressão foi utilizado o método proposto por Mehta e Aitcin (1990, p. 70-78) para se obterem a proporção de materiais necessários. O quadro 17 mostra os traços unitários e respectivos quantitativos para cada traço.

Quadro 17 – Traços unitários e respectivos quantitativos

Quantitativos de materiais - Kg/m ³								
	Traço Unitário	a/c	Água	Super Plastificante	Cimento CP V-ARI	Silica Ativa	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Traço 1	1 : 3,99 : 4,92	0,80	184		230		918	1131
Traço 2	1 : 3,39 : 4,30	0,70	184		263		891	1131
Traço 3	1 : 2,79 : 3,69	0,60	184		307		854	1131
Traço 4	1 : 2,18 : 3,07	0,50	184		368		804	1131
Traço 5	1 : 1,58 : 2,46	0,40	184		460		728	1131
Traço 6	1 : 1,23 : 2,22	0,27	140	5,26	527	50	650	1169
Traço 7	1 : 1,06 : 2,07	0,20	120	7,00	582	55	615	1206

(fonte: elaborado pelo autor)

5.4 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Para as moldagens dos corpos-de-prova foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado, de capacidade nominal de 320 litros, por conta do volume de concreto que era necessário para se moldarem os corpos-de-prova estabelecidos pela pesquisa e corpos-de-prova sobressalentes para testes iniciais dos procedimentos de preparação de bases e rompimentos em uma mesma concretagem. A figura 9 mostra a betoneira utilizada nas misturas.

Figura 9 – Betoneira de eixo inclinado



(fonte: foto do autor)

Antes de toda moldagem o cimento, areia e brita eram pesados em balança digital com precisão de 10 gramas, a água e aditivo, em balança digital com precisão de 0,1 gramas, como mostra a figura 10.

Figura 10 – Pesagem de materiais



Com todos materiais pesados e acondicionados separadamente, seguiam uma mesma ordem de colocação na betoneira para todos os traços de concreto. A ordem de mistura era a seguinte:

- a) colocação de todo agregado graúdo;
- b) 50% do peso de água e (aditivo superplastificante quando determinado) ;
- c) colocação de toda quantidade de cimento e (sílica quando determinado) ;
- d) colocação de toda porção de agregado miúdo;
- e) 50% restante de água.

Deixava-se a betoneira girando até que o concreto apresentasse uma massa coesa e uniforme, como mostra a figura 11.

Figura 11 – concreto sendo misturado



(fonte: foto do autor)

Antes da mistura pronta ser moldada, era executado o ensaio de determinação de consistência por abatimento de tronco de cone, regulamentada pela NBR NM 67 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). O quadro 18 mostra os valores obtidos para cada traço.

Quadro 18 – Valores de abatimento por tronco de cone

Abatimento mm	
Traço 1	100 mm
Traço 2	170 mm
Traço 3	170 mm
Traço 4	170 mm
Traço 5	120 mm
Traço 6	140 mm
Traço 7	140 mm

(fonte: elaborado pelo autor)

Todos os corpos-de-prova foram moldados e vibrados manualmente seguindo as recomendações da norma NBR 5738, que determina parâmetros de moldagem e vibração para cada abatimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 2).

Depois de moldados os corpos-de-prova eram colocados em local protegidos do vento e do sol, para se evitar a perda excessiva de água, e ali permaneciam durante 24 horas até sua desmoldagem. Imediatamente após a desforma, os corpos-de-prova eram identificados com seu respectivo nome de traço com número de identificação e acondicionados em câmara úmida, com temperatura e umidade controladas, onde permaneciam por 28 dias. As figuras 12 a 14 mostram essas etapas.

Figura 12 – Corpos-de-prova recém moldados



(fonte: foto do autor)

Figura 13 – Corpos-de-prova desmoldados após 24 horas



(fonte: foto do autor)

Figura 14 – Corpos-de-prova acondicionados em câmara úmida



(fonte: foto do autor)

5.5 PREPARAÇÃO PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Neste item serão descritos os procedimentos preliminares ao ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova de concreto que fizeram parte deste trabalho. São basicamente três etapas: pesagem, medição e métodos de preparação das bases dos corpos-de-prova.

5.5.1 Pesagem

Passados os vinte e oito dias em câmara úmida, cada traço era retirado em sua determinada data. Em seguida eram feitas as pesagens em balança com precisão de 0,1g, sendo anotados os pesos para cada corpo-de-prova, previamente identificados, que variavam de 1 a 20. As pesagens foram feitas não só com o intuito de caracterização do traço do concreto, mas também para um rastreamento de eventuais falhas de moldagem, que poderiam levar a resultados de resistência à compressão duvidosos. A figura 15 mostra a pesagem de um dos corpos-de-prova.

Figura 15 – Pesagem dos corpos-de-prova



(fonte: foto do autor)

5.5.2 Medição

Para se estabelecer as reais dimensões de cada corpo-de-prova, foram efetuadas medidas com o uso de paquímetro digital de 300 mm, com precisão de 0,01 mm. Para verificação da relação h/D, eram obtidas duas medidas de altura, defasadas 90° uma da outra, para obter-se uma altura média para o cálculo desse coeficiente. Para os corpos-de-prova retificados, as medidas de altura eram feitas após o preparo das respectivas faces. Da mesma forma que para a altura, eram medidos dois diâmetros também defasados 90° entre eles. Com a média dos diâmetros eram feitas as devidas correções na área de aplicação de carga de cada corpo-de-prova. A figura 16 mostra uma das medições.

Figura 16 – Corpo-de-prova sendo medido



(fonte: foto do autor)

5.5.3 Métodos de preparação de bases utilizados

No presente trabalho foram utilizados três métodos para a preparação das bases dos corpos-de-prova, sendo duas variações para cada procedimento: capeamento com argamassa de enxofre seguindo as recomendações da Norma NM 77:96, argamassa de enxofre puro, capeamento com discos de neoprene com durezas de 60 e 70 Shore, e desgaste superficial com uso de retífica vertical e horizontal.

5.5.3.1 Argamassa de enxofre derretido segundo a NM 77

Para a execução deste método foram definidas duas variações em seu preparo. Tomada como referência, a Norma NM 77 (COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO, 1996), conduziu os procedimentos para a primeira variação. Para a segunda variação do método foi utilizada argamassa composta apenas por enxofre puro derretido, sem nenhuma adição à mistura, com o propósito de avaliar a influência dessas na resistência à compressão. O material utilizado foi o enxofre em pó duplamente ventilado da marca PHELPS, fabricado pela empresa RCN RUBBER LTDA, que traz as seguintes especificações em seu site mostradas pelo quadro 19.

Quadro 19 – Especificações técnicas do enxofre

Especificações do produto	
Ponto de Ebulição	444,9°C
Ponto de Fusão	119°C
Densidade	1,91
Cinzas Máx %	0,07
Pureza %	99,5 min
Umidade %	3
Estado Físico	Sólido cristalino amarelado

(fonte: adaptado de RCN RUBBER LTDA, 2011)

Para o preparo da mistura, primeiramente eram pesados em torno de 1,5 kg de enxofre, 400 gramas de caulim e 100 gramas de grafite em pó. Essas quantidades foram obtidas a partir do proporcionamento indicado era 75% de enxofre em pó, 20 % de material inerte (pozolanas como caulin ou filer) e 5% de grafite em pó. Essa medida foi padronizada para todos os traços de concreto, esta quantidade era suficiente para serem feitos os capeamentos de ambas as faces de todos os corpos-de-prova da série. Todo o material restante nos tachos de aquecimento era retirado ao fim do capeamento de cada traço, com o intuito de que todos os exemplares fossem preparados com misturas derretidas apenas uma vez.

Para uma melhor padronização do método, também foi padronizada a temperatura para aplicação da argamassa de enxofre, seguindo as recomendações da NM 77 (COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO). Foi estipulada como sendo uma temperatura de 130°C a ideal para aplicação, aferida por meio de termômetro digital infravermelho, o que acabou se confirmando. Nessa temperatura a argamassa de enxofre apresentava uma consistência que permitia uma boa homogeneidade, sem deposição de material e viscosidade consideravelmente superior à argamassa de enxofre puro que será apresentada no próximo item. As figuras 17 a 19 mostram essas etapas.

