

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

ROMUALDO CHAIBEN MAZEPA
TISSIANE DE CASTRO RODRIGUES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CORPOS DE PROVA
CILÍNDRICO E CÚBICO PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA
A COMPRESSÃO AXIAL

CURITIBA

2011

ROMUALDO CHAIBEN MAZEPA
TISSIANE DE CASTRO RODRIGUES

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CORPOS DE PROVA
CILÍNDRICO E CÚBICO PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA
A COMPRESSÃO AXIAL

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Concreto do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Wellington Mazer

CURITIBA

2011

FOLHA DE APROVAÇÃO

COMPARATIVO ENTRE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS E CÚBICOS PARA ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO AXIAL

Por

Romualdo Chaiben Mazepa

E

Tissiane de Castro Rodrigues

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 22 de novembro de 2011, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Wellington Mazer
UTFPR

Prof. Rodrigo César Kanning
UTFPR

Profa. Vanessa Scandelari
UTFPR

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

“Cora Coralina”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos nossos pais, que em tudo, nos apoiaram incondicionalmente;

A todos os nossos professores, sem exceções ou distinções, pelos ensinamentos, provocações, discussões, e pela dedicação durante todo o curso;

Aos nossos colegas e amigos;

A todos quanto se fizeram presentes nesta caminhada e que a tornaram doce e suave.

A empresa de pré-fabricados pelo fornecimento do concreto e outros materiais necessários para confecção dos corpos de prova utilizados nesta pesquisa.

RESUMO

MAZEPA, Romualdo C., RODRIGUES, Tissiane de C. Comparativo entre corpos de prova cilíndrico e cúbico para o ensaio de resistência a compressão axial. 2011. Monografia (Tecnologia em Concreto) – Curso Superior em Tecnologia em Concreto, UTFPR, Curitiba.

O objetivo deste trabalho é analisar e esclarecer de maneira organizada, imparcial e impessoal a relação entre dois diferentes tipos de moldes para fabricação de corpo de prova de concreto, a saber: cilíndrico e cúbicos. Inicialmente são apresentados e interpretados dados estatísticos que elucidam fatores e variantes que podem influenciar, de alguma maneira, as características dos corpos de prova. Estas informações serão revistas, analisadas e organizadas, de maneira comparativa e crítica, junto às principais idéias e obras literárias sobre este assunto. Espera-se como resultado, uma leitura agradável e esclarecedora, além de prestar informações precisas e seguras que possam permitir nova ótica sobre os resultados apresentados.

Palavras-Chave: Ensaio de Resistência a Compressão, Comparativo, Corpo de prova cilíndrico e cúbico.

ABSTRACT

MAZEPA, Romualdo C., RODRIGUES, Tissiane de C. Comparing specimens to cylindrical and cubic compressive strength testing of axial. 2011. Monograph (Concrete Technology) - Course in Concrete Technology, UTFPR, Curitiba.

The objective of this study is to analyze and explain in an organized, impartial and impersonal relationship between two different types of molds for the concrete specimen, namely: cylindrical and cubic. Initially will be presented and interpreted statistical data to elucidate factors and variables that might influence in some way the characteristics of the specimens used in evidence. This information will be reviewed, analyzed and organized, so comparative and critical, with the main ideas and literary works on this subject. It is expected as a result, an enjoyable and enlightening read, and provides accurate and reliable information that might allow us to see the results presented another view point.

Keywords: Compressive Strength Testing, Comparison, Test specimen cylindrical and cubic.

LISTA FIGURAS

Figura 01 – Correlação entre resistência e Fator água/cimento.....	22
Figura 02 – Dimensões nominais do cubo	28
Figura 03 – Dimensões nominais do cilindro.....	28
Figura 04 – Preenchimento do molde tronco-cônico	30
Figura 05 – Adensamento do concreto no molde.....	31
Figura 06 –Retirada do Cone	31
Figura 07 – Consistência obtida no ensaio	32
Figura 08 – Amostra coletada	33
Figura 09 – Preenchimento do corpo de prova	34
Figura 10 – Adensamento em mesa vibratória.....	35
Figura 11 – Finalização da moldagem do corpo de prova cúbico	38
Figura 12 – Acabamento da moldagem do corpo de prova cúbico.	38
Figura 13 – Formas de ruptura consideradas satisfatórias para cilindros.	40
Figura 14 – Formas de ruptura consideradas insatisfatórias para cilindros.	40
Figura 15 – Formas de ruptura consideradas satisfatórias para cubos.	40
Figura 16 – Formas de ruptura consideradas insatisfatórias para cubos	41
Figura 17 – Rompimento do corpo de prova cilíndrico.	41
Figura 18 – Rompimento do corpo de prova cúbico.....	42
Figura 19 – Forma de ruptura do CP Cúbico.....	42
Figura 20 – Forma de ruptura do CP Cilíndrico.....	43
Figura 21 – Gráfico de correlação da compressão axial para o Traço 10.	45

Figura 22 – Gráfico de correlação da compressão axial para o Traço 13.	45
Figura 23 – Gráfico de correlação da compressão axial para o Traço 19.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Relação entre ensaios com CP's Cilíndricos e Cúbicos	25
Tabela 02 – Traço das amostras coletadas	27
Tabela 03 – Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.	36
Tabela 04 – Tolerância para idade de ensaio	39
Tabela 05 – Resistência à Compressão.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

a/c – Fator água cimento

CP – Corpo de prova

NBR – Norma Brasileira

NP – Norma Portuguesa

NM – Normatização Mercosul

FCK - Resistência característica do concreto à compressão

FCJ – Tensão de Ruptura

FCM – Resistência Média

EN – Normatização Européia

CEN – Comitê Europeu de Normatização

C₃A – Aluminato tricálcico

C₄AF – Ferro-Aluminato tetracálcico

C₂S – Silicato bicálcico

C₃S – Silicato tricálcico

MPa – Mega Pascal

h/d – Relação altura pela dimensão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivo Geral.....	14
1.3 Objetivos Específicos	14
1.4 Limitações da Pesquisa.....	15
1.5 Estrutura da Pesquisa	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Concreto	16
2.2 Materiais e Caracterização dos materiais.....	16
2.3 Dosagem	19
2.4 Traço	19
2.5 Resistência do concreto	20
2.6 Resistência à compressão axial	20
2.6.1 Variáveis influentes na resistência do concreto	21
2.6.2 Corpos de prova cilíndricos.....	23
2.6.3 Corpos de prova cúbicos.....	24
2.6.4 Análises comparativas	25
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	26
3.1 Métodos.....	26
3.2 Materiais Utilizados.....	27
3.3 Traço do Concreto	27
3.4 Formas, Dimensões e Preparo das formas (NBR 5738 e NP En12390-1) .	27
3.5 Ensaio da consistência pelo abatimento - <i>Slump Test</i> (NBR NM 67)	29
3.6 Coleta da Amostra (NBR NM 33)	32
3.7 Moldagem e Desmoldagem dos corpos de prova	33
3.7.1 Moldagem e desmoldagem dos CorposdeProva Cilíndricos (NBR 5738)	33
3.7.2 Moldagem e desmoldagem dos Corpos de prova cúbico (NP EN12390- 2).....	37

3.8	Ensaio de resistência à compressão axial nos corpos de prova cilíndricos (NBR 5739) e cúbico (NP EM 12390-3).....	39
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
4.1	Resultados do Ensaio de Resistência a Compressão Axial	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
5.1	Conclusões.....	47
5.2	Sugestões para Trabalhos Futuros	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Com a exigência cada dia maior referente o padrão de qualidade de tudo que se realiza, pode-se afirmar que na construção civil, a realidade não é diferente. Atualmente utilizam-se diversos recursos para se melhorar os resultados, sejam eles referentes à qualidade dos materiais ou à qualidade da execução, de forma a possibilitar também a redução dos custos. Para se alcançar tais resultados, uma das formas mais utilizadas, é a realização do controle tecnológico, os quais são cada vez mais rigorosos, e também são conhecidos como ensaios.

