

**DIOGO VIEIRA GOMES
FELIPE TORRES BOARETO**

**RESISTÊNCIA DO CONCRETO: VARIAÇÕES AO LONGO DO VOLUME DE
CONTROLE**

**Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Civil.**

**SÃO PAULO
2012**

**DIOGO VIEIRA GOMES
FELIPE TORRES BOARETO**

**RESISTÊNCIA DO CONCRETO: VARIAÇÕES AO LONGO DO VOLUME DE
CONTROLE**

**Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no
âmbito do Curso de Engenharia Civil.**

**Orientador: Professor Francisco Paulo
Graziano.**

SÃO PAULO

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Gomes, Diogo Vieira

**Resistência do concreto: variações ao longo do volume de controle / D.V. Gomes, F.T. Boareto. -- São Paulo, 2012.
68 p.**

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica.

1. Concreto (Controle de qualidade; Resistência) 2. Transportes I. Boareto, Felipe Torres II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica III. t.

Dedicatória

Dedicamos este trabalho aos nossos pais e namoradas que tanto nos apoiaram e deram total suporte durante o período de elaboração deste.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Francisco Paulo Graziano pela orientação e troca de experiências que tanto enriqueceu nossa formação acadêmica. Agradecemos também ao Professor Antônio Domingues de Figueiredo, que através discussões construtivas, contribuiu enormemente na elaboração e desenvolvimento deste trabalho, além do auxílio no fornecimento de materiais e equipamentos necessários para a realização dos ensaios.

SUMÁRIO

GOMES, DIOGO VIEIRA	III
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE TABELAS	9
ÍNDICE DE NOTAÇÕES	10
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 INICIO DO USO DO CONCRETO	13
1.2 O CONCRETO GREGO.....	13
1.3 O CONCRETO ROMANO	14
1.4 EVOLUÇÃO TÉCNICA DO CONCRETO	17
1.5 O CONCRETO MODERNO E O PROCESSO DE NORMATIZAÇÃO	19
1.6 DIFERENTES VISÕES DO CONTROLE DE CONFORMIDADE DO CONCRETO.....	20
1.6.1 NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.....	21
1.6.2 NBR 12655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento	22
1.6.3 NBR 7212 - Execução de concreto dosado em central – Procedimento.....	26
1.6.4 Concreto não conforme	29
2 OBJETIVOS	37
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	37
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	37
3 JUSTIFICATIVA	39
3.1 INCERTEZAS SOBRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO	39
3.2 DISCUSSÃO SOBRE A REPRESENTATIVIDADE DO PROCEDIMENTO DE ENSAIO ATUAL DO CONCRETO.....	39
4 METODOLOGIA	41
4.1 ESTUDO DA ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO.....	41
4.2 ENSAIO ESTATÍSTICO DE VERIFICAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM OBRA	43
4.3 ESTUDO DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO DENTRO DO CAMINHÃO BETONEIRA	44
5 RESULTADOS	48

5.1	ESTUDO DA ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO	48
5.2	ENSAIO ESTATÍSTICO DE VERIFICAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM OBRA	50
5.3	ESTUDO DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO DENTRO DO CAMINHÃO BETONEIRA	54
6	DISCUSSÃO	58
6.1	CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DOS RESULTADOS APRESENTADOS.....	58
6.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS APRESENTADOS.....	59
7	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS.....	65

RESUMO

RESISTÊNCIA DO CONCRETO: VARIAÇÕES AO LONGO DO VOLUME DE CONTROLE.

A evolução do uso do concreto através dos séculos fez com que a abordagem empírica com que este material era concebido passasse a ser uma abordagem semi-probabilística, introduzindo métodos de dosagem, mistura, transporte, controle e utilização do material.

Atualmente no Brasil, os procedimentos ligados à utilização do concreto, desde sua concepção e dosagem até a aceitação final, são regulamentados pelo corpo normativo existente desenvolvido ao longo dos últimos 75 anos.

Apesar de este material normativo abordar com clareza diversos temas acerca do uso do concreto, ainda existem pontos de discussão por parte do meio técnico, principalmente ligadas ao controle e aceitação do material.

Foram concebidos ensaios de campo com condições reais de obra e, com o auxílio de uma construtora no Rio de Janeiro e uma construtora em São Paulo, foram moldados 116 corpos de prova para o estudo do comportamento do material.

Foram encontradas variações ao longo do volume de controle com coeficientes de variação mínimos de 3,24% e 2,95% para cada um dos ensaios, reforçando a premissa do trabalho e mostrando necessários estudos para maior entendimento, principalmente, quando ligadas à variação da resistência do concreto ao longo do volume amostrado.

Descritores: Concreto, resistência, aceitação, controle, transporte.

ABSTRACT

CONCRETE RESISTANCE: CHANGES ALONG THE CONTROL VOLUME.

The evolution about the uses of the concrete across the centuries have started with an empirical approach and become a deterministic approach, introducing methods of dosage, mixing, transportation, control and usage of the material.

Nowadays in Brazil, the procedures linked to the uses of the concrete, from their conception and dosage to the final acceptance, are regulated by the normative body developed along the last 75 years.

Despite of this normative material clearly approach lots of themes about the uses of the concrete, there are some points that are discussed by the technical professionals, mainly people responsible for the control and acceptance of the material.

There were designed field tests with real conditions of work and, with the help of a construction company in Rio de Janeiro and another one in Sao Paulo, 116 were molded for the study of material behavior.

There were found variations along the control volume with minimum coefficients of variation of 3,24% and 2,95% for each test, reinforcing the initial premise and showing that studies for a better knowledge are needed, mostly, when linked with the variation of the concrete resistance along the control volume sampled.

Key words: concrete, strength, acceptance, control, transportation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: PARTENON GREGO – EXEMPLO CLÁSSICO DE ARQUITETURA GREGA.	14
FIGURA 2: VISÃO INTERIOR DA CÚPULA PANTEÃO	16
FIGURA 3: APROXIMAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CÁLCULO A PARTIR DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA	22
FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DAS CENTRAIS DOSADORAS (GOOGLE MAPS)	42
FIGURA 5: ÍNDICES DE CONGESTIONAMENTO NA CIDADE DE SÃO PAULO POR ZONA – DE 06/11/2011 A 06/11/2012 (MAPLINK, 2012).	43
FIGURA 6: CORPOS DE PROVA MOLDADOS E ENUMERADOS	45
FIGURA 7: PROCEDIMENTO PARA MANTER UMIDADE E PROTEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NA OBRA	45
FIGURA 8: CORPOS DE PROVA EM CÂMARA ÚMIDA	46
FIGURA 9: ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPO DE PROVA CILINDRICO.	46
FIGURA 10: ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA QUE DISTRIBUI CONCRETO CONVENCIONAL. (GOOGLE MAPS)	49
FIGURA 11: ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA QUE DISTRIBUI CONCRETO ESPECIAL. (GOOGLE MAPS)	50
FIGURA 12: RESULTADOS DO ENSAIO ESTATÍSTICO DE VERIFICAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM OBRA.....	52
FIGURA 13: GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA RETIRADOS AO LONGO DO CAMINHÃO BETONEIRA.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TRAJETÓRIA DO ESTUDO DA DOSAGEM DO CONCRETO (ADAPTADO DE TUTIKIAN E HELENE, 2011)	17
TABELA 2: TOLERÂNCIA PARA O ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE	29
TABELA 3: RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE CORPO DE PROVA	51
TABELA 4: LEGENDA DO TIPO DE ROMPIMENTO DE CADA UM DOS CPS	51
TABELA 5: MÉDIAS DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO POR TIPO DE RUPTURA.....	53
TABELA 6: RESULTADO DO ENSAIO DE RUPTURA À COMPRESSÃO.....	54

ÍNDICE DE NOTAÇÕES

TABELA 1: TRAJETÓRIA DO ESTUDO DA DOSAGEM DO CONCRETO (ADAPTADO DE TUTIKIAN E HELENE, 2011)	17
TABELA 2: TOLERÂNCIA PARA O ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE	29
TABELA 3: RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE CORPO DE PROVA	51
TABELA 4: LEGENDA DO TIPO DE ROMPIMENTO DE CADA UM DOS CPS	51
TABELA 5: MÉDIAS DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO POR TIPO DE RUPTURA.....	53
TABELA 6: RESULTADO DO ENSAIO DE RUPTURA À COMPRESSÃO.....	54

$X_0; f'_{c100\%}$ = Resultado da amostragem de um caminhão, tomado o maior valor dentre dois corpos de prova gêmeos, na amostragem total;

β = Adimensional que expressa uma medida de confiança estatística quanto à probabilidade de ruína;

f_{ck} = Resistência característica do concreto submetido à compressão;

f_{cd} = Resistência de cálculo do concreto submetido à compressão;

$f_{ck,estrutura}$ = f_{ck} da estrutura – resistência característica da estrutura;

$f_{ck,Prod}$ = f_{ck} da produção – resistência característica do concreto moldado na saída do caminhão betoneira;

$f_{cm,esp}$ = Resistência média experimental obtida por extração de testemunho da estrutura;

$f_{cm,estr}$ = Valor médio da distribuição de frequências das resistências à compressão da estrutura;

$f_{ck,est}$ = Resistência característica estatística;

S_d = Desvio padrão da amostra;

f_1 = O menor resultado das resistências obtidas e ordenadas de forma crescente;

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 INICIO DO USO DO CONCRETO

Desde os primórdios da civilização, o homem faz uso de materiais, naturais ou intuitivamente transformados, de maneira a suprir suas necessidades por abrigo (habitações e fortificações), higiene (obras sanitárias, aquedutos, barragens), transporte (rodovias, pontes) entre outros (escolas, hospitais, anfiteatros, templos, museus, palácios). A evolução dos materiais e técnicas utilizadas pelo homem deram origem aos estágios da civilização humana, Idade da Pedra, Idade do Bronze, Idade do Ferro (ISAIA. 2005).

Embora não tenha uma era nomeada na escala evolutiva da civilização humana, o domínio da utilização de materiais cerâmicos foi um passo fundamental para a humanidade. Segundo Cohen (COHEN, 2005), o primeiro material cerâmico a ser utilizado pelo homem foi a argila. A partir da argila mole, era possível moldar elementos com o formato desejável para execução de utensílios e objetos, manipulando pela primeira vez a natureza de materiais naturais. Sendo a primeira ocorrência de criação intencional de uma pedra dura artificial.

Após o domínio das argilas, outros materiais foram utilizados como aglomerantes, como cal e o gesso. Escavações na região da Galiléia, demonstram que entre 9000 a.C. e 7000 a.C. a cal já era utilizada para revestimentos de pisos e paredes e, misturada com pedra, utilizada como concreto em pisos. (MALINOWSKI e GARFINKEL, 2005).

1.2 O CONCRETO GREGO

O arranjo arquitetônico utilizado pela civilização grega era baseado essencialmente em estruturas de pedras de cantaria, simplesmente apoiadas sobre a forma de colunas e vigas. As pedras eram precisamente cortadas e conformadas, sendo geralmente utilizado o Mármore Branco, como é o caso do Partenon, estrutura datada de 5 a.C (Figura 1). Quando este material era escasso, caso de muitas ilhas gregas, eram empregados materiais abundantes no local, como terra vulcânica juntamente com cal, de modo a confeccionar argamassa pozolânica utilizada para construção de edificações e obras de infraestrutura (ISAIA, 2005).

Um exemplo do grau de conhecimento empírico que a civilização grega possuía do uso de concreto foi estudado por (KOUJ e FTIKOS, 2005). Neste estudo, foi analisada a estrutura de um tanque de concreto para estocagem de água na ilha de Rhodes, Grécia. A dosagem utilizada continha seixo, agregados calcários médios e finos e como aglomerantes, terra vulcânica e cal, de modo que a curva granulométrica resultante se aproxima muito de curvas estudadas atualmente. Após três mil anos, surpreendentemente, a estrutura ainda apresentava resistência a compressão de 13,5 MPa, equiparável a um concreto moderno utilizado em alguns tipos de fundações.



FIGURA 1: PARTENON GREGO – EXEMPLO CLÁSSICO DE ARQUITETURA GREGA.

1.3 O CONCRETO ROMANO

Diferentemente dos Gregos, os Romanos revolucionaram a arquitetura ocidental pelo uso do concreto como elemento estrutural de suas construções e monumentos, e não só como revestimento ou estruturas eventuais como os Gregos. O então chamado “concreto romano” mostrou avanço tecnológico nunca antes visto. (YEGUL, 2005).