Figura 17 – Pesagem dos materiais da mistura



(fonte: foto do autor)

Figura 18 – Controle da temperatura do enxofre derretido



(fonte: foto do autor)

Figura 19 – Consistência da mistura de enxofre derretido segundo a NM 77



(fonte: foto do autor)

Após se atingir o ponto de consistência ideal, o processo se torna relativamente simples, porém necessita de alguns cuidados. O enxofre em estado derretido pode provocar queimaduras, assim, o operador deverá sempre usar equipamentos de proteção individual. O prato do capeador antes de receber o enxofre, deve estar isento de sujeira e qualquer fragmento que possa prejudicar no assentamento do corpo-de-prova. Também é interessante manter o prato sempre untado com óleo, para facilitar a retirada do corpo de prova após o capeamento de cada face. A figura 20 mostra o prato com a mistura derretida preparada para receber o corpo-de-prova.

Figura 20 – Mistura pronta no capeador



(fonte: foto do autor)

Depois da colocação do enxofre no prato de capeamento, o corpo-de-prova era colocado imediatamente no capeador, sempre dando atenção à ortogonalidade entre as faces e a lateral do corpo-de-prova. Isso era garantido pela cantoneira que existe na parte de trás do capeador, onde a lateral do corpo-de-prova deve ficar completamente encostado. Também foram tomados os cuidados para que as faces se encontrassem completamente mergulhadas no enxofre derretido. Para se evitar que ficassem bolhas ou vazios indesejáveis sob a camada de capeamento, era exercido uma pressão por conta da mão do operador contra o corpo-de-prova até que a argamassa de enxofre iniciasse sua secagem. As figuras 20 e 21 mostram essas etapas.

Figura 21 – Corpo-de-prova fixado pelo operador



(fonte: foto do autor)

Figura 22 – Mistura envolvendo completamente a face do corpo-de-prova



(fonte: foto do autor)

Executado o capeamento das duas faces, os corpos-de-prova eram colocados em superfície limpa, onde permaneciam pelo período mínimo de duas horas passadas da execução dos capeamentos, até ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

Um detalhe importante à ser destacado foi a rapidez com que a mistura endurecia. A presença do caulim e do grafite na mistura fez com que a mistura secasse mais rápido que a argamassa de enxofre puro, porém, ocorriam retrações excessivas na superfície, causando fissuras significativas no capeamento, causando prejuízos como perda de aderência entre o corpo-de-prova e o capeamento, como mostram a figura 23.

Figura 23 – Fissuras provocadas pela retração excessiva da mistura



(fonte: foto do autor)

Executado o capeamento das duas faces, os corpos-de-prova eram colocados em superfície limpa, onde permaneciam pelo período mínimo de duas horas passadas da execução dos capeamentos, até ser submetidos ao ensaio de resistência à compressão. A figura 24 mostra corpo-de-prova pronto para ser ensaiado.

Figura 24 – Corpo-de-prova preparado com mistura de enxofre segundo a NM 77



(fonte: foto do autor)

5.5.3.2 Argamassa de enxofre puro derretido

A execução desse método teve seus procedimentos exatamente iguais ao método regido pela NM 77, exceto na composição de sua mistura, que foi preparada apenas com o uso de enxofre puro derretido. A figura 25 mostra o enxofre puro derretido.

Figura 25 – Consistência do enxofre puro derretido



(fonte: foto do autor)

O enxofre puro derretido mostrou-se consideravelmente mais fluido que a mistura proposta pela Norma NM 77, como mostra a figura 26.e 27.

Figura 26 – Capeador pronto para receber o corpo-de-prova



(fonte: foto do autor)

Figura 27 – Enxofre puro derretido envolvendo todo corpo-de-prova



(fonte: foto do autor)

As faces preparadas com enxofre puro apresentaram excelente acabamento superficial, não apresentando fissuras e boa aderência com o concreto, como mostram as figuras 28 e 29..

Figura 28 – Aparência de face preparada com enxofre puro derretido



(fonte: foto do autor)

Figura 29 – Corpo-de-prova preparado com enxofre puro pronto para ensaio



(fonte: foto do autor)

5.5.3.3 Discos de neoprene

O uso de capeamentos não colados com o uso de neoprene tem ganhado espaço em empresas e laboratórios que trabalham com controle tecnológico, porém não existem muito estudos sobre este material. Este foi um dos motivos que incentivaram esta pesquisa a colaborar nesse sentido. Esse método não é citado por nenhuma norma vigente no Brasil, mas a ASTM C1231 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2000) dá recomendações para a execução do ensaio, como por exemplo, a dureza nominal a ser usada para cada intervalo de resistência, que são mostradas pelo quadro 20.

Quadro 20 – Durezas Shore para intervalos de resistências

Resistência à compressão do corpo-de-prova (MPa)	Dureza Shore A
10 a 40	60
17 a 50	60
28 a 50	70
50 a 80	70
Acima de 80	Não permitido

(fonte: adaptado de AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2000, p. 1)

Para os ensaios foram adquiridos discos de neoprene com 104 mm de diâmetro e 10 mm de espessura, produzidos pela empresa SOLOTEST Ltda, com durezas nominais de 60 e 70 shore. Com a intenção de minimizar as influências do uso da borracha, foi colocado a disposição um par de discos novos para cada resistência, fazendo com que cada disco fosse usado no máximo 5 vezes (número de corpos-de-prova por traço), totalizando dezesseis discos de neoprene usados para a execução desse método de capeamento. Foram utilizados um par de pratos metálicos de confinamento, que impediam a deformação excessiva do neoprene. Como mostram as figuras 30 e 31, os discos não se diferenciam em nenhuma característica visível.

Figura 30 – Disco de neoprene de dureza 60 shore e pratos de confinamento



(fonte: foto do autor)

Figura 31 – Disco de neoprene de dureza 70 shore e pratos de confinamento



(fonte: foto do autor)

Dentre os 3 métodos analisados, o capeamento de corpos-de-prova por discos de neoprene, mostrou-se como sendo o procedimento de maior facilidade de execução e menor influência do operador, desde que dada a devida atenção para algumas particularidades do procedimento de ensaio.

Como etapa inicial, o prato deve ser bem limpo antes da colocação do disco em seu interior, em caso de dificuldade em sua colocação pode-se colocar talco para auxiliar o encaixe. Como procedimento subsequente deve-se sempre fazer com que no topo dos corpos-de-prova fiquem isentos de saliências pontiagudas, que de alguma forma possam avariar a superfície do disco

no momento do ensaio. As figura 32 e 33 mostram a superfície de um corpo-de-prova pronto para ser ensaiado.

Figura 32 – Superfície do corpo-de-prova antes de ser ensaiado



(fonte: foto do autor)

Figura 33 – Corpo-de-prova pronto para ser ensaiado com discos de neoprene



(fonte: foto do autor)

Foi observado que em algumas situações, bolsas de ar ficavam aprisionadas abaixo do disco de neoprene, estas bolsas devem sempre ser retiradas, para isto se utilizava uma chave de fenda para afastamento do disco das paredes do prato, permitindo assim a saída do ar. Para a garantia de um bom andamento dos ensaios, a cada corpo-de-prova ensaiado, os discos eram limpos com vassoura, retirando todos os fragmentos restantes do ensaio, em seguida era verificada a posição correta dos discos.

5.5.3.4 Desgaste superficial por retífica vertical

O processo de preparação das bases de corpos-de-prova por desgaste superficial é citado pela norma NM 77 (COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO, 1996, p. 6), porém são muito limitadas as informações, Apenas indica que o desgaste deve ser feito em camadas através de disco diamantado. No mercado existem diferentes modelos de máquinas para a retificação dos corpos-de-prova, provavelmente pela falta de especificação normativa.

O modelo utilizado foi a retífica vertical pneumática da empresa SOLOTEST Ltda, especificada para corpos-de-prova de 10 e 15 cm de diâmetro e 20 e 30 cm de altura, respectivamente. A figura 34 traz uma visão geral da máquina.

Figura 34 – Retífica vertical pneumática utilizada



(fonte: foto do autor)

A máquina possui uma cápsula com um braço pneumático para aprisionamento do corpo-de-prova, o que garante sua perpendicularidade entre a superfície lateral e o disco diamantado de desgaste. Com o corpo-de-prova fixado, a máquina permite um ajuste manual de aproximação bastante sensível, assim eram retiradas camadas pouco espessas, até se alcançar uma superfície plana e lisa. Com o intuito de minimizar os efeitos de vibração que podem afetar nos resultados de resistência à compressão, o avanço do cabeçote onde se encontra o disco

diamantado também era feito de forma lenta e uniforme. As figuras 35 e 36 mostram com mais detalhes a retificadora.