Ao se falar em controle tecnológico, refere-se especialmente ao controle de materiais, uma vez que as principais “doenças” apresentadas pelo concreto são intrinsecamente ligadas à falta de qualidade dos materiais utilizados. Baseando-se nisso a NBR 12654:92 dispõe de ensaios dedicados ao controle tecnológico dos materiais que compõem o concreto.

Além das dosagens experimentais e ensaios realizados, o controle tecnológico prevê que sejam feitos ensaios nas amostras retiradas do concreto fresco, para se fechar o círculo de cuidados que se deve ter, sendo esses ensaios determinantes para aceitação e qualidade final do concreto.

1.1 Justificativa

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, determina que os ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos, sejam realizados conforme a NBR 5739/07, a qual ajuda na determinação da resistência do concreto. Na Europa a norma NP EN 12390:03, aprovada pelo Comitê Europeu de Normatização – CEN é a que determina o processo para o ensaio de resistência do corpo de prova.

A diferença entre o ensaio preconizado pela norma brasileira e pela europeia refere-se ao formato do corpo de prova. No Brasil os moldes são de formato

cilíndrico com dimensões de 10x20cm ou 15x30cm, por sua vez na Europa os moldes são de formato cúbico com dimensões de 10x10x10cm ou 15x15x15cm.

Analisando-se estes formatos, entre outras referências, realiza-se neste trabalho um comparativo dos resultados do ensaio de resistência à compressão para os corpos de prova, de acordo com as normas de cada lugar, referenciando e aplicando todos os critérios para a realização dos referidos ensaios.

Cabe ressaltar também que durante a realização do procedimento de moldagem, cura e rompimento dos corpos de prova, foram empregados as normas ABNT NBR 5738:03, ABNT NBR 5739:07, NP EN 12390-1:03, NP EN 12390-2:03; NP EN 12390-3:03.

1.2 Objetivo Geral

Comparar os resultados obtidos no ensaio de resistência a compressão axial para corpos de prova cilíndricos e cúbicos nas principais idades.

1.3 Objetivos Específicos

Determinar através de gráficos a relação entre as resistências obtidas em cada traço.

Analisar as vantagens e desvantagens da utilização de cada formato nas principais idades.

Analisar se os resultados seguem os comparativos informados em obras literárias.

1.4 Limitações da Pesquisa

Em função da disponibilidade de equipamentos e material, foi necessário limitar a pesquisa no seguinte aspecto:

As moldagens dos corpos de prova foram feitas em etapas diferentes devido a quantidade de moldes cúbicos e a quantidade de material liberado para moldagem dos corpos de prova, sendo utilizados especificamente 3 tipos de traço.

1.5 Estrutura da Pesquisa

O capítulo 1 é composto pela introdução do trabalho, na qual justifica-se e informa-se os objetivos do trabalho.

Após este capítulo introdutório, o Capítulo 2 disponibiliza o referencial teórico elaborado através de uma revisão bibliográfica que fundamenta os ensaios e verificações feitas ao longo do trabalho.

O Capítulo 3 apresenta o programa experimental aonde se descreve todas as etapas de confecção dos corpos de prova até a realização dos ensaios que fazem parte da pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta os resultados dos ensaios realizados às 24h bem como aos 07 e 28 dias nos corpos de prova cilíndricos e cúbicos.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, comparando os objetivos propostos com os objetivos atingidos pela presente pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto

O concreto (português brasileiro) ou betão (português europeu) é um material da construção civil composto por uma mistura de cimento Portland, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra) e água, além de outros materiais eventuais, os aditivos e as adições.

2.2 Materiais e Caracterização dos materiais

Conforme a ABCP (1995) os materiais influenciam de alguma forma no concreto, materiais de boa qualidade resultam concretos de boa resistência, ao passo que materiais de qualidade inferior produzem concretos de menor resistência.

Para confecção de um concreto necessita-se de basicamente dos seguintes materiais:

a) Cimento

O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra. Graças a essas características, o concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água (ABCP, 1995).

A resistência mecânica do cimento depende do grau de adensamento e da coesão dos materiais, mas principalmente da composição química que têm notável influência sobre a velocidade de hidratação do concreto e que é determinante na qualidade do composto produzido

No caso do cimento quanto maior o consumo, maior é a plasticidade, a coesão, o calor de hidratação e a variação volumétrica e menor a segregação e a exsudação (ABCP, 1995).

Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - O cimento portland de alta resistência inicial embora contemplado pela ABNT (NBR 5733) como norma separada do cimento portland comum, é na verdade um tipo particular deste, que tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade (ABCP, 1995).

b) Agregados

Segundo Petrucci (1970), define-se agregado como o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte de dimensões e propriedades adequadas para a engenharia.

Segundo Scanduzzi e Andriolo (1986) os agregados quando empregados em concreto devem possuir um grau de resistência, tenacidade e estabilidade, suficientes para resistir sem sensível degradação, a cargas estáticas e dinâmicas.

As propriedades dos agregados são de extrema importância por apresentarem características físicas distintas, determinadas através dos ensaios específicos a seguir:

Granulometria: Determinada como a proporção relativa (em porcentagem) dos diferentes tamanhos dos grãos que se constituem. Essa composição tem grande influência nas propriedades futuras do concreto. Para a determinação do dimensionamento dos grãos é feito um peneiramento no qual as peneiras seguem uma série de abertura padrão de acordo com a NBR NM248:03. Nesse ensaio determina-se o diâmetro máximo do agregado (medido como a percentagem acumulada retida inferior ou igual a 5%). Outro índice importante é o módulo de finura determinado pela soma das percentagens retidas acumuladas e divididas por 100.

Massa Específica: Pode ser real (que é o volume excluindo os vazios entre grãos não permeáveis determinada através do picnômetro) ou frasco de Chapman. Já a massa aparente, que inclui os vazios contidos nos grãos, determinada pelo

preenchimento de um recipiente de dimensões conhecidas deixando o agregado cair de uma altura aproximada de 10 a 12cm também conhecida como massa unitária.

Absorção: Realizada através do preenchimento total dos vazios determinando a massa, em seguida secando o material através de estufa ou outros métodos, determina-se a absorção em porcentagem.