Nos escritos de Vitruvius (*De Archichetura* – datados do 1º século a.C.), é explicado o modo de produção do concreto Romano. Em edifícios, eram utilizados pozolanas artificiais para preparo do concreto, tais como argila caulinítica calcinada

(*testa*) ou pedras vulcânicas calcinadas (*carbunculus*) e uma areia vulcânica reativa de origem natural (*harena fossicia*). No segundo volume da obra de Vitruvius, é dito que a conhecida pozolana da cidade de Pozzuoli, era utilizado apenas para obras destinadas ao contato direto com água e em fundações de pontes.

De acordo com Yegul (YEGUL, 2005), as vantagens na utilização do *opus cæmenticium*, obra cimentícia, em tradução livre, rapidamente foram notadas pelos artesãos da época, dentre as vantagens citadas nos estudos, estão:

- Maior resistência com possibilidade de vencer vãos maiores quando moldado em arcos, abobodas ou cúpulas;
- Grande flexibilidade para conformação dos espaços desejados;
- Mão-de-obra menos especializada comparado à utilizada no corte de pedras;
- Maior velocidade quando comparado ao sistema de corte e aparelhagem das pedras de cantaria;
- Maior segurança contra fogo nas coberturas em relação às estruturas de sustentação de madeira.

A civilização romana não possuía a tecnologia das armaduras de ferro, porém dominava a utilização de tijolos, pedras e concreto-massa, tirando partido da boa resistência a compressão dos mesmos. Sendo assim, fundamentados na experimentação, tentativas e erros, foram capazes de realizar obras magníficas de formas e dimensões nunca antes possíveis (IDORN, 2005).

Um ícone da perícia empírica do uso do concreto romano é o Panteão em Roma (Figura 2). Com 43,5 m de diâmetro, utiliza em sua cúpula agregados de densidade e espessuras das paredes decrescentes, de modo a reduzir a massa das paredes com a altura. Inicialmente, são utilizados agregados de mármore e carvão, em seguida tijolos quebrados e por último, agregado leve de pedra-pome. O Panteão foi construído pela primeira vez em 27 a.C., porém, foi destruído durante um incêndio e foi reconstruído em 120 d.C. Por 1800 anos, deteve o recorde de maior vão livre para uma cúpula, perdendo para o pavilhão do Festival de Breslau, Alemanha em 1912 (ISAIA, 2005).



FIGURA 2: VISÃO INTERIOR DA CÚPULA PANTEÃO

Um dos aspectos mais importantes do sucesso das obras romanas foi a criação das associações de artesãos (carpinteiros, pedreiros, ferreiros). Estas associações eram núcleos responsáveis pela proliferação das técnicas de execução, conhecimentos de materiais e desenvolvimento de ferramentas. As associações forneciam ao exercito romano soldados capazes de suprir as legiões romanas de construções civis, fortificações, pontes, estradas ou outras estruturas necessárias, tornando o exercito romano auto suficiente tecnicamente. Os soldados romanos, passavam seus conhecimentos aos melhores artesãos locais, para que estes utilizassem os métodos romanos em futuras obras. (THE HISTORY OF CONCRETE AND THE NABATAEANS, 2012).

Os artesãos romanos apresentavam um grande conhecimento e capacidade racional acerca da utilização do concreto, porém, fundamentados no empirismo. Os fenomenos podiam ser muito bem reproduzidos, mas nunca explicados (COHEN, 2005).

1.4 EVOLUÇÃO TÉCNICA DO CONCRETO

Durante um longo período de tempo, após a derrocada do império romano, não houve interesse pelo uso e desenvolvimento do concreto. Este material somente voltou a ser aceito como material de construção quando em 1824 o construtor inglês Joseph Aspdin patenteou o cimento Portland e em 1855, o francês Joseph Lambot patenteou o então chamado concreto armado, utilizando barras grossas e finas de ferro juntamente com uma argamassa de cimento. (CARVALHO, 2008).

Neste momento o concreto voltou a ser aceito como um material estrutural, pois o déficit de resistência à tração inerente à pasta de cimento foi superado, agregando ao conjunto as armaduras de ferro. Outro aspecto importante da maior aceitação do concreto foi o desenvolvimento de métodos científico experimentais no estudo da dosagem do concreto, e não mais com base empírica, como era visto na era clássica.

Diversos estudos foram desenvolvidos de maneira a compreender pela primeira vez o funcionamento dos componentes do concreto, otimizando o traço e os métodos de dosagem para obtenção de melhores características do concreto. A Tabela 1 sintetiza a evolução do estudo da dosagem do concreto.

TABELA 1: TRAJETÓRIA DO ESTUDO DA DOSAGEM DO CONCRETO (adaptado de TUTIKIAN E HELENE, 2011)

Período	Pesquisador	Ano	Contribuição
Até 1891, "princípios da tecnologia de cimentos e argamassas"	Joseph Aspdin	1824	• patenteia processo de fabricação de cimento Portland
	Louis Vicat	1828	• importância da granulometria da areia; inconvenientes do excesso de água
	Rondelet	1830	• finura da areia é fundamental
	Préadeau	1881	• fundamentos da granulometria descontínua
1892 a 1951 "fundamentos dos métodos clássicos de dosagem"	René Féret	1892	• lei fundamental de correlação entre resistência e compacidade
	Fuller	1901	• curva de referência (parábola) para granulometria ideal
	Duff Abrams	1918	• lei universalmente aceita de correlação entre resistência e relação a/c; módulo de finura; cone de abatimento para medida de consistência.
	Bolomey	1925	• melhora a curva de referência de Fuller
	Ary Torres	1927	• confirma modelos de Féret e Abrams e propõe método do módulo de finura no Brasil
	Du Sablon	1927	• princípios da granulometria descontínua
	Inge Lyse	1932	• demonstra a importância da água por unidade de volume na definição da consistência do concreto
	Lobo Carneiro	1937	• métodos de dosagem do INT com base nas curvas de Bolomey
	Blanks	1944	• texto consensual do ACI (na época 613, atual 211)
	Valette	1949	• método de dosagem com base na granulometria descontínua e água de molhagem
Petrucci	1951	• método de dosagem ITERS	

1936 a 1978	Paulo Sá	1936	• aplicação da estatística às características das madeiras
	Oliveira	1939	• aplicação da estatística ao controle da resistência do concreto
	Walker	1944	• aplicação dos conceitos da probabilidade à dosagem do concreto (1%)
	Morgan	1944	• dosagem do concreto com base em resistências mínimas (1,0%)
	Carneiro	1944	• dosagem do concreto com base em resistências mínimas (2,5%)
	Leme	1953	• conceito moderno de coeficiente de segurança
	C&CA	1954	• simpósio sobre dosagem e controle da qualidade do concreto
	Basílio	1954	• influência do coeficiente de variação na dosagem
	ABNT, NB-1	1960	• adota exclusivamente o coeficiente de variação como parâmetro característico da produção de concreto
	CEB, CIB, FIP, Rilem	1972	• privilegia o desvio-padrão como parâmetro característico da produção de concreto
ABNT, NBR-6118	1978	• adota exclusivamente o desvio-padrão como parâmetro característico da produção de concreto	
1950 a 1978	L'Hermite	1950	• introduz o modelo reológico para representar o comportamento do concreto fresco
	Tattersall	1957	• aprofunda os estudos de reologia
	Rüsch	1960	• estudo do efeito de cargas de longa duração (Efeito Rüsch). Estudo do fator tempo no concreto.
	Bombled	1968	• aprofunda os estudos de reologia do concreto fresco correlacionando-o ao concreto endurecido
	Powers	1968	• propõe um modelo abrangente de comportamento do concreto
	Sobral	1977	• introduz o modelo de Powers no Brasil
	Camargo	1977	• propõe uma representação do comportamento resistente integral do concreto
	Priszkulnik	1977	• introduz os modelos reológicos no Brasil
	Tattersall	1978	• publica um resumo das teorias sobre reologia e trabalhabilidade dos concretos frescos
1958 a 2011	Kurt Walz	1958	• introduz a curva de referência da resistência do cimento com a relação a/c
	Murdock	1960	• apresenta uma fórmula simplificada de representação dos fatores que influem na trabalhabilidade
	Priszkulnik & Kirilos	1974	• introduzem o diagrama de dosagem dos concretos nos estudos de dosagem
	Fusco	1979	• ressalta a importância da variabilidade da resistência do cimento sobre a resistência do concreto
	Rodrigues	1990	• apresenta a versão nacional do método de dosagem do ACI incluindo parâmetros obtidos das correlações atualizadas
	Tango	1986	• publica aplicações do método IPT de dosagem
	De Larrard	1990	• introduz conceitos de misturas compactas
	Helene & Terzian	1992	• publicam manual sobre dosagem e controle dos concretos no Brasil
	Geraldo Isaia	1995	• introduz conceito de misturas binárias e ternárias
	Vitervo O'Reilly	1998	• introduz metodologia prática de obter misturas compactas
Bernardo Tutikian	2004	• propõe métodos de dosagem para concretos auto adensáveis	
Kosmatka & Wilson	2011	• PCA publica 15ª versão do manual de dosagem dos concretos	

1.5 O CONCRETO MODERNO E O PROCESSO DE NORMATIZAÇÃO

Desde o início do século XX houve um intenso desenvolvimento de projetos mais exigentes utilizando concreto estrutural, tanto no emprego de vãos maiores, estruturas mais leves e desafiadoras, quanto em questões de produtividade e custos das mesmas. Estas exigências fizeram com que as estruturas fossem executadas cada vez mais rapidamente, colocando a qualidade, durabilidade e desempenho destas em segundo plano (ISAIA, 2005).

O relativo baixo custo e facilidade de moldagem sem o necessário desenvolvimento dos processos construtivos e capacitação da mão de obra, fez com que as estruturas apresentassem uma baixa durabilidade do concreto, apresentando um fato na indústria da construção civil, que é a pouca proximidade dos laboratórios de pesquisa e teoria do concreto do canteiro de obras (ISAIA, 2005).

O processo normativo busca justamente fazer a ponte entre o que é estudado laboratorialmente e o que é praticado na obra. As normas técnicas buscam trazer de maneira prática condições, que se seguidas, garantem qualidade mínima ao concreto e as estruturas com ele executadas.

O início do processo de normatização do concreto se deu em 1904 na Alemanha, quando a associação Germânica de Arquitetos e Engenheiros, juntamente com a Associação Alemã do Concreto, iniciaram o projeto preliminar de normatização para dimensionamento, execução e ensaio de estruturas de concreto armado que se tornaram base para a regulamentação. (KAEFER, 1998)

No Brasil, o início da normatização se deu com a criação da associação brasileira de normas técnicas (ABNT) em 1937, em decorrência da necessidade da elaboração de normas técnicas capazes de substituir as diferentes normas que eram utilizadas por diversos laboratórios do País. Como cada laboratório utilizava suas próprias normas, não havia padronização, portanto ensaios com corpos de provas similares geravam resultados distintos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006)

Em 1940 já existiam as duas primeiras normas técnicas brasileiras: norma NB-1 – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado e MB-1 – Cimento Portland – Determinação da Resistência à Compressão. Estas duas normas eram

utilizadas em conjunto para suprir a necessidade da construção civil brasileira por normas unificadas.

Atualmente, existem no Brasil diversas normas que regulam procedimentos, métodos de ensaio, especificações de materiais, métodos de execução entre outras regulamentações, sendo as mais importantes:

- NBR 6118 – 2003: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR14931 - 2004 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 7212 - 2012 - Execução de concreto dosado em central – Procedimento;
- NBR 12654 - 1992 - Controle tecnológico de materiais do concreto;
- NBR 12655 - 2006 - Concreto - Preparo, Controle e Recebimento;
- NBR NM 33 - 1998 - Concreto - Amostragem de concreto fresco;
- NBR NM 67 - 1998 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone;
- NBR 5738 - 2003 - Concreto - Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova;
- NBR 5739 - 2007 - Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

1.6 DIFERENTES VISÕES DO CONTROLE DE CONFORMIDADE DO CONCRETO

Apesar do corpo normativo disponível no Brasil, há discussões quanto à forma de interpretação do controle e aceitação do concreto por parte dos envolvidos na cadeia produtiva da construção civil, principalmente em relação à não conformidade do concreto e às dispensas e responsabilidades geradas nestas situações.

Na base da construção civil, podem ser destacados três pilares fundamentais, os projetistas, responsáveis principalmente pela concepção estrutural e detalhamento das estruturas; os tecnologistas do concreto, responsáveis pelo desenvolvimento de novas tecnologias de preparo, mistura e dosagem do concreto e os executores de obra, sendo estes responsáveis pela garantia de cumprimento das normas e boas práticas no canteiro de obra, sendo que todos estes têm importância vital para assegurar segurança estrutural, desempenho, qualidade, vida útil e

viabilidade econômica. A destinação das responsabilidades em cada etapa do preparo, aceitação e utilização do concreto é descrita principalmente pelas normas ABNT NBR – 6118:2003, ABNT NBR – 7212:2012 e ABNT NBR – 12655:2006.