Figura 35 – Corpo-de-prova sendo retificado com retífica vertical



(fonte: foto do autor)

Figura 36 – Disco diamantado da retífica vertical



(fonte: foto do autor)

Os corpos-de-prova tiveram suas duas faces retificadas, realizada aos 28 dias de idade. A regularização da face correspondente ao fundo da fôrma se faz necessária, mesmo que em muitas vezes apresente bom acabamento. O desgaste dos moldes causa concavidades nos corpos-de-prova, muitas vezes imperceptíveis, mas facilmente visualizados no momento da retirada da primeira camada pela retífica.

O acabamento ao fim do processo se mostrou muito bom, e deixava o corpo-de-prova apto para o ensaio de resistência à compressão. As figuras 37 e 38 deixam mais claro esse aspecto.

Figura 37 – Aparência da superfície retificada



(fonte: foto do autor)

Figura 38 – Corpo-de-prova retificado



(fonte: foto do autor)

5.5.3.5 Desgaste superficial por retífica horizontal

O modelo utilizado foi uma retífica manual da empresa SETOR USINAGEM Ltda, especificada para corpos-de-prova de até 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, respectivamente. A figura 39 traz uma visão geral da máquina.

Figura 39 – Retífica horizontal utilizada



(fonte: foto do autor)

A máquina possui uma cantoneira onde é colocado o corpo-de-prova deitado, com o auxílio de uma alavanca ativada manualmente, o operador consegue fazer com que o corpo-de-prova fique preso à máquina. Após se ter a certeza de uma boa fixação, é deslocado de cima para baixo o disco diamantado da máquina retirando camadas das superfícies, assim como acontece na retífica vertical. As figuras 40 e 41 mostram a fixação do corpo-de-prova e detalhe do disco diamantado.

Figura 40 – Corpo-de-prova sendo retificado com retífica horizontal



(fonte: foto do autor)

Figura 41 – Disco diamantado da retífica horizontal



(fonte: foto do autor)

Basicamente as duas retíficas trabalham a partir do mesmo princípio, utilizando um cabeçote com um disco diamantado, se diferenciando principalmente na estrutura de fixação e operação da máquina. O acabamento também se apresentou muito bom, se comparado à retífica vertical. As superfícies retificadas com retífica horizontal sofreram um desgaste maior que a vertical, como podemos ver na figura 42 pode-se observar a exposição muito maior dos agregados, fato que não impossibilita o uso do corpo-de-prova.

Figura 42 – Aparência da superfície preparada com retífica horizontal



(fonte: foto do autor)

5.6 RUPTURAS

Com todos os corpos-de-prova de cada resistência prontos para serem ensaiados, todos eram rompidos segundo a seguinte sequência :

- a) capeados com enxofre segundo a Norma NM 77
- b) capeados com enxofre puro;
- c) retificados com retífica vertical
- d) retificados com retífica horizontal;
- e) com neoprene dureza 60 shore;
- f) com neoprene dureza 70 shore.

A máquina utilizada para a realização dos ensaios foi uma prensa hidráulica, servo controlada computadorizada da marca SHIMADZU, com capacidade máxima de 2000 KN, como mostra a figura 43.

Figura 43 – Prensa hidráulica utilizada



(fonte: foto do autor)

Antes das rupturas, o fabricante da máquina indica um processo de ciclagem na máquina, que tem a função de alcançar a distribuição do óleo hidráulico e temperatura ideal de

funcionamento. Feito isso eram programados os parâmetros de ensaio na máquina, como dimensões dos corpos-de-prova e velocidade de carregamento definida como 0,45 MPa/s.

Antes da colocação de todos corpos-de-prova, os pratos de aplicação de carga da prensa eram limpos para diminuir ao máximo o atrito entre as faces e a superfície dos mesmos. As figuras 44 a 46 mostram corpos-de-prova capeados com enxofre segundo a Norma NM 77 e enxofre puro derretido, em carga na prensa e a forma de suas respectivas rupturas.

Figura 44 – Corpo-de-prova capeado com enxofre sendo ensaiado



(fonte: foto do autor)

Figura 45 – Ruptura de corpo-de-prova capeado com enxofre puro



(fonte: foto do autor)

Figura 46 – Ruptura de corpo-de-prova capeado com enxofre segundo a NM 77



(fonte: foto do autor)

Como se pode observar, os dois métodos apresentaram rupturas satisfatórias e semelhantes, mostrando fissuração generalizada, onde se mostraram processos competentes em relação a distribuição uniforme de carga sobre o corpo-de-prova. As figuras 47 a 48 mostram o ensaio com corpos-de-prova retificados com máquinas vertical e horizontal e sua respectiva ruptura.

Figura 47 – Corpo-de-prova retificado sendo ensaiado



(fonte: foto do autor)

Figura 48 – Ruptura de corpo-de-prova retificado com retífica vertical



(fonte: foto do autor)

Figura 49 – Ruptura de corpo-de-prova retificado com retífica horizontal



(fonte: foto do autor)

Igualmente ao capeamento com enxofre a ruptura dos corpos-de-prova retificados com ambas retíficas apresentaram-se generalizadas e distribuídas sobre toda seção. Esse fato é sempre importante ressaltar caracteriza uma ruptura sem concentrações de carga perceptíveis sem o uso de nenhum recurso à não ser a acuidade visual do operador. As figuras 50 a 53 apresentam as rupturas com o uso de discos de neoprene com durezas de 60 e 70 shore.

Figura 50 – Corpo-de-prova com disco de neoprene confinado sendo ensaiado



(fonte: foto do autor)

Figura 51 – Ruptura de corpo-de-prova ensaiado com neoprene dureza 60 shore



(fonte: foto do autor)

Figura 52 – Ruptura de corpo-de-prova ensaiado com neoprene dureza 70 shore



(fonte: foto do autor)

Da mesma forma que os demais métodos se mostraram eficiente, com rupturas distribuídas em toda seção do corpo-de-prova, se diferenciava apenas no momento da ruptura, onde apresentou rompimento mais brusco. Na medida em que as resistências aumentavam esse efeito também foi maximizado, como mostra a figura 53.

Figura 53 – Ruptura Brusca com discos de neoprene



(fonte: foto do autor)

5.7 RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto que tiveram suas bases preparadas por seis diferentes procedimentos. No Apêndice A estão apresentadas as tabelas com dados como pesagens, medições, e cargas resistentes individualizadas. A seguir estão apresentados de forma mais simplificada com a intenção de facilitar a compreensão e conclusão dos resultados. O quadro 21 traz uma compilação dos dados, onde apresenta as resistências médias à compressão e os respectivos desvios padrões e coeficientes de variações de ensaio.