Impurezas Orgânicas: São considerados materiais indesejáveis presentes nos agregados, que podem prejudicar seu desempenho sobre o tempo de pega e ou endurecimento. Por isso analisa-se misturando o agregado a uma solução de hidróxido de sódio e ácido tânico. Os resultados inferiores a 300ppm são aceitáveis, acima de 300ppm deverão ser refeitos de acordo com a NBR NM49:01.

Para agregados graúdos, os ensaios são os mesmos, porém alguns procedimentos se diferenciam. Os resultados dos ensaios mencionados acima constam anexos.

No agregado miúdo, quanto maior o consumo maior a quantidade de cimento e de água e maior plasticidade. Com relação ao agregado graúdo, quanto mais arredondado e liso maior a plasticidade, porém menor a aderência, quanto mais se lamelar maior a quantidade de cimento, areia e água e menor resistência e os rugosos e cúbicos são considerados os melhores em todas as características anteriores.

c) Água

É um componente fundamental ao concreto, responsável pelas reações de endurecimento e usada na cura. Portanto, se contiver substâncias danosas em teores acima dos estabelecidos por norma, pode influenciar no seu comportamento e propriedades.

A queda de resistência, a alteração do tempo de pega, a ocorrência da eflorescência, o aparecimento de manchas e a corrosão da armadura são os efeitos adversos citados como os mais significativos.

Para evitar tais problemas é fundamental que a água satisfaça alguns requisitos mínimos de qualidade, especificados pela NM 137:97 - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.

d) Aditivos

Todo produto que adicionado em pequena proporção em argamassas ou concretos, no momento da mistura, com a finalidade de modificar, no sentido favorável, as propriedades desse conglomerado, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

2.3 Dosagem

De acordo com a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), a dosagem nada mais é que o proporcionamento adequado e mais econômico dos materiais empregados.

Consiste em definir a quantidade de cada componente do concreto visando obter características de trabalhabilidade (enquanto fresco), resistência, durabilidade (quando endurecido), permeabilidade e custo.

2.4 Traço

Uma vez determinada a dosagem dos materiais para se fazer o concreto tem-se então o traço, que pode ser medido em massa ou volume. Para se obter maior precisão adota-se a massa, porém em obras, o costume é utilizar o volume por ser mais prático.

2.5 Resistência do Concreto

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas.

A propriedade mais comum de resistência do concreto é a resistência à compressão, determinada a partir de ensaio com corpos de prova cúbicos ou cilíndricos.

Segundo Andriolo (1986), a maioria dos concretos são dosados para atender determinada resistência à compressão. A idade também é determinante na ruptura axial dos corpos de prova cilíndrico.

2.6 Resistência à compressão axial

De acordo com Helene e Terzian (1992) não há uma indicação explícita de como controlar a resistência. Sabe-se que o controle é feito através da média dos resultados do ensaio, realizando um ensaio por dia de concretagem.

Por ser a propriedade mais representativa da qualidade do concreto, a mesma é obtida por meio de ensaio padronizado pela NBR 5739/2007, sendo um ensaio de curta duração.

Fatores importantes devem ser analisados na determinação da resistência à compressão, conforme Helene e Terzian (1992), a influência na resistência varia pelo tipo de cimento, variabilidade da água, agregados, a proporção dos materiais a mistura e a operação dos equipamentos utilizados.

Uma das principais características do concreto é a sua resistência à compressão, que é determinada através de ensaios em corpos de prova padronizados e o resultado dos ensaios depende da forma do corpo de prova, da idade a ser ensaiada, da relação água/cimento e da duração do ensaio. Assim sendo, as normas definem que os ensaios serão sempre de curta duração e que procurem reproduzir a situação real das estruturas.

Observa-se que os resultados da tensão de ruptura (f_{cj}) obtidos no ensaio de diversos corpos de prova são dispersos em torno da resistência média (f_{cm}), conforme o rigor com que se confeccione o concreto (Prof. Msc. Luiz Carlos de Almeida, 2002)

Colocando-se uma série de valores de resistências de corpos de prova do mesmo concreto em um gráfico de distribuição, com as tensões medidas no eixo horizontal e as frequências de ocorrência de um dado valor (ou intervalo de valor) no eixo vertical, obtém-se uma curva de distribuição normal. A área entre a curva e o eixo horizontal é igual a 1 (um). Um valor qualquer da resistência divide esta área nas probabilidades de ocorrência de valores menores ou maiores do que este valor. O valor de resistência que tenha 95% de probabilidade de ser ultrapassado denomina-se resistência característica à compressão do concreto, f_{ck} . (Prof. Msc. Luiz Carlos de Almeida, 2002)

A resistência do concreto à compressão, para um mesmo cimento, sofre influência de alguns fatores, tais como: relação água/cimento, idade do concreto, forma e dimensão do corpo de prova e qualidade dos materiais.

2.6.1 Variáveis influentes na resistência do concreto

Segundo Helene e Terzian (1992) vários são os fatores que intervêm na resistência à compressão do concreto, indo da heterogeneidade dos materiais, homogeneização até o seu transporte, lançamento, adensamento e cura.

Os fatores que influenciam na resistência à compressão são: variabilidade do cimento e dos agregados, a relação água cimento e a proporção dos materiais, além da qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura.

Já a alteração da resistência à compressão pode ser alcançada através da mudança do tipo de cimento (finura ou composição química), da mudança dos agregados (textura, dimensão, absorção de água), do emprego de aditivos redutores de água ou superplastificantes. Caso a água de amassamento evapore antes da hidratação completa do cimento, a resistência também será alterada.

Segundo ABRAMS (1919) a resistência à compressão do concreto segue uma curva que pode ser expressa conforme a figura 01:

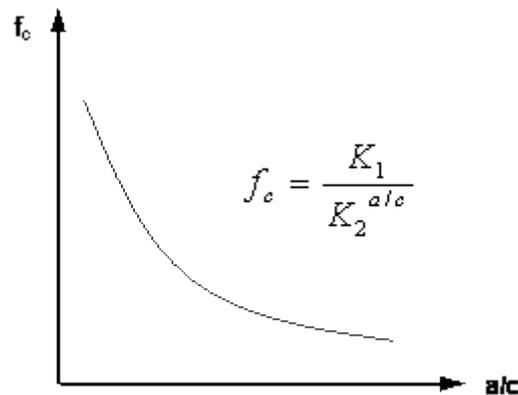


Figura 01 – Correlação entre resistência e fator água/cimento

Fonte: Abrams (1919)

Onde:

f_c = Resistência do concreto na idade de dias ;

K_1 e K_2 = Constantes que dependem do cimento e agregados utilizados no concreto;

a/c = Relação água/cimento do concreto.

Essa equação é hoje conhecida como Lei de Abrams em função de sua importância e da extensão de sua validade. Em termos simples o que a Lei de Abrams diz é que a resistência do concreto é tanto menor quanto maior for a quantidade de água adicionada à mistura.

De acordo com Helene e Terzian (1992) a dispersão no crescimento da resistência foi sempre superior na idade de 3 dias se comparadas as principais idades (28 e 91 dias) e essas constatações são explicadas pelo fato de a resistência, na baixa idade, depender da hidratação dos compostos do cimento que são distintos dos compostos que atuam nas resistências finais.