1.6.1 NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

A ABNT NBR – 6118:2003 trata de todos os requisitos de projeto com especificações de cálculos, detalhamentos, dimensionamento, verificação, diretrizes, métodos de controle, propriedades dos materiais, segurança e estados limites, ações corretivas, resistências, limites de abertura de fissuras entre outros critérios necessários aos projetos estruturais. Não há, porém, nenhum procedimento específico quanto à aceitação, recebimento e controle tecnológico do concreto, deixando estes itens para a ABNT NBR – 12655:2006, intencionalmente.

De acordo com a ABNT NBR – 6118:2003, são considerados valores de cálculo para o concreto, considerando a variabilidade da resistência dos materiais envolvidos, as diferenças das resistências do concreto no corpo-de-prova e na estrutura e desvios gerados na construção e aproximações assumidas nos projetos. A resistência de cálculo é obtida pela expressão:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \text{ e } \gamma_m = \gamma_{m1} \cdot \gamma_{m2} \cdot \gamma_{m3}$$

Sendo, f_d a resistência de cálculo, f_k a resistência característica e γ_m composto por:

- γ_{m1} Parte do coeficiente ligado à variabilidade dos materiais envolvidos;
- γ_{m2} Parte do coeficiente ligado às diferenças da resistência do material no corpo-de-prova e na estrutura;
- γ_{m3} Parte do coeficiente ligado aos desvios gerados na construção e aproximações feitas em projeto.

Como o controle do concreto mede a resistência do concreto no momento de chegada à obra, mas visando garantir a resistência do concreto na estrutura, estes coeficientes se fazem necessários. A figura 3 mostra como é obtida a resistência de cálculo a partir da resistência característica obtida por ensaio de corpo de prova.

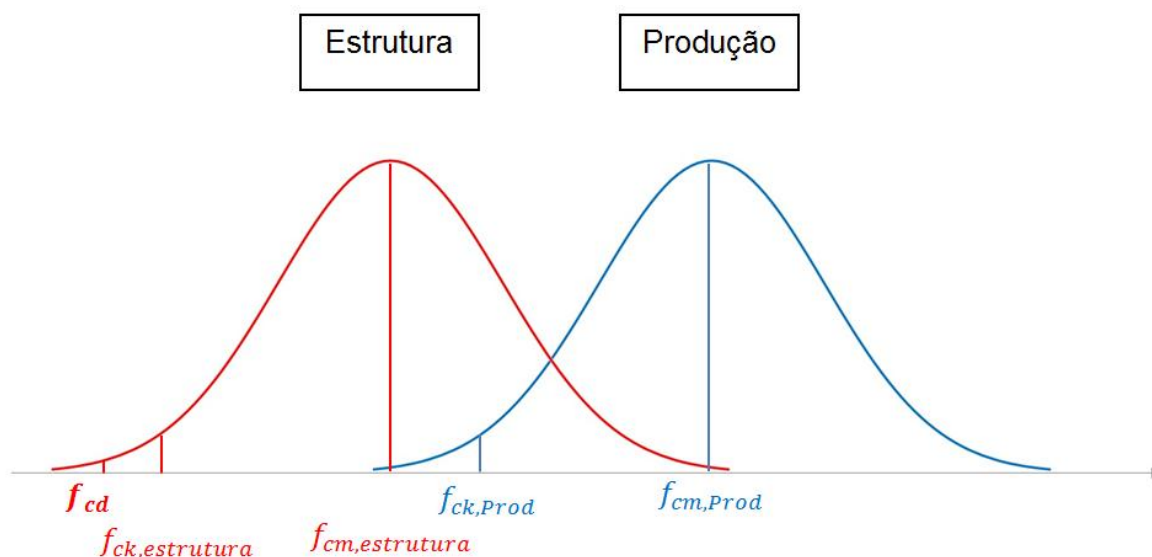


FIGURA 3: APROXIMAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE CÁLCULO A PARTIR DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA

O resultado dos ensaios de corpo de prova moldados na saída do caminhão representam a curva em azul da figura 3, denominado neste trabalho resistências do concreto na produção. É assumido que tanto o concreto na produção quanto o concreto na estrutura possuem o mesmo valor de desvio padrão, somente com uma média deslocada. O coeficiente responsável pelo deslocamento desta média é a parcela γ_{m2} que, segundo Fusco (FUSCO, 2012), assume valor de 1,08. A norma ABNT NBR – 6118:2003, define que, sendo o material resistente o concreto, o coeficiente de ponderação das resistências, em condições normais, é tomado como $\gamma_m = \gamma_c = 1,4$.

1.6.2 NBR 12655 – Concreto – Preparo, controle e recebimento

Inicialmente, a ABNT NBR – 12655:2006 traz generalidades acerca das etapas de execução do concreto, definindo as modalidades de preparo do concreto (em obra ou em central dosadora) e atribui as responsabilidades por cada etapa da cadeia produtiva do concreto, sendo:

1. Profissional responsável pelo projeto estrutural:
 - a. Registro do f_{ck} em todos os projetos e memoriais de cálculo;

- b. Especificação do f_{ck} para as etapas construtivas como retirada de cimbramentos, aplicação de protensão, entre outras;
 - c. Especificação da durabilidade da estrutura, relação água/cimento (a/c), módulo de deformação na desforma, consumo de cimento mínimo, entre outras características (ABNT NBR – 6118:2003).
2. Profissional responsável pela execução da obra:
- a. Escolha da modalidade de preparo do concreto (preparo em obra ou dosado em empresa de serviço de concretagem);
 - b. Quando concreto preparado em obra, é responsável pelas etapas de preparo, estocagem do material e controle de dosagem;
 - c. Escolha do tipo de concreto, consistência, dimensão máxima de agregado, de acordo com o projeto e condições de aplicação;
 - d. Atendimento dos requisitos estabelecidos em projeto;
 - e. Aceitação do concreto;
 - f. Cuidados atrelados ao sistema construtivo (Adensamento, retirada de escoramento, cura, proteção de armaduras).

3. Responsável pelo recebimento do concreto:

O responsável pelo recebimento e aceitação do concreto (quando preparado em empresa de serviço de concretagem) é o proprietário da obra ou responsável técnico por ele definido. A norma (ABNT NBR – 12655:2006) exige que seja mantida uma documentação comprobatória de cumprimento dos requisitos por ela descritos pelo prazo da legislação vigente.

A ABNT NBR – 12655:2006 define ainda as condições de preparo do concreto, se baseando fundamentalmente na equação:

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \times S_d$$

Sendo f_{cj} igual à resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, f_{ck} a resistência característica do concreto à compressão e S_d o desvio padrão da resistência do concreto na produção. A norma estipula três condições de preparo, sendo que o valor de S_d quando desconhecido (Inferior a 10 resultados nos últimos 30 dias), fixado em 4,0 MPa, 5,5 MPa e 7,0 MPa, para as condições a, b e c respectivamente, sendo estas:

- a. Concreto de classe C10 a C80: Cimento e agregados dosados em massa; Água dosada em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida de acordo com umidade dos agregados.
- b. Concreto de classe C10 a C20: Cimento medido em massa; Agregados medidos em volume; Água medida em massa ou volume, com dispositivo dosador; Umidade dos agregados miúdos deve ser corrigida pelo menos três vezes durante cada turno de concretagem; Volume do agregado miúdo é corrigido pela curva de inchamento definida para este material.
* Concreto de classe C25: Mesmas condições de “b” porém com umidade dos agregados miúdos sempre estabelecida.
- c. Concreto de classe C10 a C15: Cimento medido em massa; agregados dosados em volume; água medida em volume ou massa e é corrigida de acordo com umidade dos agregados estimada e da determinação de consistência do concreto.

Ainda são impostos aos concretos de classe superior a C10, o controle de consistência e resistência, sendo para concreto preparado em canteiro deve ser analisada a consistência:

- Na primeira amassada do dia;
- Ao reiniciar o preparo após interrupção superior a 2 horas;
- Na troca de operadores;
- Cada vez que forem moldados corpos de prova para ensaio de resistência.

Quando o concreto é preparado em central dosadora, deve ser analisada a consistência a cada betonada.

O último item abordado pela norma é em relação à aceitação do concreto, descrevendo os tipos de amostragem (parcial ou total) e os procedimentos a serem desempenhados em cada tipo de amostragem.

1. Amostragem parcial:

Para este tipo de amostragem, devem ser retirados ao menos 6 exemplares para concretos de classe até C50. Para concretos de classe superior a C50, devem ser retirados 12 ou mais exemplares.

- a) Lotes com número de exemplares entre 6 e 20:

$$f_{ck,est} = 2 \times \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} - f_m$$

Sendo $f_{ck,est}$ valor estimado da resistência característica à compressão e m igual à metade do número de exemplares (descarta-se o maior valor quando o número de exemplares é ímpar).

b) Lotes com número de exemplares maior que 20:

$$f_{ck,est} = f_{cm} - 1,65 \times S_d$$

Sendo $f_{ck,est}$ valor estimado da resistência característica à compressão, f_{cm} a resistência média dos exemplares do lote em Mpa e S_d o desvio padrão da resistência para os $n-1$ exemplares (a menos do de maior resistência).

2. Amostragem total:

Nesta modalidade de controle (exercida pela maioria das construtoras) é controlada a resistência de todas as massadas de concreto sendo que o valor estimado da resistência característica é:

a) Para número de exemplares menor a 20:

$$f_{ck,est} = f_1$$

Sendo f_1 igual ao menor valor encontrado na amostra.

b) Para número de exemplares superior a 20:

$$f_{ck,est} = f_i$$

Sendo f_i o i -ésimo valor da resistência dos exemplares em ordem crescente e i igual a 0,05 vezes o número de exemplares (quanto

resulta em número fracionário, adota-se o inteiro imediatamente superior).

1.6.3 NBR 7212 - Execução de concreto dosado em central – Procedimento

A ABNT NBR – 7212:2012 fixa as condições exigíveis para a execução de concreto dosado em central, incluindo as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, inspeção, controle de qualidade, transporte, recebimento, aceitação e rejeição do concreto.

Inicialmente, é definido pela ABNT NBR – 7212:2012 o concreto dosado em central como concreto misturado em equipamento estacionário ou móvel e transportado por equipamento dotado ou não de agitação. A norma define ainda empresa de serviço de concretagem como o responsável pelo pelos serviços de dosagem, mistura e transporte do concreto, da central até o local de entrega e contratante dos serviços de concreto como o responsável pela contratação dos serviços de concretagem, emissão dos pedidos de entrega de concreto, recebimento do concreto fresco, verificação da concordância das características do concreto pedido e do concreto entregue e aceitação final do concreto.

Esta norma tem foco principalmente em estabelecer as condições de controle do preparo do concreto, sendo explicitados todos os requisitos de dosagem, armazenamento, aferição dos equipamentos, mistura, transporte e temperatura, descritos a seguir:

1. Armazenamento

São especificados os locais de armazenagem de todos os componentes utilizados no preparo do concreto, agregados, cimento, água e aditivos. Estes materiais devem ser dispostos em recipientes ou locais apropriados de maneira a evitar misturas e alterações de composição além de contaminação.

2. Dosagem

São especificadas condições exigíveis para a dosagem dos componentes do concreto. Sendo que para cada material, há um desvio máximo permitido:

a) Agregados

Desvio máximo igual a 3% do valor nominal da massa ou 1% da capacidade da balança, adotando o menor valor entre os dois.

b) Cimento

Quando a massa de cimento é superior a 30% da capacidade da balança, deve ser adotado desvio máximo de 1%. Quando a massa é inferior a 30%, deve ser adotado um desvio de 0% a +4%, a favor da segurança.

O cimento pode ser dosado em sacos de 50kg, desde que seguidos os requisitos acima e não ocorra fracionamento de sacos.

c) Água

O controle de adição de água permite um desvio máximo de 3% em relação à quantidade nominal. Deve ser considerada a água sob todas as suas formas, ou seja, a umidade dos agregados, água para dissolução dos aditivos, gelo, etc.

d) Aditivos

Deve-se assegurar a homogeneização do aditivo em todo o volume de concreto. O desvio máximo permitido é de 5% da quantidade total de aditivo.

3. Aferição dos equipamentos

A aferição dos equipamentos deve ser feita periodicamente, garantindo que a diferença entre a massa real e a massa indicada seja inferior a 2% e que os limites de 5.000m³ ou três meses entre aferições não sejam ultrapassados.