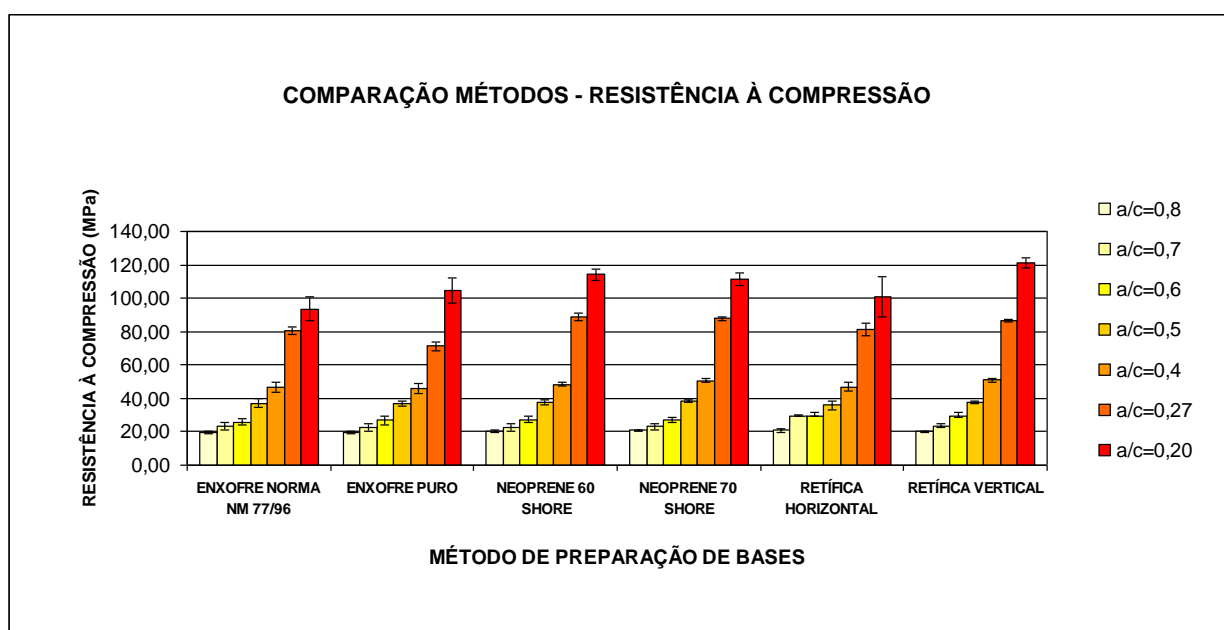
Quadro 21 – Compilação geral dos dados

TABELA GERAL DE RESULTADOS - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)								
MÉTODO		Relação a/c						
		0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,27	0,2
ENXOFRE NORMA NM 77/96	MÉDIA	19,49	23,21	25,65	37,24	46,87	80,68	93,54
	DESVIO PADRÃO	0,85	2,03	1,40	2,35	2,92	2,06	7,01
	COEF DE VARIAÇÃO	4,36%	8,76%	5,47%	0,06	6,24%	2,55%	7,49%
ENXOFRE PURO	MÉDIA	19,49	22,49	27,12	36,99	46,02	71,20	104,91
	DESVIO PADRÃO	0,83	2,10	2,69	1,48	3,26	2,50	7,50
	COEF DE VARIAÇÃO	4,24%	9,33%	9,91%	4,00%	7,09%	3,52%	7,15%
NEOPRENE 60 SHORE	MÉDIA	20,49	22,69	27,04	37,59	48,27	88,85	114,14
	DESVIO PADRÃO	0,62	2,35	1,56	1,29	1,09	2,06	3,22
	COEF DE VARIAÇÃO	3,04%	10,35%	5,76%	3,42%	2,25%	2,32%	2,82%
NEOPRENE 70 SHORE	MÉDIA	20,77	23,16	26,76	38,36	50,77	87,70	111,37
	DESVIO PADRÃO	0,65	1,73	1,27	1,00	0,88	1,32	3,90
	COEF DE VARIAÇÃO	3,14%	7,46%	4,73%	2,60%	1,73%	1,51%	3,50%
RETÍFICA HORIZONTAL	MÉDIA	21,01	29,61	29,61	35,93	46,96	81,25	100,86
	DESVIO PADRÃO	1,12	0,51	0,51	2,50	2,61	3,51	11,92
	COEF DE VARIAÇÃO	5,34%	1,73%	1,73%	0,07	5,55%	4,32%	11,82%
RETÍFICA VERTICAL	MÉDIA	20,08	23,69	29,57	37,77	51,07	86,61	120,94
	DESVIO PADRÃO	0,36	1,17	1,13	0,85	1,16	0,86	3,14
	COEF DE VARIAÇÃO	1,80%	4,92%	3,84%	2,24%	2,28%	1,00%	2,60%

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 54 mostra a comparação entre a resistência à compressão e os diferentes métodos utilizados para os diferentes níveis de resistência à compressão. Pode-se observar também que ocorre um crescimento semelhante da resistência à compressão para as diferentes relações a/c, independentemente do método de preparação das bases.

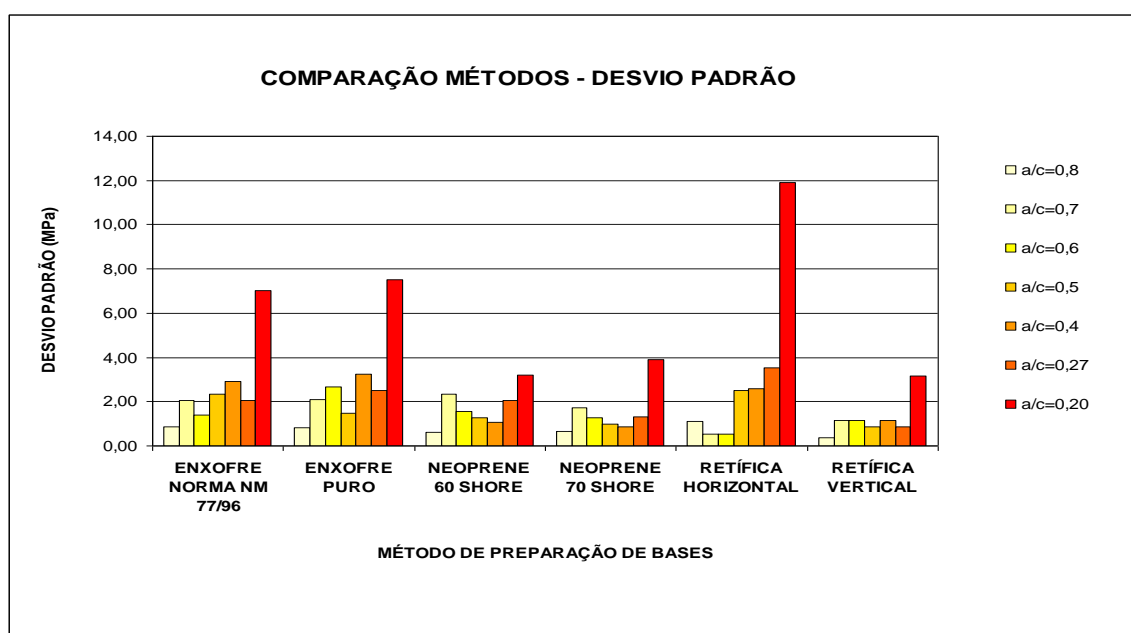
Figura 54 – Comparação geral entre métodos para diferentes níveis de resistência



(fonte: elaborada pelo autor)

Para a avaliação da uniformidade dos resultados de ensaio, foi calculado o desvio padrão de cada série de dados. A figura 55 mostra o desvio padrão dos diferentes métodos de preparação de base para todos os níveis de resistência, simbolizados pelas relações a/c que variaram de 0,8 a 0,2. Não se pode comparar desvios padrões entre as resistências, pois inevitavelmente com o aumento desta, também ocorre uma elevação na magnitude do desvio padrão de ensaio, porém, pode-se notar uma tendência de maiores desvios nos capeamentos com enxofre, e menores nos corpos-de-prova preparados por retificação vertical.

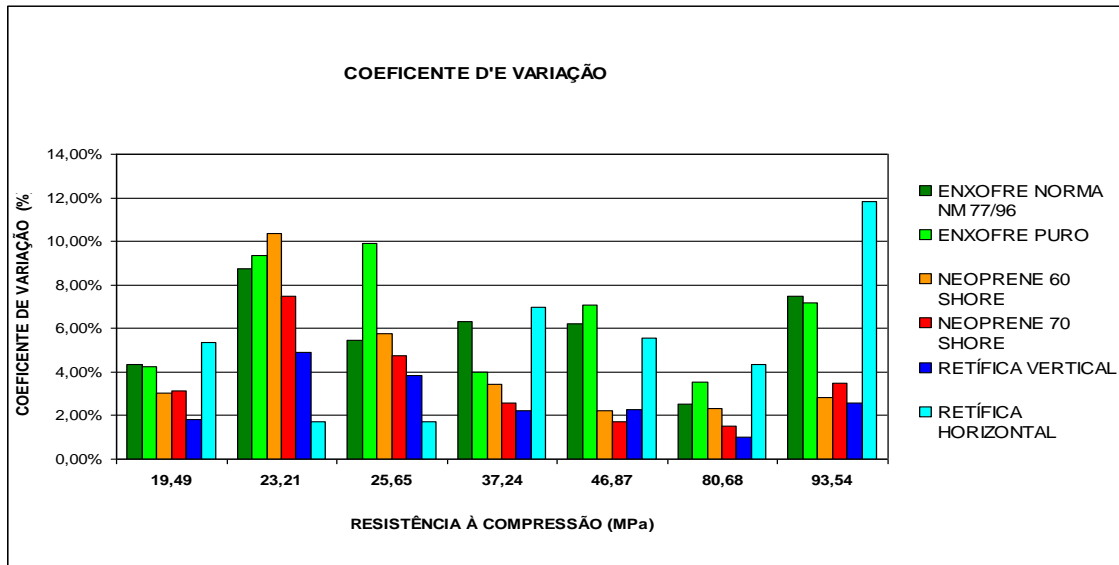
Figura 55 – Desvio padrão dos métodos para diferentes níveis de resistência



(fonte: elaborada pelo autor)

Para ser feita a avaliação da comparação da capacidade de cada método nas diferentes resistências estudadas, calculou-se os coeficientes de variação de cada série, assim pode-se ter uma melhor idéia através da figura 56, que mostram coeficientes muito próximos dos métodos em todo intervalo de resistências. Também podemos observar um coeficiente de variação superior para todos os métodos nas resistências próximas à 25, 30 e 40 MPa, o que pode representar uma variação devida ao material e não ao método propriamente dito. Este dado provavelmente pode ser explicado pelo fato de que o valor do abatimento por tronco de cone desses concretos, ter atingido valores consideravelmente superiores aos demais, gerando perda da homogeneidade do material.