Nas idades iniciais estão mais hidratados o aluminato tricálcico (C_3A) e o ferro-aluminato tetracálcico (C_4AF) e nas idades superiores a hidratação é influenciada pelo silicato bicálcico (C_2S), já o tricálcico está hidratado em ambas as idades (C_3S).

2.6.2 Corpos de prova cilíndricos

O ensaio com corpos de prova cilíndricos é o mais utilizado para se determinar a resistência do concreto pelos americanos e em algumas regiões da Europa. No Brasil, o processo de ensaio é determinado pela NBR 5738:03, em que o concreto é lançado, curado pelo tempo necessário e depois é comprimido. A tensão de ruptura é considerada como a resistência à compressão do concreto.

O ensaio com corpos de prova cilíndricos costuma apresentar menor resistência à compressão do que o ensaio com corpos de prova cúbicos.

De acordo com a norma NBR5738:03 a dimensão básica de um corpo de prova deve ser no mínimo quatro vezes a dimensão nominal máxima do agregado graúdo. Os cp's cilíndricos devem ter altura igual ao dobro do diâmetro e o plano da borda circular externa do molde deve ser perpendicular ao eixo longitudinal do molde.

Segundo a norma NBR5739:07, o corpo de prova cilíndrico deve ser posicionado de modo que estando centralizado, o eixo coincida com o da máquina, fazendo que a resultante das forças passe pelo centro. A força aplicada deve ser contínua e isenta de choques. Até a realização do ensaio os cp's devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturados.

O carregamento do ensaio deve ser aplicado continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento de $(0,4 \pm 0,15)$ MPa/s, mantendo-se constantes durante todo o ensaio e só deve cessar quando houver a queda de força que indique ruptura.

Obtido o resultado é feito o cálculo da resistência de acordo com a equação a seguir.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \times D^2} \quad (1)$$

Onde:

f_c : é a resistência à compressão, em Mega Pascals;

F : é a força máxima alcançada, em Newton;

D : diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

2.6.3 Corpos de prova cúbicos

O ensaio com corpos de prova cúbicos é utilizado para determinar a resistência do concreto principalmente nos países europeus. A tensão de ruptura é considerada como a resistência à compressão do concreto.

De acordo com a norma NP EN12390-1:03, o molde deve ser robusto para se prevenir a distorção durante a moldagem. O processo de cura é feito da mesma forma que no cilíndrico. No momento do rompimento, posiciona-se a amostra de forma que a carga seja aplicada perpendicularmente à direção da moldagem e a carga aplicada deve estar dentro de um intervalo de 0,2 a 1,0 MPa, evitando-se choques e de forma contínua. O cálculo para determinar a resistência à compressão dos corpos de prova cúbicos é dado pela equação a seguir.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2)$$

Onde:

f_c : a resistência à compressão, em Mega Pascal;

F: a carga máxima, em Newton;

Ac: é a área da secção transversal a qual foi aplicada a carga, em milímetros;

Geralmente os ensaios com corpos de prova cúbicos apresentam maior resistência à compressão do que o ensaio com corpos de prova cilíndricos.

2.6.4 Análises comparativas

A resistência em corpos de prova cilíndricos é entre 5% e 25% menor do que a resistência aferida para um corpo de prova cúbico em misturas de concreto convencionais, a diferença percentual diminui com o aumento da resistência do concreto (tabela 1).

TABELA 1: Relação entre ensaios com CP's Cilíndricos e Cúbicos

Resistência Cilíndricos (MPa)	Resistência Cúbicos (MPa)	Relação Cúbicos/Cilíndrico
12	15	80,00%
16	20	80,00%
20	25	80,00%
25	30	83,33%
30	37	81,08%
35	45	77,78%
50	60	83,33%

Fonte: Valores com referência à British Standards Institution Draft for Development. DD ENV 206:1992. Concrete. Performance, production, placing and compliance criteria. London.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Métodos

Para propor o comparativo entre os corpos de prova de formatos cilíndricos e cúbicos, o programa experimental foi desenvolvido a partir de 03 traços de concreto diferenciado em algumas características. Com o material disponível foram confeccionados 06 corpos de provas cilíndricos e 06 corpos de prova cúbicos para cada traço.

O concreto foi produzido mecanicamente e disponibilizado por uma empresa de pré-fabricados, juntamente com o traço empregado e a caracterização dos materiais, componentes do concreto, operações que foram acompanhadas pelos responsáveis pela presente pesquisa.

As etapas de desenvolvimento do ensaio desde a confecção até o rompimento seguiram as seguintes etapas conforme citado:

- *Slump Test* - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone conforme NBR NM67: 98.
- Preparação, Limpeza dos moldes com formatos: cúbicos - 10x10x10cm e cilíndrico - 10x20cm, conforme NP EN 12390-1:2003 e NBR 5738:2003.
- Coleta das amostras para moldagem dos CP's – NP EN12390-2:2003 e NBR NM 33:1998.
- Moldagem e Cura dos corpos de prova (envolve todas as normas citadas acima).
- Ensaio de Resistência à Compressão conforme NP EN 12390-3:2003 e NBR 5739:2007.

Os ensaios foram realizados na empresa de Pré-fabricados, a qual cedeu além do material utilizado, também os equipamentos para o rompimento dos corpos de prova.

3.2 Materiais Utilizados

O concreto empregado na pesquisa foi confeccionado com os seguintes materiais:

- cimento Portland CII-Z + agregado graúdo (brita e pedrisco) + agregado miúdo (areia artificial e natural) + água + aditivo.

3.3 Traço do Concreto

O concreto utilizado foi dosado em central. Os traços utilizados encontram-se descritos na tabela 02, incluindo a resistência esperada, o fator a/c e o resultado esperado para o ensaio de *Slump Test* (consistência), conforme apresentada abaixo:

TABELA 2: Traço das amostras coletadas

Traço*	Cimento	Areia Artificial	Areia Natural	Pedrisco	Brita 01	Aditivo	Fator a/c	Resistência esperada (MPa)	Slump (cm)
10	1	1,02	1,02	0	2,8	0,014	0,46	30	11±2
13	1	0,83	0,83	0	2,17	0,011	0,43	35	11±2
19	1	0	0	2,13	0,91	0,002	0,43	30	0

* Nomenclatura utilizada pela empresa que cedeu o Traço.

3.4 Formas, Dimensões e Preparo das formas (NBR 5738 e NP EN12390-1)

Para cada forma de moldes, cilíndrico e prismático, a dimensão básica deverá ser escolhida para ter no mínimo quatro vezes a dimensão máxima do agregado.

Para o cubo, há algumas dimensões padrões, conforme figura 02.