4. Mistura

Os materiais componentes do concreto podem ser misturados por equipamento estacionário ou móvel e pode ser feita mistura completa ou parcial¹ na central dosadora. Quando o concreto é misturado em equipamento estacionário, é feita a mistura completa e é utilizado equipamento de transporte dotado ou não de agitação. Quando utilizado equipamento móvel, a mistura na central dosadora pode ser parcial, sendo obrigatório um sistema de controle de dosagem de água quando da adição final de água e mistura completa.

¹ Adição incompleta da água na central dosadora com adição de água no ponto de utilização e mistura final do concreto.

É permitido que seja adicionado uma quantidade suplementar de água para correção de abatimento, desde que o abatimento inicial seja maior que 10 milímetros, não haja aumento de abatimento maior que 25 milímetros, não exceda o limite máximo de abatimento estabelecido e o tempo entre a primeira adição de água e o início de descarga do material seja inferior a 15 minutos.

5. Transporte

O transporte do material pode ser feito por caminhão dotado ou não de agitação, sendo exigido a que o caminhão cumpra requisitos de estanqueidade de modo que não altere a composição da carga. É estipulado também que o abatimento máximo para transporte em caminhão desprovido de agitação é 40 milímetros.

O tempo máximo de transporte quando utilizando veículo dotado de agitação é de 90 minutos para a chegada do concreto ao local de aplicação e 150 minutos até o término do descarregamento. Quando desprovido de agitação, os tempos limites são 40 minutos para a chegada do concreto e 60 minutos para o descarregamento.

O tempo máximo de chegada do concreto à obra e descarregamento pode sofrer alteração de acordo com condições ambientais (temperatura, umidade), com o uso de aditivos retardadores, substituição de parte da água de amassamento por gelo ou dependendo do consumo de cimento.

6. Temperatura

As temperaturas limites estabelecidas em norma são 10°C e 32°C para concretagem sem cuidados especiais, fora destes limites devem ser tomadas precauções de modo a evitar patologias de origem térmica.

São especificadas também as condições específicas para o pedido do concreto, podendo ser: Pela resistência característica à compressão do concreto, em que o material é solicitado especificando a resistência à compressão, o abatimento por ensaio de tronco de cone no momento da entrega do concreto e a dimensão máxima do agregado; Pedido pelo consumo de cimento, que também são especificados a dimensão máxima dos agregados e abatimento do concreto fresco; Pedido pelo traço, em que é especificada a quantidade de cada material componente incluindo-se aditivos (caso presente).

Adicionalmente podem ser especificadas outras características do concreto como: tipo e marca do cimento, adições ativas, tipo de aditivo, relação a/c máxima,

consumo máximo ou mínimo de cimento, volume máximo de ar incorporado, entre outras características dos componentes e propriedades do concreto.

A ABNT NBR – 7212:2012 regula ainda responsabilidades relacionadas à entrega do concreto, local e prazo de entrega, métodos de medição do volume entregue, documentação necessária no momento do recebimento do concreto e análise estatística que deve ser adotada pelo laboratório.

O último item abordado pela norma é quanto à aceitação do concreto dosado em central e, assim como na ABNT NBR – 12655:2006, a responsabilidade de aceitação ou rejeição do material entregue é do proprietário da obra, contratante do concreto.

A aceitação é dada em duas etapas, a primeira, em estado fresco, consiste na verificação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT NBR 7223), tendo como tolerância os valores fixados na tabela 2.

TABELA 2: TOLERÂNCIA PARA O ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE

Abatimento (mm)	Tolerância (mm)
De 10 a 90	±10
De 100 a 150	±20
Acima de 160	±30

A segunda etapa se dá pela análise do concreto endurecido. A ABNT NBR – 7212:2012, no caso em que o concreto pedido tenha uma resistência especificada, exige que sejam seguidos os critérios para controle da resistência característica segundo as normas ABNT NBR – 6118:2003, ABNT NBR – 7187:2003 e ABNT NBR – 7583:2010.

1.6.4 Concreto não conforme

No decorrer de 2011 e início de 2012, três artigos discutindo o controle da resistência do concreto e conformidade ou não do material foram publicados. Estes

artigos foram escritos por três autores que detêm uma visão própria do mecanismo de aceitação normatizado no Brasil.

O primeiro texto é do professor Paulo Helene, Contribuição à análise da resistência do concreto em estruturas existentes para fins de avaliação da segurança (HELENE, 2012). Assim como exposto em norma, o autor defende que um concreto que possua 5% de seu volume com resistência inferior ao f_{ck} está conforme, ou seja, um concreto com 5% de volume defeituoso está conforme. O autor ainda discute a responsabilidade sobre os possíveis reforços necessários quando concreto resulta em resistência inferior ao f_{ck} .

Quando analisado o concreto e identificada resistência abaixo da contratada em uma amostra superior a 5%, fica claro o problema na produção deste concreto e a responsabilidade pelos possíveis gastos com reforços por parte da empresa de serviço de concretagem.

Porém, segundo o autor, quando somente 5% do volume do concreto apresenta resistência inferior a exigida, sendo este um concreto conforme, mas estes 5% de concreto defeituoso é destinado a peças estruturais “sem qualquer folga”, fica claro que será necessário um reforço estrutural, porém, não é claro quem arcará com as despesas decorrentes ao mesmo.

É defendido no texto, que desde que seja feito bom mapeamento e amostragem total dos caminhões betoneira, haverá boa rastreabilidade e será conhecida a resistência de todo o concreto da obra, pois, segundo o autor “Em tecnologia do concreto, o concreto dentro de um balão de um único caminhão betoneira é considerado homogêneo e tem uma única resistência conforme estabelecido pela ABNT NBR 12655:2006 na sua definição de ‘exemplar’, que coincide com a visão de todas as demais normas internacionais. Não é possível imaginar que resultados de corpos-de-prova de uma mesma amassada, um mesmo volume restrito de concreto de mesmos materiais, misturados juntos e dentro de um único caminhão betoneira possam ter resistências diferentes”. É especificado que o coeficiente de variação máximo encontrado dentro de um caminhão betoneira é 2,5%.

O segundo texto é de autoria do professor Péricles Brasiliense Fusco, Controle de resistência do concreto (FUSCO, 2012). Inicialmente Fusco discorre

sobre a evolução dos métodos de cálculo até o método semi-probabilístico utilizado atualmente.

O professor Fusco continua em seu artigo enumerando uma série de critérios para a amostragem total e parcial do concreto fornecido à obra por empresa de serviço de concretagem. Sendo estes:

- Critério C1:

No controle total, são moldados dois corpos de prova para cada idade de cada caminhão betoneira, sendo X_0 o maior resultado de ensaio de compressão de corpo de prova.

A resistência característica do concreto para verificação de conformidade do mesmo deve ser $f_{ck,estrutura} = 0,96 X_0$. Se $f_{ck,estrutura} < f_{ck,especificado}$ o concreto é automaticamente dado como não conforme e deve ser analisado o local de aplicação deste concreto, cabendo ao projetista dizer se será necessário reforço estrutural ou não.

- Critério C2 e C3:

Os critérios C2 e C3 tratam sobre controle parcial do concreto, sendo especificados como é feita a estimativa da resistência característica na estrutura da amostra e diz que se, considerando o concreto de todas as betoneiras, $f_{ck,estrutura} \geq f_{ck,especificado}$ o concreto é tido como conforme, porém, se um único valor $f_{ck,estrutura} < f_{ck,especificado}$, todo o concreto é dado como não conforme, pois não sabe-se onde este concreto foi utilizado.

- Critério C4:

O critério C4 versa sobre contraprova em caso de não conformidade do concreto. Quando é questionada a resistência do concreto empregado em peças de uma estrutura, é necessária a extração de testemunhos. O número de testemunhos extraídos deve ser coerente com o tamanho de cada trecho em exame, não sendo necessária a retirada de dois testemunhos gêmeos, pois não há risco que o concreto em um deles seja diferente do concreto do outro, nem as condições de moldagem de ambos.

O método de análise da resistência característica do concreto é análogo ao critério C1, sendo:

$$f_{ck,estrutura} = \frac{f_{cm,exp}}{1,1} = 0,9 \times f_{cm,exp}$$

Com $f_{cm,exp}$ igual à média de cada trecho em análise.

- Critério C5:

No cálculo dos esforços para aceitação de concreto não conforme sem reforços estruturais, pode ser adotado um coeficiente de majoração $\gamma_{ig} = 1,2$ para as cargas de estrutura e alvenaria já consolidadas, no cálculo das cargas permanentes. Este critério não pode ser utilizado para os pilares quando houver pavimentos a serem concretados.

- Critério C6:

Quando analisados testemunhos extraídos ou corpos de prova moldados durante a concretagem que possuam mais de 28 dias de cura, é necessário ajustar a resistência dos mesmo para a idade padrão de 28 dias.

Entretanto, segundo o autor, para testemunhos de até três meses, não é necessário ajuste para a idade de 28 dias, dado o efeito antagônico do crescimento da resistência do concreto com o tempo.

O terceiro texto é do professor Francisco Paulo Graziano, Segurança estrutural e controle da resistência do concreto (GRAZIANO, 2012). O texto aborda o tema de segurança estrutural discutindo conceitos de análise estatística com base em distribuição gaussiana, conceito de segurança pelo método semi-probabilístico, sistemas de produção e de controle da qualidade, etapas da construção e a introdução da variabilidade na resistência do concreto, ensaios para o controle da resistência e a sua variabilidade na aferição dos resultados, fatores que influem na resistência do concreto, introdução da segurança em elementos estruturais de concreto, avaliação da conformidade através de corpos de prova moldados e de testemunhos extraídos.

Inicialmente, após uma breve introdução dos conceitos da análise estatística gaussiana e do comportamento da média e desvio padrão das amostras de

concreto, o autor discute as etapas na construção que agregam variabilidade na resistência do concreto, sendo elas:

- Dosagem experimental: O traço é obtido de maneira experimental sendo assim, podem haver diferenças entre os valores da etapa experimental e o concreto produzido;
- Dosagem da produção: A inconstância da qualidade dos insumos e equipamentos de produção e controle da produção introduzem variabilidade ao concreto;
- Homogeneização do concreto pela betoneira: A qualidade dos equipamentos responsáveis pela mistura do concreto e o mau treinamento da equipe de operadores responsável pelo equipamento agregam variabilidade ao material produzido;
- Tempo de transporte: Durante o transporte, o tempo em trânsito e condições climáticas como calor e umidade do ar podem alterar o comportamento do concreto;
- Tempo decorrido entre a descarga e a aplicação do concreto: Se o tempo limite de aplicação do concreto é excedido entre a descarga e a aplicação, ocorrendo início da pega do material, sua capacidade de agregação pode ser reduzida.
- Processo de bombeamento: O concreto quando submetido ao processo de bombeamento deve sofrer alterações, principalmente, quando em contato com a pasta de cimento utilizada para a lubrificação inicial da tubulação da bomba.
- Lançamento e vibração: O lançamento pode causar a desagregação do concreto e, durante a etapa de vibração, se insuficiente, causa grande proporção de ar incorporado, se vibrado em excesso, decanta os agregados mais densos criando maior heterogeneidade ao longo do volume.
- Cura: Apesar de processo muito importante para a homogeneização do concreto e possível recuperação de imperfeições, não tem efeito mensurável, se tornando secundária em condições de obra.
- Escoramento permanente: O estudo do escoramento permanente e reescoramento devem ser feitos de maneira tão criteriosa quanto os das

próprias estruturas em si pois, durante essas fases, os carregamentos sobre a estruturas podem ser maiores que a carga de uso final a estas que foram projetadas, causando danos à capacidade portante e fissuração da estrutura.

O artigo segue discutindo que, para corpos de prova moldados, há um bom amparo normativo (NBR 6118 e NBR 12655), porém, para testemunhos extraídos não há estudos analíticos com base estatística suficiente. No caso de corpos de provas moldados, erros causados por equipamentos descalibrados, técnicos despreparados, transporte inadequado e má moldagem são minimizados pela prática da adoção do maior valor entre os dois elementos gêmeos moldados. Quando na extração de testemunhos, os danos causados na própria extração, transporte e ensaio devem ser corrigidos com um fator único, sendo este majorador:

$$C = \sqrt[4]{\frac{1}{0,96^n}}$$

Sendo n igual ao número de testemunhos extraídos para a determinação de uma mesma resistência e C sempre menor ou igual a 1,05.

O autor ainda recomenda, apesar de permitido pela normalização, evitar que sejam cortadas barras de aço durante a extração, pois, além de possivelmente introduzir um erro crescendo ou reduzindo a resistência do testemunho, prejudica a estrutura que sofreu a extração.