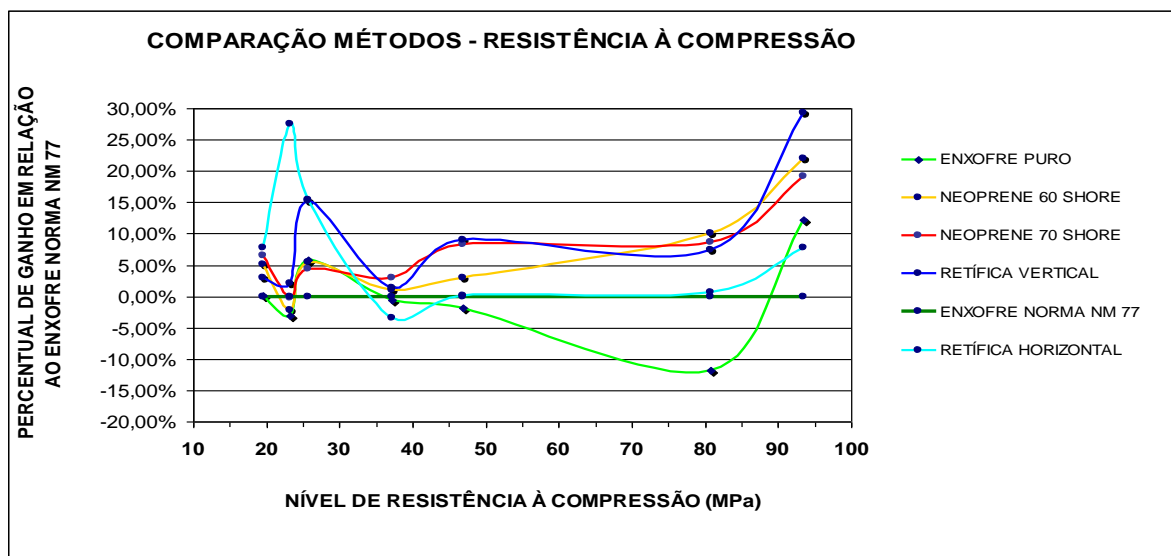
Figura 56 – Coeficientes dos métodos para diferentes níveis de resistência



(fonte: elaborada pelo autor)

Para a quantificação do ganho ou perda de resistência com a mudança no tratamento das bases dos corpos-de-prova, tomou-se como referência o capeamento indicados pela Norma NM 77, sendo este o método mais detalhado em Normas vigentes no Brasil. Assim a figura 57 mostra em porcentagem a diferença na resistência dos corpos-de-prova, quando submetidos a diferentes tratamentos de suas faces. Pode-se observar também qual o método que obtém maior resistência média, para os diferentes níveis.

Figura 56 – Ganho de resistência em relação ao capeamento com enxofre NM 77



(fonte: elaborada pelo autor)

Para uma melhor análise dos dados, foi feita uma análise de variância com o uso do software STATISTICA 6.0, para que se tivesse uma melhor idéia da diferença entre os métodos. Com os valores obtidos dessa análise pode-se complementar as conclusões tiradas visualmente através dos gráficos já apresentados. O “*p level*” representa o nível de significância de uma variável em uma série de dados, sendo que valores abaixo de 0,05 representam diferenças significativas entre as variáveis. Primeiramente foi feito uma avaliação da resistência à compressão variando-se a relação a/c, onde se mostrou significativa, conclusão que já era esperada, e veio a se confirmar. Como mostra o quadro 22 o tipo de preparação de bases também se mostrou significativa numa visão global da resistência à compressão.

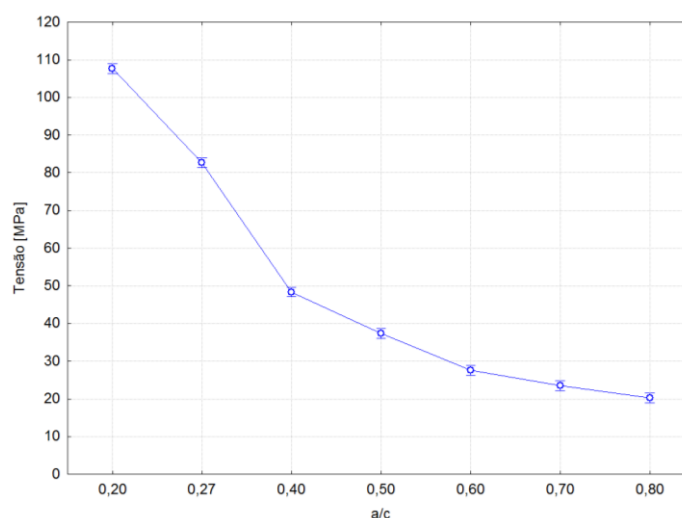
Quadro 22 – Análise de variância global

EFFECT	Univariate Tests of Significance for Tensão (Spreadh) Sigma Restrictedparameterization Effective hyphotesis decomposition				
	SS	Degr.of freedon	MS	F	p
Intercept	491622,2	1	491622,2	40465,36	0,000000
"a/c"	185446,3	6	30907,7	2544,01	0,000000
Tipo de Base	1065,9	5	213,2	17,55	0,000000
"a/c" /Tipo de base	2469,6	30	82,3	6,78	0,000000
Error	1943,9	160	12,1		

(fonte: adaptado do software STATISTICA 6.0)

A figura 57 mostra graficamente essa diferença.

Figura 57 – Influência da relação a/c na resistência à compressão do concreto



(fonte: elaborada pelo autor)

Foi feita uma análise entre os métodos, o que nos possibilita um levantamento mais minucioso das diferenças que os métodos de preparação das faces podem causar. Diferenças que muitas vezes não são visualizadas por meio gráfico, ou utilizando a média aritmética. O quadro 23 mostra os valores de “p” para todas combinações.

Quadro 22 – Análise de variância global

Combinações	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,27	0,2
Combinações	Valores de "p" para cada análise grupo a grupo						
Enxofre Norma / Enxofre Puro	0,9934	0,6601	0,4108	0,8715	0,7067	0,0030	0,0575
Enxofre Norma / Retífica Horizontal	0,0625	0,1024	0,0013	0,5026	0,9643	0,8321	0,3200
Enxofre Norma / Retífica Vertical	0,2363	0,7057	0,0046	0,6904	0,0284	0,0071	0,0004
Enxofre Norma / Neoprene 60	0,0945	0,7664	0,2583	0,8061	0,3947	0,0033	0,0007
Enxofre Norma / Neoprene 70	0,0439	0,9762	0,3069	0,4201	0,0340	0,0023	0,0051
Enxofre Puro / Retífica Horizontal	0,0610	0,0364	0,1064	0,4848	0,6630	0,0016	0,5810
Enxofre Puro / Retífica Vertical	0,2297	0,3450	0,1315	0,3884	0,0193	0,0000	0,0096
Enxofre Puro / Neoprene 60	0,0909	0,9008	0,9621	0,5574	0,2258	0,0000	0,0536
Enxofre Puro / Neoprene 70	0,0416	0,6309	0,8163	0,1624	0,0227	0,0000	0,2108
Retífica Horizontal / Retífica Vertical	0,1528	0,0637	0,9519	0,3336	0,0205	0,0338	0,0233
Retífica Horizontal / Neoprene 60	0,4387	0,0619	0,0140	0,4200	0,3800	0,0058	0,0637
Retífica Horizontal / Neoprene 70	0,7192	0,0557	0,0032	0,1986	0,0244	0,0089	0,1792
Retífica Vertical / Neoprene 60	0,2900	0,4667	0,0305	0,8238	0,0079	0,1165	0,0263
Retífica Vertical / Neoprene 70	0,1017	0,6274	0,0108	0,3892	0,6896	0,2507	0,0162
Neoprene 60 / Neoprene 70	0,5503	0,7524	0,7869	0,3701	0,0073	0,3765	0,3376

(fonte: elaborado pelo autor)

A partir do quadro podemos notar que na maior parte das resistências existe diferenças significantes entre os métodos, principalmente as combinações que envolviam tratamentos por retífica vertical e discos de neoprene. A retífica vertical se mostrou um método bastante eficiente em todos as resistências, seguida pelo método que utiliza o neoprene de ambas durezas.