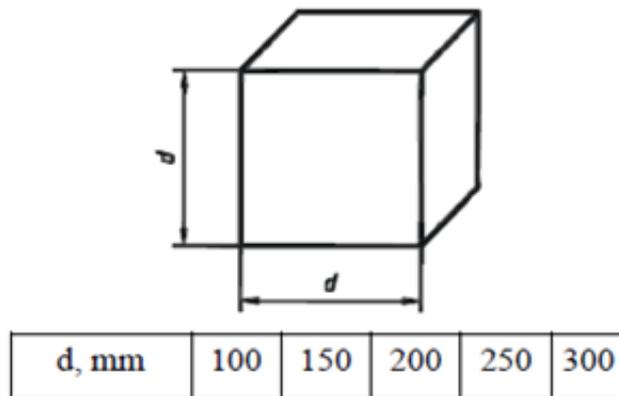


Figura 02 – Dimensões nominais do cubo.

Alguns cuidados devem ser tomados, quanto a tolerâncias na hora do preenchimento do molde para que as necessidades atendam aos requisitos solicitados.

No cilindro, as dimensões designadas podem ser relacionadas dentro do valor de $\pm 10\%$ da dimensão nominal. Uma das regras para o cilindro é que a altura seja 2 vezes o diâmetro, atentando-se sempre as tolerâncias determinadas em norma (Figura 03).

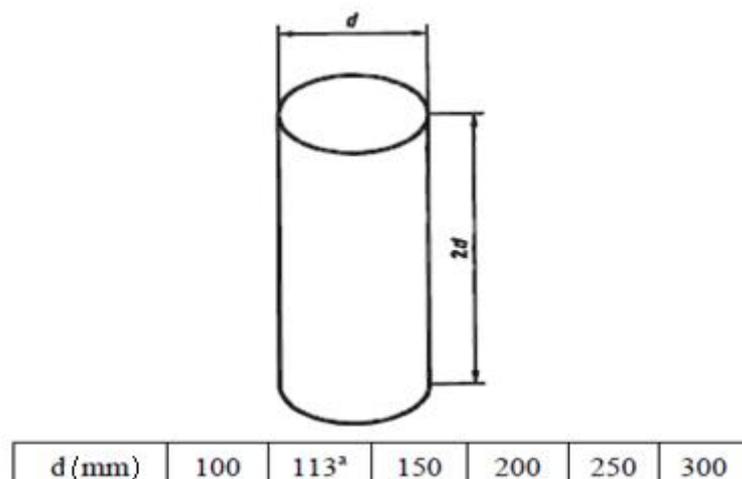


Figura 03 – Dimensões nominais do cilindro.

Os moldes devem ser peças estanques e não absorventes, permitindo a facilidade na desmoldagem. De acordo com a norma, o material utilizado na confecção deve ser robusto para prevenir distorção durante a montagem e a utilização e devem ser controladas as juntas, evitando assim, a perda de água do concreto.

A preparação do molde deve seguir de forma que o mesmo encontre-se limpo e estanque. Em seguida é aplicada uma camada fina de óleo mineral. O molde deve ficar apoiado em superfície rígida, horizontal e livre de vibrações. Evitando perturbações que possam interferir na forma, propriedades do concreto e tempo de pega.

A relação h/d nos CP's cilíndricos não podem ser maior que 2,02 e menor que 1,94.

3.5 Ensaio da consistência pelo abatimento – *Slump Test* (NBR NM 67)

Este ensaio se consagrou como principal medida de controle da trabalhabilidade do concreto pela facilidade de execução, embora limitado expressa muito bem isso através de um único parâmetro, o abatimento. Os materiais são colocados na betoneira e misturados quando prontos para lançamento é coletada uma amostra do concreto e o ensaio procede da seguinte maneira:

- Coloca-se uma placa metálica bem nivelada e sobre ela o cone, apóia os pés sobre as abas inferiores do cone;
- O cone é preenchido em 3 camadas iguais e a cada uma delas são aplicados 25 golpes distribuídos uniformemente, o adensamento é feito de forma que a haste penetre na espessura da camada e una a camada superior com a sua adjacente;
- Após a compactação da última camada, retira o excesso de concreto e alisa-se a superfície com uma régua metálica;
- O cone é retirado com cuidado levantando-o na direção vertical;

- Coloca-se a haste sobre o cone invertido e mede a distância entre a parte inferior da haste e o ponto médio do concreto, obtendo um resultado em milímetros.
- A quantidade de água misturada no concreto deve ser efetuada conforme traço obtendo assim o abatimento solicitado e consistência necessária, garantindo homogeneidade da mistura e as propriedades necessárias ao concreto dosado.

O concreto utilizado no trabalho foi cedido pela empresa e os ensaios realizados pela equipe.



Figura 04 – Preenchimento do molde tronco-cônico.



Figura 05 – Adensamento do concreto no molde



Figura 06 – Retirada do cone.



Figura 07 – Consistência obtida no ensaio.

3.6 Coleta da Amostra (NBR NM 33)

Após a aceitação do ensaio de abatimento, foram coletadas as amostras representativas para o ensaio de resistência à compressão. Os critérios seguidos são a não utilização do material do início e nem final de betonada, a amostra é colhida do terço médio (Figura 08). A quantidade retirada é de 50% a mais do volume necessário para a moldagem dos CP's, homogeneizando a mistura para assegurar uniformidade.



Figura 08 – Amostra coletada.

3.7 Moldagem e Desmoldagem dos Corpos de Prova

3.7.1 Moldagem e desmoldagem dos Corpos de Prova Cilíndricos (NBR 5738).

Realiza-se uma prévia mistura na amostra e coloca-se o concreto dentro do molde em camadas, utilizando uma concha seção “U” (Figura 09). Ao colocar o concreto, deslocar a concha ao redor do molde afim de que a distribuição fique simétrica, e imediatamente, com a haste circular, nivelar o concreto antes de iniciar o adensamento.

O adensamento deve ser realizado em função do abatimento seguindo aos critérios abaixo:

- Abatimento entre 10mm e 30mm adensamento por vibração;
- Abatimento entre 30mm e 150mm adensamento por vibração ou manual;

- Abatimento superior a 150mm adesamento manual.

Caso a moldagem não seja realizada no local de armazenamento os CP's devem ser levado imediatamente para o local da cura e realizado o rasamento.

O desforma será realizado 24h após a moldagem e os corpos de prova encaminhados para cura final até o momento do ensaio de resistência à compressão.



Figura 09 – Preenchimento do corpo de prova



Figura 10 – Adensamento em mesa vibratória

O concreto é introduzido no molde em camadas de volume aproximadamente igual e adensada com a haste que deve penetrar no concreto com seu extremo (Figura 10). O número de camadas é definido na tabela 3.

TABELA 3: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (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	*	*	*
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	*	*

* Não consta, adensamento manual para estes formatos.

ABNT NBR 5738:2003 – Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova.

A primeira camada deve ultrapassar toda a sua espessura, evitando golpear o fundo do molde. Os golpes devem ser distribuídos uniformemente em toda seção e todas as próximas camadas devem ser adensadas fazendo com que a haste penetre aproximadamente 20mm na camada abaixo.

Se a haste criar vazios na massa de concreto, deve-se bater levemente na lateral do molde até o fechamento destes. A última camada deve ser moldada sem excesso, de forma que ao ser adensado, complete o volume do molde e em seguida procedendo ao arrasamento e eliminando o material em excesso. Em caso algum se deve completar o volume do molde após o adensamento da última camada e tomar todas as precauções para que o molde se mantenha fixo, sem vibrações.