O próximo assunto abordado pelo professor Graziano em seu texto é quanto ao cálculo da segurança de estruturas. Segundo o artigo, o método mais eficiente de introduzir a segurança em uma estrutura é medindo a probabilidade de ruína. O autor apresenta o adimensional β citado no texto do professor Fusco (FUSCO, 2012), que expressa a segurança da estrutura de forma global. Utilizando o conceito de β , é calculado que para um aumento da variabilidade da resistência do concreto de 3,5%, a probabilidade de ruína é elevada de 1/204.113 para 1/14.179, ou seja, um aumento de 14,4 vezes.

É abordado pelo autor o controle da resistência do concreto através da moldagem de corpos de prova. Graziano reconhece que as normas NBR 6118 e NBR 12655 regem de forma clara acerca do controle da resistência do concreto

através de corpos de prova moldados, porém, critica a dinâmica em que é feito este controle. O autor segue o raciocínio (GRAZIANO, 2012):

- a) Quando no controle total do concreto são retirados dois corpos de prova por idade, por caminhão, adotando a resistência do maior deles;
- b) Para amostragem, é retirado concreto do terço médio do caminhão betoneira;
- c) Utilizando a maior resistência entre os dois corpos de prova gêmeos, são eliminados desvios de ensaio, mas não erros grosseiros;
- d) A Norma se preocupa em especificar o ensaio do terço médio do caminhão betoneira, mas o concreto do primeiro e terceiro terço são utilizados da mesma maneira na estrutura, sendo assim, há variabilidade de resistência dentro do volume do caminhão betoneira e o trecho amostrado (terço médio) não pode ser confundida com o quantil inferior de 5% da distribuição das resistências do concreto (f_{ck}).
- e) É proposta pelo professor Fusco uma abordagem para se chegar a uma relação entre o valor ensaiado e um f_{ck} estimado. Esta estimativa é correta baseada em texto de norma, porém ainda não há um procedimento para tal. Como recomendação enquanto não há tal relação, Fusco (Fusco, 2012) emprega o uso da aproximação $f_{ck,est} = 0,93f_{C100\%}$ sendo $f_{C100\%} = \text{máximo}(f_{c1}, f_{c2})$, à favor da segurança.

O último assunto abordado pelo artigo é quanto à verificação do concreto quando da constatação da não conformidade do material, tanto para situações de controle parcial ou total da resistência do concreto. O texto traz recomendações e a formulação necessária para determinação da resistência de ensaio de testemunho por extração, não sendo foco do presente trabalho.

2 OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Analisar alguns aspectos das etapas de transporte, recebimento, aceitação e controle tecnológico do concreto discutindo a aplicabilidade do sistema normativo empregado atualmente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar ensaios para avaliação quantitativa e qualitativa das etapas de transporte e recebimento do concreto, de maneira a isolar o menor número de variáveis possível, buscando fazer claro os pontos que necessitam maior atenção e discussão do meio técnico.

Os ensaios realizados foram:

- Estudo de capacidade de transporte de uma central dosadora de concreto;
- Estudo estatístico da variabilidade da resistência do concreto na moldagem e ensaio de corpos de prova;
- Estudo da variação da resistência do concreto dentro do caminhão betoneira.

3 JUSTIFICATIVA

3 JUSTIFICATIVA

3.1 INCERTEZAS SOBRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO

Um dos fatores mais determinantes da qualidade de uma obra atualmente é a correlação entre o que foi definido no projeto e o que é realmente praticado na obra. Quando especificado em um projeto qual deve ser a resistência do concreto utilizado em cada parte da obra, essa resistência deve ser seguida para garantir a qualidade da obra e a fidelidade com o projeto, a fim de aumentar a segurança e durabilidade e reduzir os custos, fazendo com que a construção final seja tão eficiente quanto possível.

Se o concreto tiver uma resistência menor do que o especificado em projeto, isso pode colocar em risco a durabilidade e a segurança da edificação, podendo não atingir as características qualitativas especificadas em projeto, precisar de mais manutenção do que esperado no projeto, ou até mesmo não atingir a vida útil esperada.

Se o concreto possuir uma resistência maior, as características descritas no parágrafo acima provavelmente serão atendidas, mas a eficiência do projeto pode estar em risco, dado que, com o uso de um concreto menos resistente como especificado em projeto, há um menor consumo de material e por consequência, são reduzidos os custos de obra

3.2 DISCUSSÃO SOBRE A REPRESENTATIVIDADE DO PROCEDIMENTO DE ENSAIO ATUAL DO CONCRETO

Conforme exposto no item 1.6.4, há uma discussão no meio técnico sobre o atual procedimento de amostragem do concreto e sua influência na representatividade do resultado. De modo a fomentar esta discussão, trazendo dados que despertam a necessidade de uma busca por um melhor entendimento do controle da resistência do concreto, o presente texto traz ensaios realizados com o intuito de apontar possíveis pontos que necessitam de uma reformulação ou maior detalhamento por parte do corpo normativo.

4 METODOLOGIA

4 METODOLOGIA

A fim de uma abordagem mais ampla das diversas etapas envolvidas no transporte, recebimento, aprovação e descarregamento do concreto, foram desenvolvidos três estudos independentes, mas que seguem cronologicamente as etapas acima enumeradas. Cada um dos estudos foi elaborado de modo que fosse dado foco a etapas cruciais no uso do concreto.

4.1 ESTUDO DA ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO

A partir do momento de adição da água ao caminhão betoneira na central dosadora, este possui 90 minutos para o transporte do concreto até o local de entrega (quando o veículo de transporte for dotado de equipamento de agitação), com prazo máximo para a descarga de 150 minutos. Para caminhões não dotados de equipamentos de agitação, o tempo de transporte é de no máximo 40 minutos e o fim da descarga deve se dar em no máximo 60 minutos. (ABNT NBR 7212: 2012)

Os caminhões utilizados no transporte do concreto obrigatoriamente devem possuir a estanqueidade necessária e as paredes revestidas de material não absorvente, para que não haja perda de nenhum componente, sejam eles dotados ou não de equipamentos de agitação. Via de regra, o transporte deve ser feito por caminhões dotados de equipamentos de agitação, que usualmente são caminhões betoneira, mas também é aceito o transporte por caminhão basculante comum com carroceria de aço para concretos não segregáveis, de abatimento não superior a 40 mm. (ABNT NBR 7212: 2012)

Sendo assim, a análise se deu em duas partes, a primeira é o transporte de concreto convencional em caminhão betoneira, o qual tem 90 minutos desde a adição de água até a chegada do caminhão à obra, e a segunda é o transporte de um concreto especial em caminhão basculante, tendo 40 minutos como tempo máximo de transporte.

Foram definidos dois locais para a análise da área de atendimento possível dentro dos tempos estipulados em norma. Os locais estão situados nas zonas leste e oeste da cidade de São Paulo. Buscando simular uma empresa que tenha centrais de atendimento em zonas periféricas da cidade de São Paulo e entender quais

zonas da cidade e da região metropolitana podem ser atendidas por uma central nestas condições. A central da zona leste está localizada na região da avenida Professor Luiz Ignácio Anhaia Mello, e a central da zona oeste está localizada na região da avenida Jaguaré, como ilustrado na figura 4:

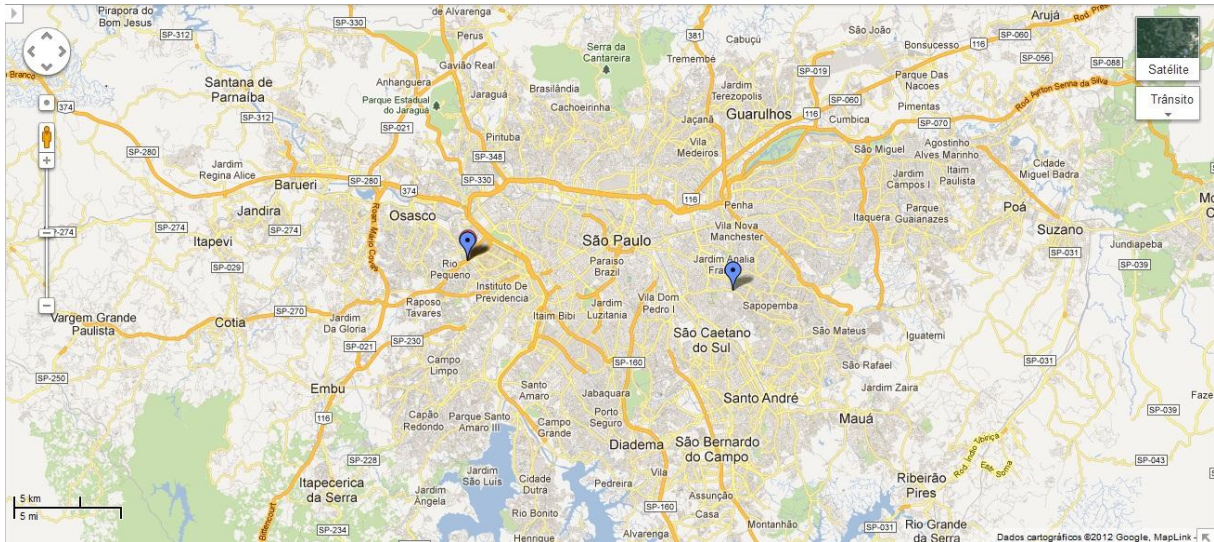


FIGURA 4: LOCALIZAÇÃO DAS CENTRAIS DOSADORAS (GOOGLE MAPS)

Definidos os locais das centrais dosadoras, foram necessárias simplificações para definir a área de atendimento dessas centrais dentro dos prazos definidos. Uma dessas simplificações foi aproximar a distância real pela distância em linha reta. Para tal, foi definido um fator de correção que correlaciona essas distâncias: $d_{real} \cong k_1 \cdot d_{reta}$. Para obtenção do fator k_1 utilizou-se um estudo sobre a malha viária de Belo Horizonte, e, dado que as cidades de Belo Horizonte e São Paulo possuem grandes dimensões e utilização viária parecida, adotou-se o mesmo valor para a cidade de São Paulo, ficando então com um fator $k_1 = 1,42$. (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 2012)

A outra simplificação necessária para o estudo de caso foi a aproximação da velocidade média de transporte do concreto pelo caminhão por uma velocidade média. Para tal, foi utilizada a velocidade média dos veículos aferida na cidade de São Paulo no ano de 2009. O horário crítico para o estudo foi durante o período da manhã, pois, como as atividades de concretagem se iniciam neste período e não se estendem até o horário de pico da tarde, este é a pior velocidade de tráfego enfrentada pelos veículos transportadores. Com isso, a velocidade média assumida

é $V_m = 29,75 \text{ km/h}$. (COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRAFEGO - SÃO PAULO, 2010)

Para confirmar a hipótese e assumir a velocidade média acima para o estudo realizado, foram levantados dados do site Maplink (www.maplink.com.br), e pode-se perceber que na maioria das regiões da cidade os níveis de congestionamento são próximos durante todo o período da manhã. (MAPLINK, 2012)

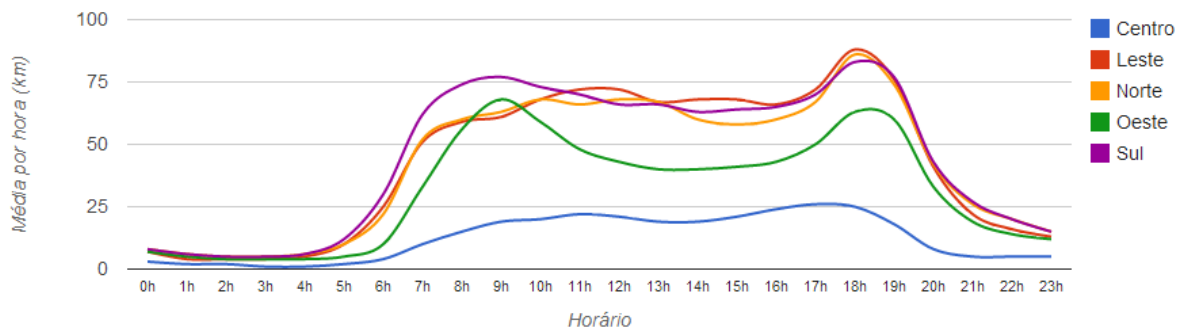


FIGURA 5: ÍNDICES DE CONGESTIONAMENTO NA CIDADE DE SÃO PAULO POR ZONA – DE 06/11/2011 A 06/11/2012 (MAPLINK, 2012).