6.0 CONCLUSÕES

O capeamento realizado com a mistura indicada em Norma em nenhum momento apresentou os melhores resultados, onde foi superior apenas ao capeamento com enxofre puro em resistências à compressão maiores que 50 MPa, provavelmente devido aos danos causados por sua elevada retração que causa fissuras e falta de aderência com o concreto.

O uso de capeamento com enxofre de maneira geral se apresentou satisfatório em resistências até 40MPa, até essa resistência apresentou sensível redução se comparado à outros métodos. Também apresentou coeficientes de variação geralmente superiores aos outros métodos.

O método utilizando discos de neoprene se mostrou um método muito interessante, onde juntamente com a retífica vertical sempre esteve entre as maiores resistências, apresentando coeficientes de variação baixos em todos níveis de resistência.

A retificação por retífica horizontal se apresentou um método bastante variável, mas nas resistências até 30 MPa pode ser utilizado sem perdas significativas na resistência.

A retificação por retífica vertical se mostrou o método que apresentou os resultados mais uniformes, com desvios padrões e coeficientes de variações muito baixos, se mostrando uma alternativa interessante em todos níveis de resistência.

Concretos com resistências entre 20 e 30 MPa podem ter suas bases preparadas por todos métodos propostos sem diferenças significativas em sua resistência

Concretos com resistências entre 30 e 50 MPa adquirem maiores resistências com o uso de discos de neoprene 70 shore, seguido sem diferenças significativas do neoprene 60 shore e retífica vertical.

Concretos de resistências próximas à 90 MPa apresentaram melhores resultados tanto com o uso de discos de neoprene de ambas durezas como uso de retífica vertical.

Concretos de alta resistência com tensões próximas à 120 MPa tem como método mais apropriado o uso de retífica vertical, seguido de discos de neoprene 60 shore.

Discos de neoprene 70 shore apresentaram melhores resultados que neoprene 60 shore em resistências entre 20 e 50 MPa, a partir daí o efeito se inverte, onde na ausência da possibilidade do uso de uma retífica vertical, o uso de neoprene 60 shore se apresenta significativamente superior ao neoprene 70 shore.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1231/C**: standard practice for use of unbounded caps in determination of compressive strength of hardened concrete cylinders. New México, 2000.

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

_____. **NBR 12655**: preparo controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7211**: agregados para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5739**: concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.

BASF SA. Aditivos. Disponível em:

<<http://www.basfcc.com.br/PT/produtos/aditivos/Pages/default.aspx>>. Acesso em: 23 out. 2011.

BEZERRA, A. C. S. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concreto**: uma análise experimental e computacional. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAUÊ CIMENTOS SA. Cauê Exato. Disponível em:

<<http://www.caue.com.br/Institucional/LinhaCimentos/Paginas/caue-exato.aspx>>. Acesso em: 23 out. 2011.

COMITÊ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 77:96**: concreto: preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão. Buenos Aires, 1996.

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, G. C. (Ed) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 1. p. 483-526.

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.

IMPERCIA ATACADISTA LTDA. Representante e distribuidor de produtos químicos para a construção civil. Goiânia/GO. Disponível em: <<http://www.impercia.com.br/pt-br/home.php>>. Acesso em: 23 out. 2011.

MEHTA, P. K.; AITCIN, P. C. **Principles underlying production of high-performance concrete: cement, concrete and aggregates**. Philadelphia, n. 2, p. 70-78, Winter, 1990.

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

RCN RUBBER LTDA. Indústria e comércio. Santa Isabel/SP. Disponível em: <<http://www.rcnrubber.com.br/Contato.htm>>. Acesso em: 23 out. 2011.

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. 2006. 83 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

APÊNDICE A – Medidas e pesos dos corpos-de-prova

TABELA GERAL DE RESULTADOS TRAÇO 1 - a/c = 0,8										
MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NM 77/96	1	3794,6	100,2	100,1	100,15	200,9	201,9	201,4	149,5	18,99
	2	3820,4	100,2	101,7	100,95	201,5	201,2	201,35	154,5	19,31
	3	3894,3	100,3	101,8	101,05	202,1	201,9	202	153	19,09
	4	3883,8	100,2	101,5	100,85	202,3	201,7	202	169	21,17
	5	3898,1	100,7	101,1	100,9	202,1	202,4	202,25	151	18,89
ENXOFRE PURO	6	3850,5	99,7	101,8	100,75	202	202,4	202,2	162	20,33
	7	3910,8	100,2	101,3	100,75	203,3	202,1	202,7	163,5	20,52
	8	3911,2	101,2	101,7	101,45	202	202,1	202,05	152	18,81
	9	3812,3	102,3	104,2	103,25	201,3	200,6	200,95	154	18,40
	10	3866,6	99,9	101,5	100,7	205	205,3	205,15	154,5	19,41
NEOPRENE 60 SHORE	11	3868,5	100,6	101,9	101,25	202	202,4	202,2	160	19,88
	12	3868,2	99,7	101,9	100,8	202,8	203,1	202,95	163	20,44
	13	3868,5	101,5	100,5	101	202,4	202,3	202,35	159	19,86
	14	3793,2	100,2	101,5	100,85	200	200	200	165,5	20,73
	15	3855,8	100	101,7	100,85	201,2	201,3	201,25	172	21,54
NEOPRENE 70 SHORE	16	3875,3	101	101,5	101,25	201,3	201	201,15	166	20,63
	17	3885,4	100,1	101,5	100,8	201,7	201,9	201,8	162,5	20,37
	18	3971,2	100,7	101,2	100,95	206,8	205,8	206,3	175	21,88
	19	3894,2	99,8	101,7	100,75	202,6	202,3	202,45	167,5	21,02
	20	3863	100,2	101,3	100,75	201,3	201,9	201,6	159	19,95
RETÍFICA HORIZONTAL	21	3836,1	100,5	101,5	101	201	201,7	201,35	179	22,35
	22	3888,1	100,3	101,6	100,95	203,5	202,9	203,2	172	21,50
	23	3739,6	100,2	101,6	100,9	199,8	200,3	200,05	171,5	21,46
	24	3797,2	100	101,4	100,7	201,5	201,3	201,4	165	20,73
	25	3806,5	100,5	101,3	100,9	203,5	203,1	203,3	152	19,02
RETÍFICA VERTICAL	26	3916,7	100,6	101,4	101	203,7	204,1	203,9	159,5	19,92
	27	3782,3	100,8	101,9	101,35	201,7	201,1	201,4	160,5	19,90
	28	3795,4	100,6	101,9	101,25	200,2	200,7	200,45	166,5	20,69
	29	3893,2	100,5	101,7	101,1	202,4	202,5	202,45	162,5	20,25
	30	3886,7	99,3	102,2	100,75	201,8	202,8	202,3	156,5	19,64