Para o adensamento mecânico, em mesa vibratória, utilizado em concretos seco o molde é preenchido, liga-se a mesa e inicia o adensamento de acordo com a compactação do concreto completa o preenchimento até que o molde fique totalmente preenchido e não haja mais vazios na amostra. A norma não prevê tempo determinado para a mesa vibratória apenas os cuidados necessários com a amostra evitando a perda da mesma.

A cura inicial realizada após a moldagem é realizada nas primeiras 24h, no qual os corpos de prova ficam armazenados em local protegido de intempéries, coberto com material não reativo e não absorvente evitando a perda de água do concreto processo denominado cura a vapor.

Os corpos de prova que são ensaiados no dia da desmoldagem inicial (24 horas – considerado para saque das peças) têm a finalidade de verificar a qualidade e uniformidade do concreto, os outros CP's que ensaiados com outras idades foram identificados e imediatamente armazenados em solução saturada de hidróxido de cálcio.

3.7.2 Moldagem e desmoldagem do corpo de prova cúbico (NP EN12390-2).

Para o enchimento dos moldes no formato 10x10x10cm, o concreto também é colocado em camadas. Cada camada não deve ultrapassar 10% do tamanho do molde e no mínimo deve ser compactado em duas camadas.

Logo após a colocação no molde a compactação é realizada de forma que não produza segregação e nem exsudação.

O adensamento manual também é realizado com a barra e o procedimento muito parecido a diferença se encontra nos golpes, são duas camadas de 25 golpes cuidando para remover as bolsas de ar que podem ficar dentro do concreto e com o nivelamento do concreto. Assim como no cilíndrico não se preenche o molde após a última compactação e a borda deve ser nivelada.

O adensamento mecânico em mesa vibratória para o CP cúbico é o mesmo processo que no cilíndrico, cuidando sempre com a amostra para evitar a perda da mesma (Figuras 11 e 12).



Figura 11– Finalização da moldagem do corpo de prova cúbico



Figura 12– Acabamento da moldagem do corpo de prova cúbico

A cura inicial realizada segue os mesmos parâmetros do cilíndrico, porém a desforma é feita 16h após a moldagem sempre protegida contra choques e perda de água para o ambiente. O armazenamento para cura também segue o procedimento do cilíndrico até o momento do ensaio.

3.8 Ensaio de resistência à compressão axial nos corpos de prova cilíndrico (NBR 5739) e cúbico (NP EN12390-3).

As bases devem ser preparadas antes do ensaio, determinado o diâmetro para cálculo e o rompimento deve ser realizado na idade determinada seguindo algumas tolerâncias a partir da moldagem (tabela 4).

TABELA 4: Tolerância para idade de ensaio

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

ABNT NBR 5739:2007 Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico.

Para ambos, o corpo de prova deverá estar limpo e seco e deverá ser colocado no centro do prato da prensa na posição em que será ensaiado. Algumas medidas devem ser adotadas na prensa para garantir a qualidade do ensaio tais como calibragem da prensa na qual o carregamento deve ser aplicado continuamente e sem choques, com uma velocidade de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s e só é considerado o fim do carregamento quando houver uma queda de força indicando a ruptura do concreto.

Dentre as rupturas, tanto para CP's cúbicos como cilíndricos, existe uma avaliação no formato da ruptura determinando se está satisfatória a aplicação da carga (ruptura). Tais análises são feitas de acordo com as figuras 13 à 16:

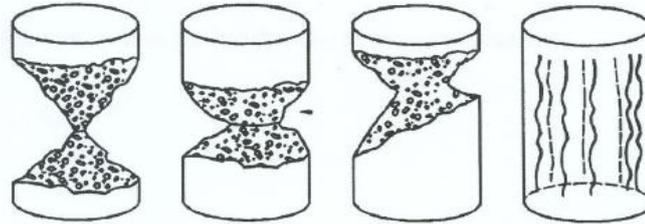


Figura 13 – Formas de ruptura consideradas satisfatórias para cilindros.

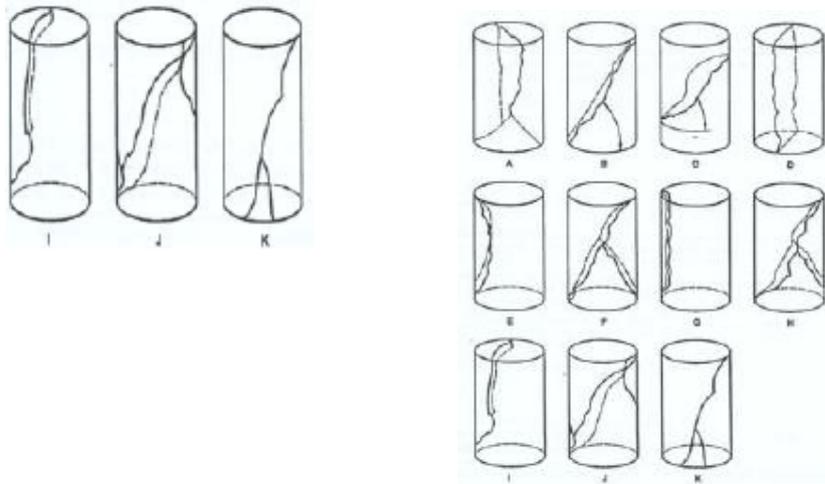


Figura 14 – Formas de ruptura insatisfatórias para cilindros

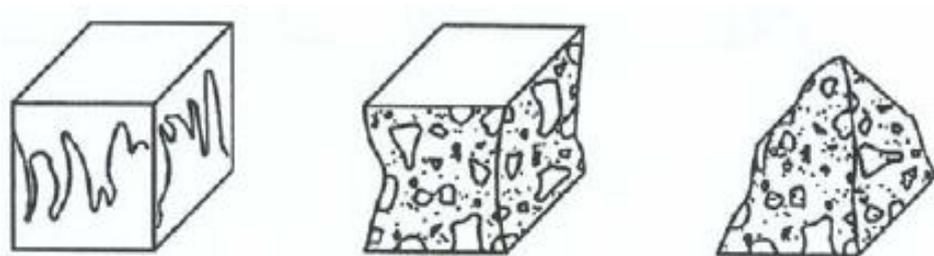


Figura 15 – Formas de ruptura satisfatórias para cubos

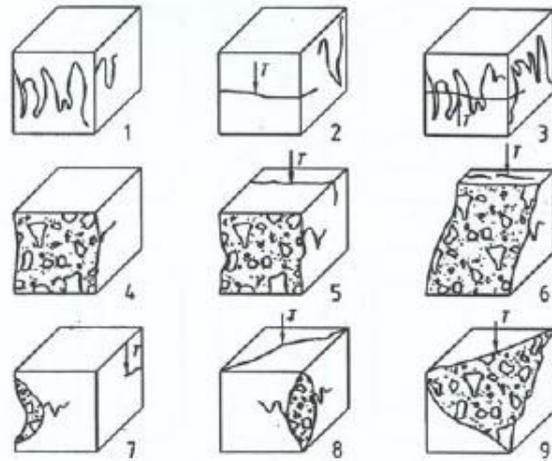


Figura 16 – Formas de ruptura insatisfatórias para cubos

Os rompimentos dos corpos de prova durante a pesquisa estão apresentados nas figuras 17 à 20.