4.2 ENSAIO ESTATÍSTICO DE VERIFICAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM OBRA

Com o apoio de uma construtora, em uma obra no Rio de Janeiro, foi extraído um total de cem corpos de provas de um único caminhão betoneira, destinados a serem rompidos em ensaio de compressão (ABNT NBR 5739: 2007). O concreto ensaiado tinha como especificação de resistência 20 MPa, composto seguindo o traço unitário em massa de 1:1,289:0,430;2,163 respectivamente cimento (CPIII-40), areia natural, areia artificial e brita, fator a/c igual a 0,434, dimensão máxima do agregado graúdo igual a 19,0 mm, abatimento em ensaio de tronco de cone (NBR NM 67 – 1998) igual a 160 ± 20 mm, 194 litros de água, adição de aditivo 411 LF, de 1,788 kg e consumo de 447 kg de cimento, dosado em empresa de serviços de concretagem para utilização em elementos de fundação. Os corpos de prova foram moldados por uma empresa de controle tecnológico que ficou incumbida da moldagem em si, transporte até o laboratório e rompimento dos corpos de prova.

Na chegada de um caminhão, escolhido aleatoriamente, à obra, antes de se dirigir ao local da concretagem foi descarregado um volume de concreto em um recipiente, de onde seria retirado o concreto para moldagem dos cem corpos de prova citados acima, ou seja, todo o concreto utilizado para a moldagem foi retirado da mesma porção do caminhão betoneira. A moldagem foi realizada pela equipe de controle tecnológico.

Os resultados obtidos foram submetidos a um modelo estatístico para medição dos desvios presentes na amostra.

4.3 ESTUDO DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO DENTRO DO CAMINHÃO BETONEIRA

Ao longo de uma concretagem, em uma obra de edifícios residenciais de São Paulo, foram moldados 16 corpos de prova ao longo de um mesmo caminhão betoneira. Os pontos de tomada de concreto foram espaçados de três minutos, sendo que a primeira tomada foi no início da concretagem e o último ponto de tomada próximo ao final do volume da betoneira. De cada ponto de tomada foram retirados quatro corpos de prova de um total de quatro pontos do caminhão.

O concreto utilizado no ensaio foi destinado às lajes e pilares do 6º pavimento do edifício. Foi utilizada uma bomba estacionária e concreto preparado em empresa de serviço de concretagem.

O concreto ensaiado tinha como resistência contratada 25 MPa, composto seguindo o traço unitário em massa de 1:1,373:0,284:0,714 respectivamente cimento (CPIIE-40), areia quartzosa, pedrisco misto e brita 1, fator a/c igual a 0,599, Dimensão máxima dos agregados graúdos igual a 19,0 mm, abatimento em ensaio de tronco de cone (NBR NM 67, 1998) igual a 100 ± 20 mm, 181 litros de água, adição de aditivo Mira 111, de 2,416 kg e consumo de 302 kg de cimento, misturado em central dosadora de concreto.

A moldagem ocorreu no dia 3/11/2012, executada pelo profissional responsável pela moldagem dos corpos de prova da própria obra, com auxílio e supervisão dos alunos que apresentam este trabalho. Como observado na figura 6, os corpos de prova foram enumerados de maneira crescente e foram protegidos

contra a perda de umidade sendo envolvidos por panos molhados e posteriormente por uma camada de plástico preto, como ilustrado na figura 7.



FIGURA 6: CORPOS DE PROVA MOLDADOS E ENUMERADOS



FIGURA 7: PROCEDIMENTO PARA MANTER UMIDADE E PROTEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NA OBRA

No dia 5/11/2012, os corpos de prova foram transportados até a câmara de cura úmida do laboratório Hall tecnológico da Escola Politécnica, como ilustrado na

figura 8. No dia 7/11/2012, foram feitas as retíficas dos topos corpos de prova, de modo a garantir as superfícies planas e paralelas nos corpos de prova (ABNT NBR 5738: 2003). Visando tornar mais significativas as possíveis variações de resistência, os corpos de prova foram ensaiados a compressão no dia 10/11/2012, com sete dias de cura úmida.



FIGURA 8: CORPOS DE PROVA EM CÂMARA ÚMIDA

O rompimento dos corpos de prova se deu em laboratório especializado em controle tecnológico, figura 9, sendo que a qualidade da moldagem e retífica dos corpos de prova foram reconhecidas e elogiadas pelo responsável técnico do laboratório.



FIGURA 9: ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPO DE PROVA CILINDRICO.

5 RESULTADOS

5 RESULTADOS

5.1 ESTUDO DA ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA DE CONCRETO

Os parâmetros necessários para a definição da área de atendimento das centrais dosadoras foram definidos e estão listados abaixo:

$$V_m = 29,75 \text{ km/h}$$

$$k_1 = 1,42$$

$$t_1 = 90 \text{ minutos} = 1,50 \text{ hora}$$

$$t_2 = 40 \text{ minutos} = 0,67 \text{ hora}$$

Onde:

V_m = *Velocidade média desenvolvida por um veículo na cidade de São Paulo no período de pico da manhã*

k_1 = *Coefficiente de transformação da distância em real para distância em linha reta*

t_1 = *Tempo máximo de transporte do concreto convencional*

t_2 = *Tempo máximo de transporte do concreto especial*

Assim definidos os parâmetros, procedeu-se com a análise da área de atendimento das centrais dosadoras ilustrados no mapa da figura 4.

Tem-se que a velocidade média dos caminhões que fazem o transporte do concreto, multiplicada pelo tempo máximo de transporte, resulta na distância máxima atingida por um caminhão a partir de determinada central dosadora. Após o cálculo das distâncias máximas, estas foram multiplicadas pelo fator de conversão da distância real em distância em linha reta, chegando então à distância final em linha reta que um caminhão pode chegar a partir de uma central dosadora.

Caso 1: Concreto convencional

$$V_m = 29,75 \text{ km/h}$$

$$k_1 = 1,42$$

$$t_1 = 90 \text{ minutos} = 1,50 \text{ hora}$$

Então:

$$d_{\text{reta}} = \frac{V_m \cdot t_1}{k_1} = \frac{29,75 \cdot 1,50}{1,42}$$

$$d_{\text{reta}} = 31,43 \text{ km}$$

A figura 11 ilustra a projeção da área de atendimento da central dosadora no caso 1 no mapa.

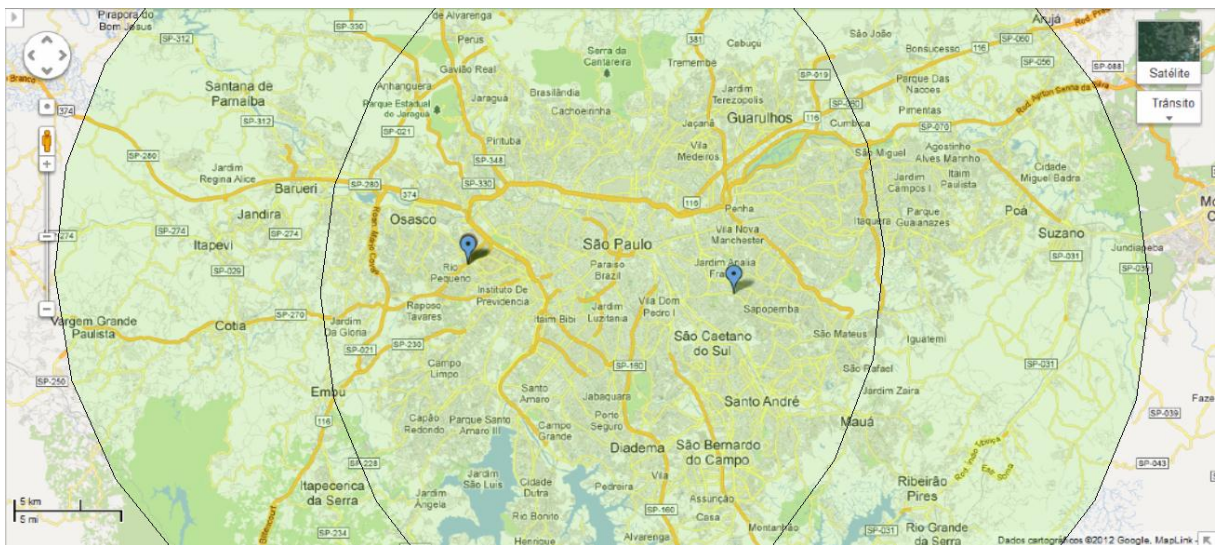


FIGURA 10: ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA QUE DISTRIBUI CONCRETO CONVENCIONAL. (GOOGLE MAPS)

Caso 2: Concreto especial

$$V_m = 29,75 \text{ km/h}$$

$$k_1 = 1,42$$

$$t_2 = 40 \text{ minutos} = 0,67 \text{ hora}$$

Então:

$$d_{\text{reta}} = \frac{V_m \cdot t_2}{k_1} = \frac{29,75 \cdot 0,67}{1,42}$$

$$d_{\text{reta}} = 13,97 \text{ km}$$

A figura 12 ilustra a projeção da área de atendimento da central dosadora no caso 2 no mapa.

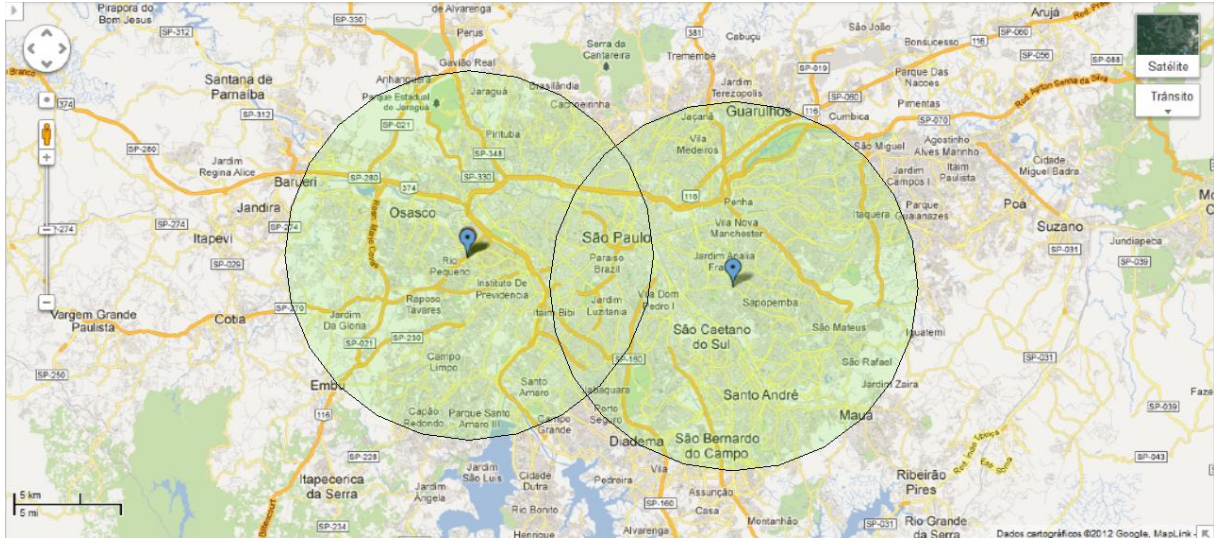


FIGURA 11: ÁREA DE ATENDIMENTO DE UMA CENTRAL DOSADORA QUE DISTRIBUI CONCRETO ESPECIAL. (GOOGLE MAPS)

Após essa análise, percebeu-se que mesmo com um tempo máximo previsto em norma muito menor para o concreto especial, essas duas centrais distribuidoras são viáveis para atender a cidade de São Paulo de uma forma geral, já que pode-se observar nas figuras 11 e 12 que praticamente toda a cidade de São Paulo está englobada na envoltória de atendimento. Já quando analisada a região metropolitana, pode-se observar que essas duas centrais são viáveis quando para a entrega de concreto convencional, embora quando fornecendo concreto especial seriam necessárias outras centrais para atender de uma forma mais ampla.

5.2 ENSAIO ESTATÍSTICO DE VERIFICAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM OBRA

Com a idade de 28 dias, os cem corpos de prova moldados no Rio de Janeiro foram submetidos ao ensaio de ruptura à compressão (ABNT NBR 5739: 2007). Além da resistência à compressão de cada um dos corpos de prova, foram observados os tipos de ruptura apresentados por cada um dos mesmos. A tabela 3 reúne os resultados do ensaio de compressão e a tabela 4 a legenda dos tipos de ruptura observados.