TABELA GERAL DE RESULTADOS TRAÇO 2 - a/c = 0,7										
MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NIM 77/96	1	3859,50	100,60	101,80	101,20	202,10	201,40	201,75	187,50	23,32
	2	3895,00	98,70	101,70	100,70	201,90	202,00	201,95	193,00	24,25
	3	3898,60	100,00	101,80	100,90	202,30	203,90	203,10	*	X
	4	3971,60	100,20	101,50	100,85	203,20	203,80	203,50	159,00	19,91
	5	3961,50	100,70	101,30	101,00	203,00	202,00	202,50	203,00	25,35
ENXOFRE PURO	6	3882,50	100,20	101,70	100,95	201,80	202,40	202,10	172,00	21,50
	7	3884,20	99,30	102,00	100,65	202,90	202,60	202,75	154,00	19,37
	8	3962,90	100,30	102,00	101,15	202,00	201,80	201,90	181,00	22,54
	9	4014,20	99,70	102,10	100,90	203,50	204,10	203,80	186,00	23,27
	10	3932,00	99,80	101,60	100,70	202,00	203,00	202,50	205,00	25,75
NEOPRENE 60 SHORE	11	3870,00	100,30	101,30	100,80	201,80	202,40	202,10	191,00	23,95
	12	3893,00	100,80	101,30	101,05	202,00	202,30	202,15	190,00	23,70
	13	3886,50	100,40	101,40	100,90	201,50	201,60	201,55	180,50	22,59
	14	3883,00	100,20	101,40	100,80	202,20	201,90	202,05	145,50	18,24
	15	3947,00	100,60	101,70	101,15	204,20	201,90	203,00	200,50	24,96
NEOPRENE 70 SHORE	16	3804,00	101,10	101,70	101,40	202,20	201,60	201,90	166,00	20,57
	17	3887,00	100,00	102,20	101,10	202,30	203,30	202,80	177,00	22,06
	18	3927,00	100,30	101,50	100,90	201,60	202,40	202,00	191,50	23,96
	19	3849,00	99,80	101,70	100,75	202,60	201,30	201,95	188,00	23,59
	20	3933,00	100,50	101,10	100,80	201,90	202,30	202,10	204,50	25,64
RETÍFICA HORIZONTAL	21	3873,4	100,3	101,4	100,85	198,2	197,9	198,05	236,5	29,62
	22	3900	100,3	101,3	100,8	198,3	198,8	198,55	232,5	29,15
	23	3907	100,1	101,9	101	198,5	198,1	198,3	242,5	30,28
	24	3859	100,3	101,4	100,85	198,8	198,5	198,65	240	30,06
	25	3881	99,9	102	100,95	198,16	197,9	198,03	231,5	28,94
RETÍFICA VERTICAL	26	3955,00	100,10	101,70	100,90	201,00	201,00	201,00	194,50	24,34
	27	3801,00	100,50	101,80	101,15	198,80	198,80	198,80	197,00	24,53
	28	3853,00	100,80	101,80	101,30	198,60	198,60	198,60	196,50	24,39
	29	3825,00	100,50	101,50	101,00	199,60	199,80	199,70	171,50	21,42
	30	3771,00	100,30	101,50	100,90	200,00	200,20	200,10	190,00	23,77

TABELA GERAL DE RESULTADOS TRAÇO 3- a/c = 0,6										
MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NIM 77/96	1	3948	99,4	102,0	100,7	201,9	201,6	201,75	200	25,12
	2	3945	100,8	101,8	101,3	202,3	201,7	202	208,5	26,01
	3	3821	101,1	101,3	101,2	203,3	201,9	202,6	215	X
	4	3941	100,6	100,7	100,65	201,7	201,8	201,75	220	27,66
	5	3919	100,2	102,0	101,1	202,3	202,4	202,35	191	23,80
ENXOFRE PURO	6	4004,4	100,7	101,4	101,05	201,1	201,6	201,35	191,5	23,89
	7	3987,2	99,9	101,8	100,85	203,3	202,6	202,95	235	29,43
	8	3959	100,8	102,1	101,45	202	202,4	202,2	243,5	30,14
	9	3851	99,7	101,5	100,6	202,3	202	202,15	224	28,20
	10	3912,58	100,0	101,6	100,8	202,1	201,9	202	191	23,95
NEOPRENE 60 SHORE	11	3916	100,4	101,2	100,8	202,7	201,9	202,3	211,5	26,52
	12	3960	100,5	101,4	100,95	201,4	201,5	201,45	194	24,25
	13	3976	100,3	102,4	101,35	202,8	202,2	202,5	227	28,15
	14	3882	99,8	101,6	100,6	201,7	201,7	201,7	227	28,57
	15	3911	101,4	101,7	101,55	201,7	202	201,85	224,5	27,73
NEOPRENE 70 SHORE	16	3926	100,0	101,9	100,95	202	201,5	201,75	226,5	28,31
	17	3896	99,9	101,4	100,65	202,9	202,3	202,6	195,5	24,58
	18	3950	100,5	102,1	101,3	201,7	201,5	201,6	219,5	27,25
	19	4019	100,7	101,8	101,25	202,8	202,7	202,8	220,5	27,40
	20	3948	100	101,8	100,9	201,2	201,2	201,2	210	26,28
RETÍFICA HORIZONTAL	21	3873,4	100,3	101,4	100,85	198,2	197,9	198,05	236,5	29,62
	22	3900	100,3	101,3	100,8	198,3	198,8	198,55	232,5	29,15
	23	3907	100,1	101,9	101	198,5	198,1	198,3	242,5	30,28
	24	3859	100,3	101,4	100,85	198,8	198,5	198,65	240	30,06
	25	3881	99,9	102	100,95	198,16	197,9	198,03	231,5	28,94
RETÍFICA VERTICAL	26	3831	99,9	101,7	100,8	199,5	199,5	199,5	221,5	27,77
	27	3890	100,8	101,1	100,95	199,7	199,9	199,8	249	31,13
	28	3842	100,7	101,8	101,25	201	200,9	200,95	243	30,20
	29	3844	100,3	102,3	101,3	200	200,1	200,05	233,5	28,99
	30	3854	100	101,8	100,9	200,1	200	200,05	238	29,78

TABELA GERAL DE RESULTADOS TRAÇO 4 - a/c = 0,5										
MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NIM 77/96	1	3967	100,2	102,1	101,15	202,2	202,2	202,2	284	35,36
	2	4028	100,2	101,4	100,8	202,5	203	202,75	319	39,98
	3	3839	100,1	101,9	101	201,6	201,9	201,75	274,5	X
	4	4018	99,7	102,3	101	202	202,5	202,25	313	39,09
	5	4001	100,1	101,8	100,95	202,1	202,1	202,1	276	34,50
ENXOFRE PURO	6	3973	100,2	102,1	101,15	200,9	201,4	201,15	276,5	34,43
	7	3968	100,6	101,5	101,05	202	203	202,5	299,5	37,36
	8	4046	100,7	101,6	101,15	202,1	202,9	202,5	295,5	36,79
	9	4049	100,3	101,6	100,95	203,3	203,2	203,25	312	39,00
	10	3947	99,9	101,5	100,7	201,2	200,8	201	297,5	37,37
NEOPRENE 60 SHORE	11	4011	101,1	101,4	101,25	201,6	201,8	201,7	300	37,28
	12	3982	100,4	102,6	101,5	201,9	201,8	201,85	286,5	35,43
	13	4010	100,4	101,2	100,8	202,3	202,1	202,2	310,5	38,93
	14	3880	100,3	101,6	100,95	201,5	201,4	201,45	299,5	37,44
	15	3971	100,6	101,6	101,1	202,4	202	202,2	312	38,89
NEOPRENE 70 SHORE	16	3969	100,0	101,8	100,9	202,4	202,1	202,25	295,5	36,97
	17	3977	100,4	101,8	101,1	201,7	202	201,85	310,5	38,70
	18	4016	100,9	101,4	101,15	202,5	202,8	202,65	306	38,10
	19	4023	100,7	101,3	101	201,8	202,2	202	304,5	38,03
	20	3986	100	102	101	202,6	202,8	202,7	320,5	40,02
RETÍFICA HORIZONTAL	21	3866	100,1	101,4	100,75	197,6	197,4	197,5	275,5	34,57
	22	3968	100,8	101,7	101,25	198,5	198,9	198,7	315	39,14
	23	3875	99,4	102	100,7	200,7	200,6	200,65	255	32,03
	24	3904	100,4	101,2	100,8	199,3	199,3	199,3	302,5	37,93
	25	3841	100,6	101,6	101,1	198	198,4	198,2	288,5	35,96
RETÍFICA VERTICAL	26	3906	100	102	101	199,4	199,5	199,45	297	37,09
	27	3916	99,7	101,9	100,8	199,8	199,8	199,8	298	37,36
	28	3995	100,2	101,9	101,05	200	200,3	200,15	315,5	39,36
	29	3977	100,8	102,1	101,45	201,2	201,2	201,2	300	37,13
	30	3935	100,2	102,3	101,25	200	200,1	200,05	305	37,90