Figura 17 – Rompimento do corpo de prova cilíndrico



Figura 18 – Rompimento do corpo de prova cúbico.



Figura 19 – Forma de ruptura do corpo de prova cúbico.



Figura 20 – Forma de ruptura do corpo de prova cilíndrico.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova cúbicos e cilíndricos, que foram realizados nas idades: 24h, 07 e 28 dias.

4.1 Resultados do Ensaio de Resistência a Compressão Axial

Abaixo, os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão, indicados na Tabela 05.

TABELA 5: Resistência à compressão

Amostra	Resistência à Compressão		
	Cilíndrico (MPa)	Cúbico (MPa)	%
Traço 10			
24 h	23,8	25,9	91
	24,1	26,1	92
7 d	47	48	97
	48,3	50,5	95
28 d	55,8	53,3	100
	56,8	56,4	100
Traço 13			
24 h	19	24,9	76
	21,1	26,7	79
7 d	33,6	35,5	94
	34,9	39,2	89
28 d	41,2	56,5	73
	42,6	57	74
Traço 19			
24 h	25,4	25,7	98
	26,2	25,8	100
7 d	50,5	45,6	100
	53,3	46,8	100
28 d	54,9	59	93
	56,4	60,6	93

As resistências obtidas na nos corpos de prova cilíndricos em média foram menores que nos corpos de prova cúbico com referência à *British Standards Institution Draft for Development*. DD ENV 206:1992 os resultados estão dentro do padrão. Porem pode-se perceber que os corpos de prova com melhor trabalhabilidade no cilíndrico tiveram resistência maior que no cúbico.

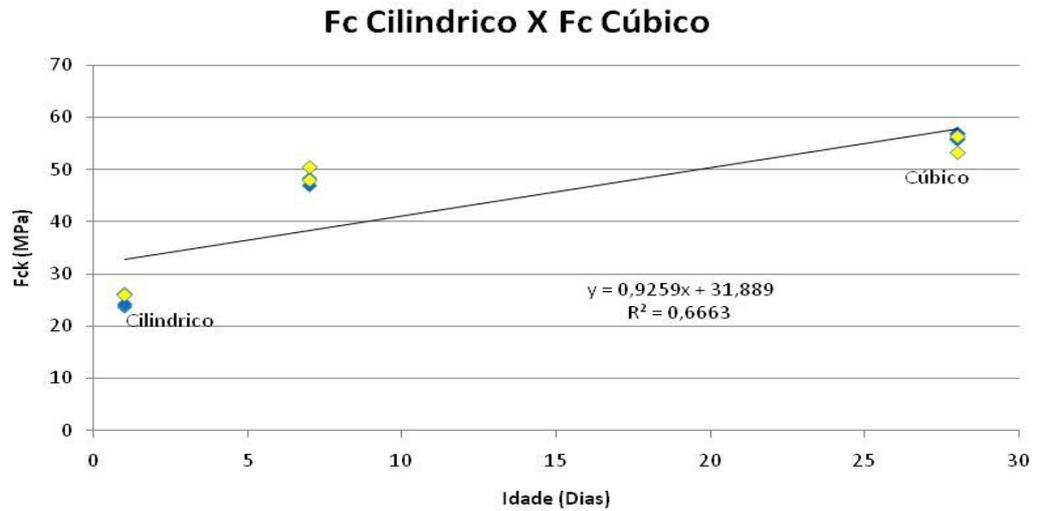


Figura 21 – Gráfico correlação da Compressão Axial para o traço 10.

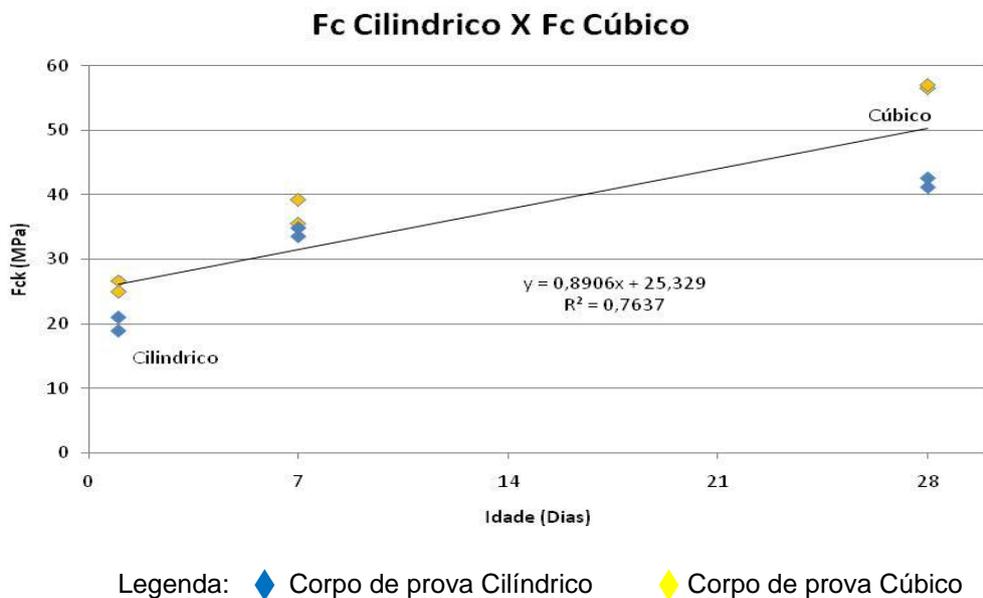


Figura 22 – Gráfico correlação da Compressão Axial para o traço 13.

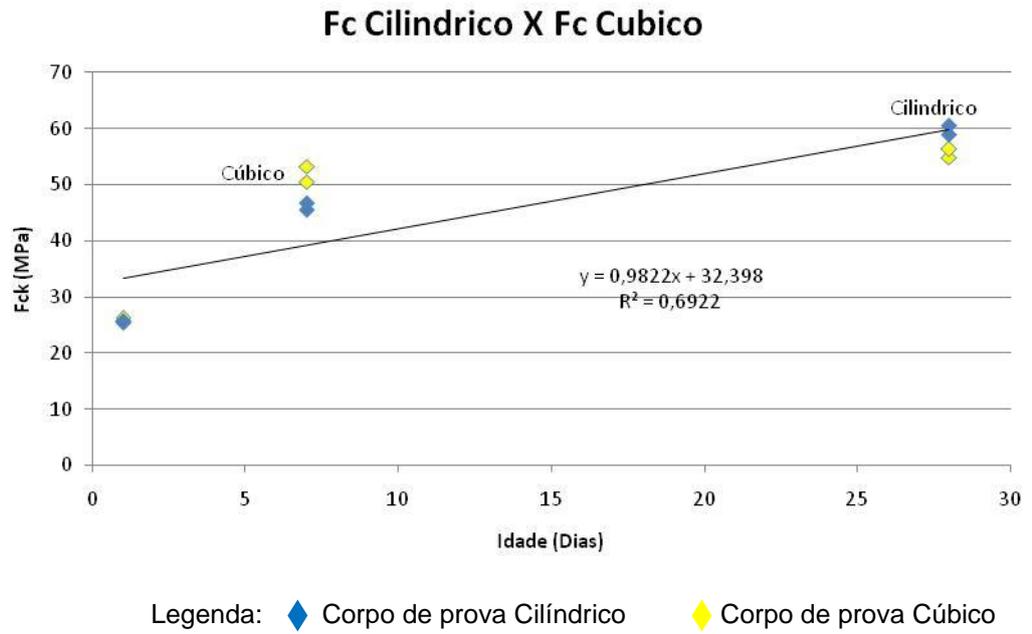


Figura 23 – Gráfico correlação da Compressão Axial para o traço 19.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