TABELA 3: RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE CORPO DE PROVA

CP	Resistência (MPa)	Tipo de ruptura	CP	Resistência (MPa)	Tipo de ruptura	CP	Resistência (MPa)	Tipo de ruptura
1	35,40	e	34	37,70	e	68	38,60	b
2	34,50	c	35	38,70	c	69	38,20	c
3	35,90	c	36	39,20	b	70	37,90	a
4	36,10	c	37	37,70	d	71	38,00	d
5	34,60	d	38	38,90	e	72	37,10	c
6	35,10	d	39	40,30	a	73	36,90	d
7	35,80	c	40	38,80	e	74	37,30	b
8	35,90	b	41	39,40	c	75	36,40	c
9	36,20	e	42	39,00	d	76	36,70	d
10	35,70	e	43	38,30	b	77	38,40	b
11	35,00	b	44	38,80	d	78	37,80	c
12	36,00	b	45	40,30	d	79	37,80	b
13	35,30	a	46	39,90	c	80	37,60	d
14	36,40	c	47	39,30	c	81	37,30	b
15	35,30	b	48	40,70	b	82	37,50	c
16	35,90	e	49	39,20	d	83	37,40	b
17	36,70	c	50	40,40	b	84	37,90	b
18	37,30	c	51	39,70	d	85	37,20	c
19	36,90	a	52	40,10	e	86	36,90	b
20	37,80	b	53	39,30	d	87	38,10	e
21	37,10	e	54	39,40	b	88	37,60	d
22	36,60	b	55	40,10	d	89	37,30	c
23	38,00	c	56	38,20	b	90	38,20	a
24	36,80	e	57	38,80	c	91	36,80	d
25	36,90	b	58	39,70	e	92	36,80	c
26	37,30	c	59	39,90	b	93	37,20	d
27	36,90	d	60	40,60	e	94	37,60	e
28	37,30	e	61	39,10	c	95	36,80	b
29	38,20	b	62	39,00	d	96	37,50	d
30	36,50	b	63	38,70	b	97	37,10	a
31	37,40	c	64	39,40	d	98	36,50	d
32	38,00	d	65	38,80	c	99	37,50	b
33	37,70	d	66	38,40	b	100	37,90	c
			67	39,00	c			

TABELA 4: LEGENDA DO TIPO DE ROMPIMENTO DE CADA UM DOS CPS

Tipos de Ruptura:
a - Cônica
b - Cônica e Bipartida
c - Cônica e Cisalhamento
d - Cisalhada
e - Colunar

A figura 13 traz os resultados plotados em uma dispersão dos corpos de prova *versus* a resistência encontrada no ensaio. Para um melhor entendimento do comportamento e evolução dos resultados do ensaio, foi plotado no mesmo gráfico uma média móvel apresentada, a cada ponto, a média dos cinco últimos corpos de prova, sendo assim, descrevendo a evolução dos resultados de compressão com o decorrer do ensaio.

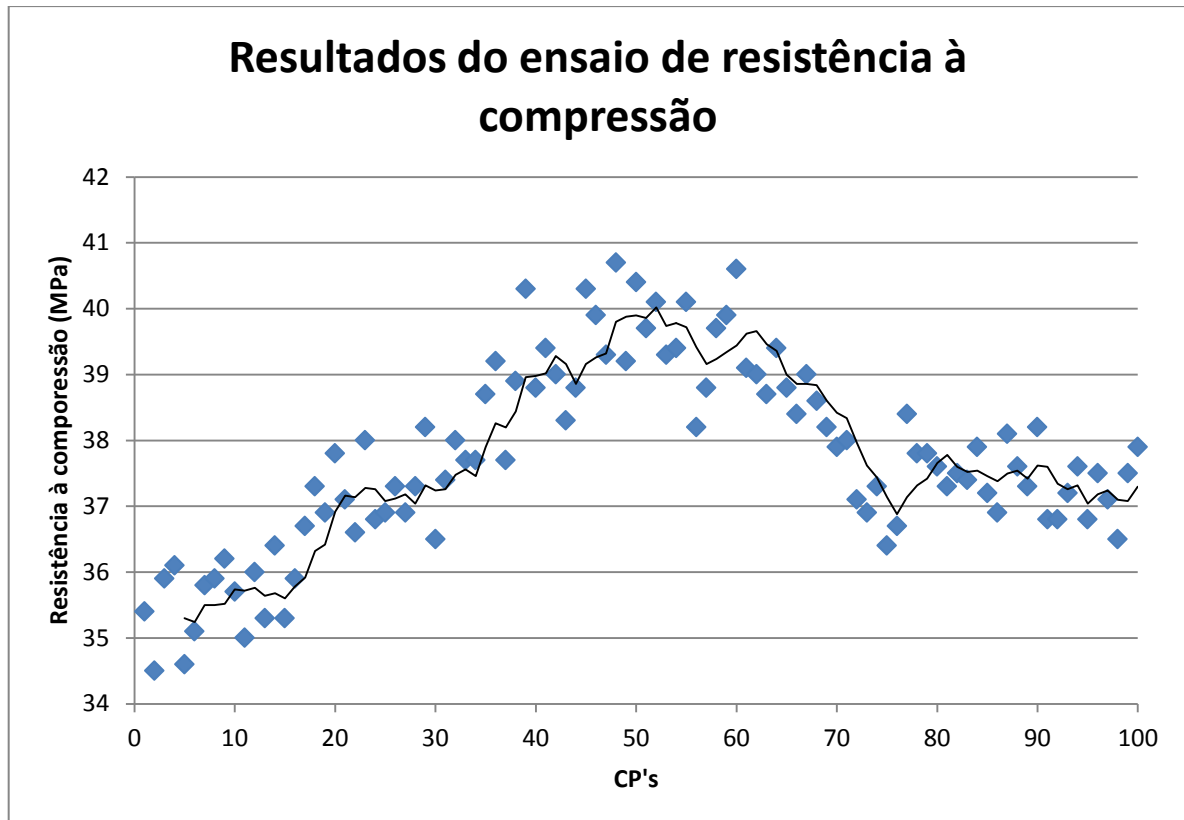


FIGURA 12: RESULTADOS DO ENSAIO ESTATÍSTICO DE VERIFICAÇÃO DO DESVIO PADRÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO EM OBRA

Pôde-se observar também a influência do tipo de ruptura na resistência dos corpos de prova. Foi contabilizado o número de cada tipo de ruptura e a resistência média para cada tipo de ruptura obtida chegando aos valores apresentados na tabela abaixo:

TABELA 5: MÉDIAS DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO POR TIPO DE RUPTURA

Tipo de ruptura	a	b	c	d	e
Quantidade de Corpos de prova	6	28	27	24	15
Resistências médias (MPa)	37,6	37,8	37,6	37,9	37,7

As resistências de cada tipo de ruptura são muito próximas, o que mostra que não há influência do tipo de ruptura na resistência da amostra, podendo os resultados destes corpos de prova, independente do tipo de ruptura, serem comparados uns aos outros.

A média das resistências dos 100 corpos de prova (f_m) é 37,73 MPa e o desvio padrão (S_d) encontrado, calculado da forma estatística tradicional, onde é obtida a raiz quadrada da variância foi 1,42 MPa com coeficiente de variação (cv) igual a 3,76%. Seguindo o modelo de cálculo do f_{ck} normatizado pela ABNT NBR 12655, foi utilizada a equação $f_{ck} = f_m - 1,645 \cdot S_d$, onde chegou-se ao f_{ck} da amostra de 35,40 MPa.

Seguindo o segundo modelo de cálculo da NBR 12655, calculou-se o f_{ck} da amostra obtendo-se a média da resistência dos corpos de prova com resistência abaixo da média total da amostra, que neste caso assume o valor de 36,66 MPa, multiplicando esse valor por dois e subtraindo-se o valor médio da amostra. Sendo assim, o valor de f_{ck} por este método de cálculo é de 35,59 MPa. Utilizando-se novamente a equação $f_{ck} = f_m - 1,645 \cdot S_d$, foi obtido um novo valor para o desvio padrão, $\delta = 1,30$ MPa e cv igual a 3,45%.

Utilizando do procedimento normatizado de pareamento dos copos de prova e adoção da maior resistência de cada par, obteve-se uma nova média, obtida através dos agora cinquenta valores de resistência, f_m igual a 38,04 MPa. Utilizando a formulação clássica do desvio padrão (raiz da variância), foi encontrado um valor muito próximo considerando todos os cem corpos de prova, sendo o δ igual a 1,42 MPa com cv igual a 3,75%. Quando utilizando a modelagem indicada na NBR 12655, o novo passou a ser $f_{cm} = 37,03$ MPa e $f_{ck} = 36,02$ MPa. Assim, chegou-se à um novo desvio padrão S_d igual a 1,23 MPa e um novo coeficiente de variação cv

igual a 3,24%, apresentando uma redução quando comparado aos valores encontrados considerando os cem corpos de prova.

Sendo assim, partindo de qualquer uma das abordagens descritas acima, encontram-se desvios superiores aos defendidos por Paulo Helene, $cv \leq 2,5\%$ (HELENE, 2012), mostrando necessidade de uma investigação mais profunda quanto à variação da resistência do concreto dentro do volume de controle pois existem divergências dentro do meio técnico.

5.3 ESTUDO DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO DENTRO DO CAMINHÃO BETONEIRA

O ensaio foi dividido em quatro amostras diferentes, separadas por três minutos entre a retirada de cada amostra. E em cada uma dessas amostras foram moldados quatro corpos de prova. Após sete dias de cura úmida à temperatura controlada, os corpos de prova foram rompidos em um laboratório localizado na cidade de São Paulo. Os resultados dos ensaios à compressão estão apresentados na tabela 6.

TABELA 6: RESULTADO DO ENSAIO DE RUPTURA À COMPRESSÃO

Grupo	CP	Resistência (tf)	Resistência (MPa)
1	1	23420	23,88
	2	24550	25,03
	3	23380	23,84
	4	24210	24,69
2	5	26170	26,69
	6	24770	25,26
	7	26010	26,52
	8	25510	26,01
3	9	24660	25,15
	10	23570	24,03
	11	24520	25,00
	12	24910	25,40
4	13	23300	23,76
	14	23180	23,64
	15	23780	24,25
	16	23560	24,02

A figura 14 apresenta os mesmos dados da tabela 6, porém, em uma dispersão de corpos de prova *versus* resistência obtida em ensaio de corpo de provas cilíndrico. De maneira a clarificar a variação da média obtida a cada quarto do ensaio, foi representada no gráfico as quatro médias considerando os corpos de prova de cada quarto.

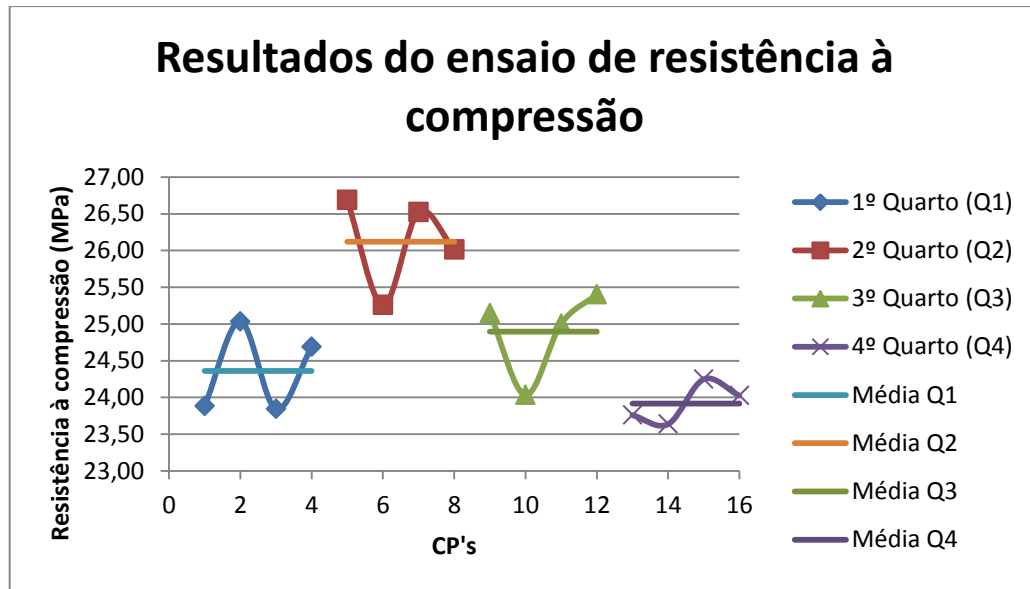


FIGURA 13: GRÁFICO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA RETIRADOS AO LONGO DO CAMINHÃO BETONEIRA

Baseado nos mesmos conceitos apresentados no item 5.3, onde é explicada a metodologia para o cálculo do desvio padrão S_d , o valor da resistência média f_m dos dezesseis corpos de prova é 24,82 MPa e o resultado obtido pelo cálculo tradicional do S_d (raiz da variância) é de 0,98 MPa, observando assim a um coeficiente de variação cv é 3,96%. Quando feito o cálculo pelo método normalizado, chega-se a um f_{cm} igual a 24,01 MPa e um f_{ck} igual a 23,21 MPa. Assim o S_d obtido é 0,98 MPa com $cv = 3,96\%$, praticamente o mesmo valor obtido pelo cálculo tradicional.