TABELA GERAL DE RESULTADOS TRAÇO 5- a/c = 0,4										
MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NIM 77/96	1	4019	100,3	102,3	101,3	202,4	203	202,7	408,5	50,84
	2	4047	99,8	101,5	100,65	202,1	202,6	202,35	393	49,42
	3	4020	101,9	101,5	101,7	203,3	203	203,15	346,5	42,68
	4	4086	100,1	101,1	100,6	206,2	206,1	206,15	360,5	45,38
	5	4052	100,4	101,4	100,9	203,3	203,4	203,35	368	46,05
ENXOFRE PURO	6	4081,5	100,4	101,4	100,9	205,5	206,9	206,2	353	44,17
	7	4005	100,1	101,3	100,7	202,2	203,5	202,85	325	40,83
	8	4011	100,4	101,3	100,85	203	203,8	203,4	379	47,47
	9	4122	100,5	101,5	101	206,9	207	206,95	378	47,20
	10	4063	100,9	101,3	101,1	204	204,7	204,35	404,5	50,41
NEOPRENE 60 SHORE	11	4040	100,9	101,6	101,25	202,9	202,9	202,9	378,5	47,16
	12	4058	100,4	101,6	101	202,6	203,1	202,85	383	47,83
	13	4040	99,6	101,9	100,75	202,5	204,8	203,65	377	47,31
	14	4017	100,6	101,9	101,25	201,8	202,4	202,1	402	49,95
	15	4030	100,1	101,7	100,9	202,3	202	202,15	392,5	49,11
NEOPRENE 70 SHORE	16	4026	100,3	101,6	100,95	202,4	203,2	202,8	398	49,75
	17	4043	100,0	101,4	100,7	206,6	204,6	205,6	411	51,63
	18	4040	100,3	102,0	101,15	202,3	202,3	202,3	403	50,18
	19	4058	100,8	101,6	101,2	202,6	202,4	202,5	418	51,99
	20	4111	102,0	101,7	101,85	203,5	204,5	204	408,5	50,28
RETÍFICA HORIZONTAL	21	3937	100,5	101,1	100,8	198,7	199	198,85	388,5	48,71
	22	3978	99,6	102,1	100,85	200,2	199,9	200,05	390	48,85
	23	4035	100,1	102,4	101,25	200	200,1	200,05	352,4	43,79
	24	40004	100	101,7	100,85	199,1	199	199,05	396,5	49,66
	25	3961,4	100,2	101,3	100,75	198,2	198,9	198,55	349	43,80
RETÍFICA VERTICAL	26	3982	100,2	101,5	100,85	202	202	202	400	50,10
	27	3985	100,8	101,3	101,05	201,7	201,7	201,7	401,5	50,09
	28	4050	100	102	101	200,8	200,8	200,8	402	50,20
	29	4033	100	101,6	100,8	200,2	200,2	200,2	416,5	52,22
	30	4055	100,1	101,7	100,9	202	201,9	201,95	421,5	52,74

**TABELA GERAL DE RESULTADOS
TRAÇO 6- a/c = 0,27**

MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NIM 77/96	1	4080	100,4	101,3	100,85	205	204,5	204,75	621	77,78
	2	4034	100,5	102,1	101,3	202,7	203,5	203,1	663	82,30
	3	4094	99,7	102,1	100,9	204,7	205	204,85	655	81,96
	4	4084	101,0	102,0	101,5	203	203,4	203,2	x	x
	5	4114	100,0	101,5	100,75	205,3	206,1	205,7	x	x
ENXOFRE PURO	6	4069	100,1	101,8	100,95	204	205	204,5	548	68,50
	7	4045	100,1	101,4	100,75	203,7	204,6	204,15	563	70,66
	8	4071	100,1	101,5	100,8	205,5	204,9	205,2	598	74,97
	9	4053	100,1	101,4	100,75	203,1	203	203,05	548	68,77
	10	4112	100,5	101,6	101,05	204	204,1	204,05	586	73,11
NEOPRENE 60 SHORE	11	4043	100,3	101,9	101,1	203,8	203,9	203,85	718	89,49
	12	4123	99,8	101,7	100,75	203,9	204,1	204	714	89,61
	13	4062	100,6	101,5	101,05	204,5	204	204,25	732	91,32
	14	4067	100,0	101,5	100,75	202,5	203,2	202,85	678	85,09
	15	4120	100,4	99,8	100,1	204,8	205,8	205,3	698	88,74
NEOPRENE 70 SHORE	16	4070	100,1	101,3	100,7	203,5	203,1	203,3	704	88,44
	17	4061	100,6	102,0	101,3	205	204	204,5	691	85,78
	18	4071	100,0	102,0	101	203,8	203,8	203,8	698	87,17
	19	4074	100,3	101,3	100,8	203,4	203,1	203,25	697	87,39
	20	4041	100,7	102,2	101,45	203,5	203,8	203,65	725	89,74
RETÍFICA HORIZONTAL	21	4043	100,4	102,5	101,45	200,6	201	200,8	660	81,69
	22	4020	100,8	101,7	101,25	199,5	200,1	199,8	682	84,75
	23	4043	100,4	102	101,2	200,6	200,2	200,4	660	82,09
	24	4023	100,2	101,8	101	200,4	200,2	200,3	597	74,55
	25	4008	100,2	101,5	100,85	200,4	201	200,7	664	83,17
RETÍFICA VERTICAL	26	4037	101,7	101,7	101,7	201,6	201,7	201,65	703	86,59
	27	4050	100,4	101,7	101,05	202,5	202,5	202,5	644*	x
	28	4015	100,2	102	101,1	201,7	201,8	201,75	704	87,74
	29	4043	100,1	101,3	100,7	202,8	203	202,9	691	86,81
	30	4093	100,4	102,3	101,35	204,2	204	204,1	688	85,32

TABELA GERAL DE RESULTADOS TRAÇO 7 - a/c = 0,20										
MÉTODO	CP	PESO (g)	DIÂMETRO 1 (mm)	DIÂMETRO 2 (mm)	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA 1 (mm)	ALTURA 2 (mm)	ALTURA MÉDIA (mm)	FORÇA (KN)	TENSÃO (MPa)
ENXOFRE NORMA NIM 77/96	1	4283	99,6	102,1	100,85	205	204,6	204,8	753	94,31
	2	4298	100	101,7	100,85	205,6	207,5	206,56	837	104,83
	3	4273	100,7	101,4	101,05	206,1	205,2	205,85	730	91,07
	4	4275	100,5	101,2	100,85	205,2	204,7	204,95	754	94,44
	5	4315	99,4	102	100,7	206	207,4	206,7	661	83,04
ENXOFRE PURO	6	4263	100,3	101,5	100,9	204	204,8	204,4	909	113,74
	7	4349	99,5	102,3	100,9	205,9	206	205,95	836	104,61
	8	4277	100,6	101,6	101,1	204,5	203,4	203,95	897	111,79
	9	4232	100,2	101,3	100,75	203,7	203,9	203,8	809	101,53
	10	4304	100,2	102,1	101,15	206,1	205,8	205,95	746	92,88
NEOPRENE 60 SHORE	11	4264	101,1	101,5	101,3	204,6	204,5	204,55	929	115,33
	12	42509	100,1	101,8	100,95	203,9	203,5	203,7	937	117,13
	13	4292	100,1	102,1	101,1	205	205,2	205,1	906	112,92
	14	4227	100,4	100,5	100,45	203,6	203	203,3	926	116,91
	15	4377	100,2	102,1	101,15	207,5	208,4	207,95	871	108,45
NEOPRENE 70 SHORE	16	4282	99,9	101,6	100,75	204,1	206,4	205,25	875	109,81
	17	4248	100,6	101,3	100,95	203,9	204,1	204	933	116,63
	18	4282	100,1	102,1	101,1	204,4	204	204,2	851	106,06
	19	4358	99,9	102,9	101,4	206	206,8	206,4	912	112,99
	20	4338	100	102,2	101,1	205,7	206,3	206	*	X
RETÍFICA HORIZONTAL	21	4236	100,5	101,7	101,1	201,4	202,3	201,85	892,5	111,23
	22	4172	100,5	102,2	100,5	198,9	199,2	199,05	820	103,42
	23	4204	100,5	102,6	101,55	200,2	200,1	200,15	886	109,45
	24	4224	100,7	101,4	101,05	201,6	201,6	201,6	819	102,17
	25	4225	99,9	101,8	100,85	202,3	202,5	202,4	623	78,03
RETÍFICA VERTICAL	26	4267	100,3	101,8	101,05	203,9	203,9	203,9	965	120,39
	27	4263	100,6	101,4	101	202,6	202,5	202,55	938	117,14
	28	4255	100,3	101,6	100,95	202,6	202,37	202,485	963	120,38
	29	4261	100,2	101,5	100,85	204,2	203,9	204,05	1005	125,88
	30	4249	110,5	101,7	106,1	203,1	203	203,05	X	X