Conforme proposto desde o início deste trabalho, para que possa-se entender o “por quê” das diferentes formas adotadas nos corpos de prova a serem ensaiados, é necessário tecer uma análise histórica dentro do contexto da época em que se iniciaram os ensaios de resistência à compressão do concreto, quando houve opções distintas entre americanos e europeus.

Para os americanos, a ausência de arestas, favorece o adensamento, foi o que lhes chamou a atenção por este modelo de CP, o que não ocorre com o modelo cúbico. Com diâmetro de 15cm e área de 176,2cm², podia-se romper os CP's naquela época com as prensas comuns, as chamadas “prensas universais” que alcançavam 1 MN (100tf) de capacidade de carga. E realmente, $1\text{MN}/0,0176\text{m}^2 = 56\text{MPa}$, quando os concretos dificilmente alcançavam 30MPa. A esbelteza do cilindro $30/15=2$ diminuía os efeitos de extremidade do CP na prensa e reduzia a dispersão dos ensaios. Enquanto a maior desvantagem dos CP cúbicos, é a necessidade do arremate posterior à moldagem nas superfícies de carga, para torná-las planas e paralelas (capeamento).

Já os europeus (principalmente os alemães), preferiam os CP cúbicos de 20cm de aresta, apesar dos problemas das arestas, pois esses CP garantiam as superfícies de aplicação de carga absolutamente planas e paralelas, pois, ao serem colocados na prensa os CPs são girados de modo que as faces laterais fiquem em contato com os pratos de carga. Garantindo-se assim menor dispersão de resultados do que com os CP cilíndricos.

Os corpos de prova cúbicos apresentam desvantagens: a primeira é que a sua esbeltez = 1 reflete em maiores efeitos de extremidade (restrição dos pratos da prensa identificados por Rüsck) e com isso, um mesmo concreto apresenta resistência cúbica maior do que a cilíndrica.

A segunda desvantagem, na época, é que sua área de carga com $20 \times 20 = 400\text{cm}^2$ exigia, freqüentemente, prensas com mais de 1MN de capacidade. Com

essas prensas não se ensaiava concreto maiores mais de que $0,75 \times 1/0,04 = 19 \text{MPa}$, resistência a qual já era alcançada na década de 30, em laboratórios.

O cubo de 20x20cm tem uma área de carga 2,2 vezes maior do que a do cilindro de 15cm de diâmetro.

Com o passar do tempo a resistência do concreto aumentou juntamente com a capacidade das prensas.

Com relação aos resultados comparativos, é inegável a relação potencial entre as amostras cilíndricas e cúbicas. Há ainda, uma proporcionalidade média entre a resistência da amostra cilíndrica em função da cúbica.

Pode-se afirmar também que com os resultados obtidos, o método de corpo de prova cilíndrico, é mais conservador na questão de resultados, pois atinge resistência mais próxima do estimado.

Ao comparar as formas de ruptura obtidas no ensaio com as formas satisfatórias em norma obtêm resultados satisfatórios em ambos os formatos.

Os gráficos foram gerados a partir dos resultados em cada traço para os formatos cilíndricos e cúbicos, obtendo assim no gráfico de dispersão uma linha e para todos os gráficos são identificados que às 24 horas tanto corpos de prova cilíndricos como cúbicos os resultados ficam abaixo do estimado, porém ao atingir os 7 dias os corpos de prova atingem resistência superior ao que foi determinado para o traço, ao longo dos dias os corpos de prova não tem aumento considerável na resistência.

Ao analisar os resultados e compará-los com a DD ENV 206:1992 – *British Standards Institution Draft for Development*, identificou que 50% dos resultados ficam acima do considerado satisfatório para comparativo entre os formatos de corpo de prova.

5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Utilizar apenas uma amostra de concreto com no mínimo 06 corpos de prova em ambos formatos para cada idade afim de gerar uma equação ou uma constante que faça a conversão ao ensaiar um dos formatos de CP's.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, D. A. *Design of Concrete Mixtures*. Chicago: Ed. Lewis Institute, 1919.

HELENE, P.; TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. 1ª Edição. Brasília: SENAI, 1992.

PETRUCCI, E. G. R. *Concreto de cimento Portland*. 10ª Edição. São Paulo: GLOBO, 1970.

SCANDUZZI, L.; ANDRIOLO, F. R. *Concreto e seus materiais: propriedades e ensaios*. São Paulo: PINI, 1986.

_____ NBR 5733, 1991 “Cimento Portland de alta resistência inicial”, Rio de Janeiro.

_____ NBR 5738, 2003 “Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova”, Rio de Janeiro.

_____ NBR 5739, 2007 “Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndrico”, Rio de Janeiro.

_____ NBR 7217, 1982 “Agregado - Determinação da Composição Granulométrica, Rio de Janeiro.

_____ NBR 7251, 1982, “Agregado em Estado Solto - Determinação da Massa Unitária”, Rio de Janeiro.

_____ NBR 12654, 1992, “Controle tecnológico de materiais componentes de concreto - Procedimentos”, Rio de Janeiro.

_____ NBR NM 33, 1998, “Concreto – Amostragem de concreto fresco”, Rio de Janeiro.

_____ NBR NM 49, 2001, “Agregado Fino – Determinação de impurezas orgânicas”, Rio de Janeiro.

_____ NBR NM 137, 1997, “Argamassa e Concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland”, Rio de Janeiro.

_____ NBR NM 248, 2003, “Agregados – determinação da composição granulométrica”, Rio de Janeiro.

_____ NP EN 12390-1, 2003, “Ensaio de Concreto Endurecido – Forma, Dimensões e outros requisitos para ensaios de concreto e moldes”, Portugal.

_____ NP EN 12390-2, 2003, “Ensaio de Concreto Endurecido – Execução e cura de corpos de prova para ensaio de resistência mecânica”, Portugal.

_____ NP EN 12390-3, 2003, “Ensaio de Concreto Endurecido – Resistência à compressão dos corpos de prova de ensaio”, Portugal.

_____ NP EN 12390-4, 2003, “Ensaio de Concreto Endurecido – Resistência à compressão. Características das máquinas de ensaio”, Portugal.

ABCP, 1995. Disponível em: www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento

Prof. Msc. Luiz Carlos de Almeida, 2002. Notas de aula – Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/au405/Concreto.pdf>