Aplicando o procedimento normalizado de análise dos corpos de prova em duplas, tem-se apenas oito valores, o que torna o método convencional de cálculo menos confiável. A nova média de resistências é $f_m = 25,19$ MPa e S_d obtido da estatística clássica igual a 1,02 MPa, com cv igual a 4,05%. Já no cálculo pelo

método da NBR 12655, f_{cm} é igual a 24,58 MPa e f_{ck} igual a 23,97 MPa. Resultando um valor de $S_d = 0,74$ MPa e $cv = 2,95\%$.

Este ensaio teve um número limitado de corpos de prova para cada porção do caminhão betoneira. Em um estudo futuro, deveram ser moldados um número maior de corpos de prova, de modo a tonar possível inclusive um teste de hipótese para verificar se há diferenças significativas entre os diferentes os pontos de coleta do volume de controle.

6 DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

A análise dos resultados seguiu duas abordagens distintas sendo: análise das causas e consequências dos resultados apresentados; e análise estatística dos resultados numéricos obtidos.

6.1 CAUSAS E CONSEQUÊNCIAS DOS RESULTADOS APRESENTADOS

Os corpos de prova que apresentaram maior resistência à compressão foram obtidos à partir do terço médio dos volumes de controle. E isto foi válido para os dois estudos realizados.

Diante desses resultados, foram elaboradas duas hipóteses para a justificativa do fato da resistência dos corpos de prova moldados na região central das amostras serem maiores. A primeira hipótese é de que o equipamento utilizado para a mistura dos elementos constituintes do concreto pode não fornecer energia suficiente para que a mistura fique completamente homogênea, então, dentro da betoneira, por ação da gravidade, é possível que haja segregação do material, fazendo com que a parte superior do recipiente fique com a concentração de materiais mais finos juntamente com a água. Na parte central, há uma melhor proporção entre materiais finos e graúdos e, na porção inferior, maior incidência de material de maior densidade/espessura. Considerando esta hipótese, a parte central acaba por apresentar resistência maior, pois é a parte onde há um melhor balanceamento e maior proximidade do traço ideal, o que faz com que a resistência seja maior (relação a/c adequado e presença de agregados graúdos e finos).

A outra hipótese formulada para justificativa dos comportamentos observados foi a de que a perda de água e o tempo necessário para a realização do ensaio ocasionaram os desvios de resistência observados. No ensaio dos cem corpos de prova, foi retirado um volume de concreto do caminhão betoneira suficiente para moldagem dos mesmos e então, não houve mais agitação do material, excluindo a possibilidade de que a segregação suposta na hipótese anterior ocorresse neste caso. Sendo assim, no momento inicial da moldagem, o material reservado possuía uma relação a/c inicial que, com o decorrer do tempo e evaporação da água presente na massa, foi reduzida, trazendo ao concreto um

ganho de resistência. Com o decorrer do ensaio, é dado início ao processo de hidratação do cimento do concreto ainda no recipiente reservado, fazendo com que o poder aglomerante deste material seja reduzido, apresentando a redução de resistência encontrado na parcela final de concreto do ensaio realizado.

Analisando o ensaio dos 100 corpos de prova, apenas a segunda hipótese pode ser aplicada, mas, para o ensaio realizado ao longo do volume do caminhão betoneira, é possível que os efeitos das duas hipóteses, tanto a segregação quanto a evaporação e perda de água, sejam aplicadas de maneira sobrepostas, mostrando também a importância do controle do tempo de chegada e descarga do material na obra, discutido no item 4.1, sendo que se esse tempo de transporte for pequeno, a agitação no caminhão betoneira pode não ser suficiente para deixar o material homogêneo, e se o transporte for demasiadamente longo a amostra pode ter prejuízos como a perda de água citada acima.

Como a resistência de um caminhão é definida por corpos de prova retirados do terço médio do caminhão, como especificado na norma NBR 12655, pode ser que o resultado de resistência do concreto apresentada seja superior aos valores encontrados, principalmente, nas porções iniciais e finais do volume considerado.

Sendo assim, podem haver casos nos quais a resistência do concreto entregue à obra, mensurado através do ensaio de compressão dos corpos de prova retirados do terço médio do caminhão, fique muito próxima da mínima prevista em projeto, portanto, fazendo com que o lote de concreto seja aceito e, para alguma parte do concreto, a resistência do mesmo para fins estruturais seja inferior ao especificado em projeto. Dependendo da destinação do concreto, principalmente para peças comprimidas (GRAZIANO, 2012), o coeficiente de segurança, a durabilidade e o desempenho das estruturas podem ser severamente reduzidos.

6.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS APRESENTADOS

O ensaio realizado na obra do Rio de Janeiro (composta de cem exemplares) gerou dados que, em uma análise estatística do desvio padrão, permitiu serem observados algumas propriedades da amostra gerada. Os valores das resistências obtidas estão compreendidos entre $34,50 \text{ MPa}$ e $40,70 \text{ MPa}$, apresentando uma variação máxima unitária de 16,43 %. A média da resistência dos

100 corpos de prova é $37,73 \text{ MPa}$. Porém, quando traçada a média móvel com seis corpos de prova, como ilustrado na figura 12, observou-se que há uma faixa de variação do ensaio que aproximada-se a 1 MPa para mais ou para menos da média móvel, fazendo assim com que a média móvel represente bem o comportamento da amostra.

Salvo poucas excessões, foi possível observar que a variação atribuída ao processo de ensaio dos corpos de prova à compressão (moldagem, estocagem em obra, transporte até laboratório de ensaio, cura em câmara úmida, retifica, e rompimento) representada no gráfico da figura 12 pela largura da banda, apresentou limites de variação de $\pm 1 \text{ MPa}$ a partir da média móvel, ou seja, a maior variação foi causada pela diferenciação do material ao longo do volume, e não no processo de ensaio.

Outro ponto de discussão importante é quando a confiabilidade da resistência do concreto na estrutura e sua correlação com o concreto moldado para obtenção da resistência. O concreto utilizado para moldagem dos corpos de prova não passa pelos mesmos processos de transporte dentro do canteiro de obras que o concreto utilizado para consolidar a estrutura. Segundo Graziano (GRAZIANO, 2012), etapas como bombeamento, lançamento, vibração e cura trazem incertezas e possíveis reduções nas características do material, que não são incorporadas aos resultados dos corpos de prova. Sendo assim, o controle da resistência do concreto, que é feito na saída da betoneira, mira a resistência da estrutura final, fazendo fundamental a abordagem de Fusco (FUSCO, 2012) Utilizando um coeficiente de correlação que leve em consideração as possíveis deduções de resistência nas etapas seguintes à moldagem dos corpos de prova.

Como visto no item 1.6.1, a norma determina que a resistência do concreto para fins de verificação da segurança seja tomada como $0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$, porém, não especifica o valor de cada uma das parcelas consideradas neste coeficiente (γ_{m1}, γ_{m2} e γ_{m3}) e considera este valor como sendo fixo. Entretanto, os valores de γ_{m1}, γ_{m2} e γ_{m3} podem sofrer alterações de acordo com as características de diferentes tipos de concreto ou condições de obra, trazendo possíveis condições de risco. Um exemplo possível é, se a variabilidade do concreto na estrutura superar a

margem de segurança proposto em γ_{m1} , o coeficiente γ_c pode ser insuficiente para garantia da segurança.

7 CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

Após séculos de utilização, aperfeiçoamento e estudos, o concreto ainda é um material que apresenta dificuldades no entendimento de como mensurar as suas características. Sua utilização através do tempo evoluiu a partir de um conhecimento empírico do material para uma abordagem racional, através de um esforço contínuo de estudo e desenvolvimento do material. Porém, existem ainda pontos de divergência quanto a como apresentar um controle de produção à altura do seu potencial e importância que possui como segundo material mais utilizado pela humanidade.

Com o traço bem definido, umidade dos agregados controlada e energia de mistura suficiente para homogeneizar o material, o concreto pode atingir características estruturais esperadas. No entanto, os procedimentos de ensaio, da forma com que são feitos atualmente, parecem não expressar de maneira adequada sua verdadeira resistência e variabilidade, em especial na amostragem total de caminhões betoneira, da amassada de concreto produzida na obra, ou de outro volume de controle escolhido.

Neste trabalho foi abordada a variação da característica principal do concreto, que é sua resistência à compressão, e nos ensaios realizados percebeu-se que o concreto não era homogêneo nos volumes estudados, sendo que os métodos de controle utilizados, que são especificados pela norma ABNT NBR – 12655:2006, são desenvolvidos tomando essa afirmação como premissa.

Este trabalho teve como objetivo levantar questões pertinentes ao uso do concreto e as formas de controle utilizadas e especificadas em norma. Devido aos ensaios realizados e aos dados coletados, é proposto que o método de amostragem do concreto atualmente utilizado seja melhor estudado, de modo a garantir maior controle e confiabilidade nos dados obtidos. É necessário um aprofundamento maior no tema e a realização de um maior número de ensaios para que algo seja realmente concluído, sendo os resultados obtidos relevantes mas não representativos. Esse trabalho busca apenas despertar o interesse e questionamento dos procedimentos atualmente utilizados para o controle do

concreto, de modo a buscar um maior conhecimento do comportamento da variabilidade da resistência do material.

Como continuação ao presente trabalho, ainda restam questões a serem melhores discutidas, estudadas e elaboradas, sendo:

- A forma atual de controle do concreto está a favor da segurança?
- Há diferenças significativas nas características do concreto em uma mesma amassada?
- Pode-se presumir que o volume de concreto de um caminhão betoneira possui uma variabilidade tão baixa a ponto de se assumir que uma amostra é representativa de sua resistência?
- A coleta de amostras no terço médio do volume constitui uma boa prática no que concerne à obtenção do valor do f_{ck} ?
- A tomada do maior valor dentre dois resultados amostrados constitui um procedimento eficaz na mitigação da influência de desvios e erros de ensaios sobre a resistência do concreto?

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. **Concreto e auto-adensável.** Disponível em: <http://www.abesc.org.br/concretteca/publicacoes/83/concreto-auto-adensavel.html>
Acesso em: 25 out. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Desde 1940 promovendo a normalização no brasil., 2006. Disponível em: http://www.abnt.org.br/imprensa/livro_abnt/70anos_ABNT.pdf Acesso em: out. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33:** Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR NM 67:** Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

_____. **NBR 5738:** Concreto - Procedimento para Moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 7212:** Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

_____. **NBR 12654:** Controle tecnológico de materiais do concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **NBR 12655:** Concreto - Preparo, Controle e Recebimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 14931:** Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES. **Fator de correção de distância em linha reta para distância real para a malha viária de belo horizonte.**, 2010. Disponível em: http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/submissao/2009/2009_rvejhvqvjkzofcpsk.pdf Acesso em: 11 out. 2012.

CARVALHO, J. D. N. de. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto.** Revista tecnológica. Maringá, v. 17, p.19-28. out. 2008.

COHEN, M et al. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea.** In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-41.

COMPANHIA DE ENGENHARIA DE TRAFEGO - SÃO PAULO. **Varição da velocidade média no trânsito de São Paulo.** , 2012. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/20647/nt162.pdf> Acesso em: 12 out. 2012.

FUSCO, P. B. **Controle da resistência do concreto.** São Paulo, ABECE Informa, ano 16, n. 89, Jan.Fev. 2012 p.12-19.

GRAZIANO, F. P. **Segurança estrutural e controle da resistência do concreto.** São Paulo, ABECE Informa, ano 16, n. 91, Mai.Jun. 2012 p.16-23.

HELENE, P. **Contribuição à análise da resistência do concreto em estruturas existentes para fins de avaliação da segurança.** São Paulo, ABECE Informa, ano 16, n. 90, Mar.Abr. 2012 p.16-23.

IDORN, G. et al. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea.** In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-41.

ISAIA, G. C. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea.** In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-41.

KAEFER, Luís Fernando. **A evolução do concreto armado.** 1998. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo. São Paulo.

KOUI, M., FTIKOS, C. et al. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea.** In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-41.

MALINOWSKI, R., GAFINKEL. et al. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea.** In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-41.

MAPLINK. **Estatísticas de trânsito em São Paulo.** , 2012. Disponível em: http://www.maplink.com.br/SP/sao_paulo/Estatisticas Acesso em: 6 nov. 2012.

THE HISTORY OF CONCRETE AND THE NABATAEANS. Disponível em: <http://nabataea.net/cement.html>. Acesso em: set. 2012.

TUTIKIAN, B. F., HELENE, P. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland.** In: CONCRETO: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011 cap. 12.

YEGUL, F. et al. **O Concreto: da Era Clássica à Contemporânea.** In: CONCRETO: Ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 1-41.