

Centro Universitário do Distrito Federal – UDF
Coordenação do Curso de Engenharia Civil

Rodrigo Lacerda da Silva
Júnior Marques da Silva

Avaliação da resistência à compressão do concreto:
Comparativo entre corpos de provas moldados e testemunhos extraídos.

Brasília
2017

**Rodrigo Lacerda da Silva
Júnior Marques da Silva**

**Avaliação da resistência à compressão do concreto:
Comparativo entre corpos de provas moldados e testemunhos extraídos.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação de Engenharia Civil do Centro Universitário do Distrito Federal - UDF, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. MSc Henrique Jorge Nery de Lima.

**Brasília
2017**

Silva, Rodrigo Lacerda; / Silva, Júnior Marques;

Avaliação da resistência à compressão do concreto:
Estudo de caso: Comparativo entre corpos de provas
moldados e testemunhos extraídos: / Rodrigo Lacerda /Júnior
Marques. – Brasília, 2017,52 folhas.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Civil do Centro Universitário do
Distrito Federal - UDF, como requisito parcial para obtenção
do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc Henrique Jorge Nery de Lima.

1. Concreto. I. Resistência à compressão do concreto

CDU

**Rodrigo Lacerda da Silva
Júnior Marques da Silva**

**Avaliação da resistência à compressão do concreto
Comparativo entre corpos de provas moldados e testemunhos extraídos.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Coordenação de Engenharia Civil do
Centro Universitário do Distrito Federal -
UDF, como requisito parcial para obtenção
do grau de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. MSc Henrique Jorge Nery
de Lima

Brasília, _____ de _____ de 2017.

Banca Examinadora

Henrique Jorge Nery de Lima
Mestre/Professor
Centro Universitário do Distrito Federal- UDF

Maurílio Antônio de Castro D. Cunha
Mestre/Professor
Centro Universitário do Distrito Federal- UDF

Mayara Jordana B. O. Santos
Mestre/Professor
Centro Universitário do Distrito Federal- UDF

Nota: _____

Dedicamos este trabalho às nossas famílias e aos nossos amigos pelo apoio na realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela benção de termos a força, determinação e proteção espiritual para concluirmos mais um passo na nossa vida acadêmica.

Em especialmente ao Prof. MSc. Henrique Jorge Nery, pelo apoio incondicional ao desenvolvimento do tema de estudo.

Ao estimado Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene, profundo conhecedor deste tema, pelo fornecimento do material didático e pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao nosso amigo Eng. Francisco Vinhas e à Direcional Engenharia LTDA, pelo apoio e fornecimento do material necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

Agradecemos a todos os nossos amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, em especial ao laboratorista, João Pedro Ferreira dos Santos, pela disponibilidade e dedicação na realização dos ensaios.

Agradecemos aos nossos familiares pelo apoio e compreensão das horas ausentes em família, em função da dedicação aos nossos estudos.

“Insanidade é continuar fazendo a mesma
coisa e esperar resultados diferentes”.

Albert Einstein
(1879 – 1955)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação comparativa da resistência mecânica do concreto, entre corpos de provas moldados e testemunhos extraídos de lajes de concreto armado, em um canteiro de obras na região administrativa de Santa Maria-DF, no ano de 2017. O objetivo principal do estudo é identificar e mensurar as variações de resistência à compressão, que ocorrem durante o processo de execução de estruturas de concreto. Serão realizados ensaios à compressão e tração diametral, e logo após, comparadas as principais diferenças entre os corpos de prova, (amostras moldadas), e dos testemunhos extraídos. O concreto que será utilizado nesse estudo será fornecido por central dosadora com resistência característica de projeto de 25 MPa e 20 MPa, fator água/cimento, $a/c \leq 0,6$. Com base nos resultados alcançados neste estudo, concluímos que a estimativa de redução de aproximadamente 17% da resistência à compressão dos testemunhos, se comparados ao f_{ck} de projeto em ambos os casos, nota-se também que as correções sugeridas pela norma ABNT NBR 7680-1:2015 não contribui para a melhora dos índices de resistência, muito provavelmente pelo fato de não adotar correções presentes em normas internacionais, podendo penalizar o construtor com uso de medidas restritivas de cargas ou até mesmo introduzindo questionamento quanto a qualidade do concreto e resistência global da estrutura.

Palavra chave: Análise. Corpo de prova. Testemunhos. Resistência. Concreto. Qualidade. Compressão.

ABSTRACT

This work presents a comparative evaluation of the mechanical strength of concrete, between molded test bodies and testimonies extracted from the slab of concrete armed, at a construction site in the administrative region of Santa Maria-DF, in the year 2017. The order to identify and measure the variations of compressive strength that occur during the process of execution of concrete structures. Compressive and diametral tensile tests will be performed, and soon after, the main differences between the specimens (molded samples), and the extracted samples will be compared. The concrete that will be used in this study will be supplied by central metering unit C25 e C20, water / cement factor, $a / c \leq 0,6$. The results obtained in this study point to a reduction of approximately 17% in the samples compared to f_{ck} the project in both cases, It is also noted that the corrections suggested by the standart ABNT NBR 7680-1:2015 does not contribute to the improvement of resistance indices, most probably because it not adopt corrections using measures, and can penalize the constructor with the use of restrictive measures of loads or even introducing questioning as to the concrete quality and overall resistance of the structure.

Keywords: Evaluation. Specimen. Evidence. Concrete. Strength. Quality. Crush.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1: Significado da resistência á compressão obtida através do controle do concreto.....	8
FIGURA 4.1: Vista da laje concretada.....	12
FIGURA 4.2: Instrumentos para controle de qualidade.....	13
FIGURA 4.3: Extração dos testemunhos.....	14
FIGURA 4.4: Equipamento de ensaios (Contenco modelo I-3001-C).....	14
FIGURA 4.5: Imagem do testemunho extraído da laje.....	15
FIGURA 4.6: Exemplo da rastreabilidade do concreto aplicado na laje.....	19

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5.1: Curva de distribuição normal da resistência dos corpos de provas do concreto de 25 MPa aos 28 dias.....	24
GRÁFICO 5.2: Variação das resistências dos testemunhos e dos corpos de prova com concreto C25.....	25
GRÁFICO 5.3: Variação das resistências dos testemunhos e dos corpos de prova com concreto C20.....	25
GRÁFICO 5.4: Resistência Média dos corpos de prova e dos testemunhos, com concreto de 25 MPa.....	26
GRÁFICO 5.5: Resistência Média dos corpos de prova e dos testemunhos, com concreto de 20 MPa.....	26
GRÁFICO 5.6: Coeficiente de Variação das amostras de 25 MPa.....	28
GRÁFICO 5.7: Coeficiente de Variação das amostras de 25 MPa.....	28

LISTA DE QUADROS

QUADRO 4.1: Formação do lote de amostras.....	18
QUADRO 5.1: Resultados de Resistência Média à compressão, Variância e Desvio Padrão do concreto classe C 25.....	23
QUADRO 5.2: Resultados de Resistência Média à compressão, Variância e Desvio Padrão do concreto classe C 20.....	23

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: Ganho de resistência com o tempo em função da relação A/C.....	9
TABELA 4.1: Carta Traço para a elaboração do concreto de 25 MPa.....	17
TABELA 4.2: Carta Traço para a elaboração do concreto de 20 MPa.....	17
TABELA 4.3: Tabela 2 da norma ABNT NBR 7680-1:2015.....	20
TABELA 4.4: Tabela 3 da norma ABNT NBR 7680-1: 2015.....	20
TABELA 4.5: Efeito da natureza da cura e sazonalidade (UR e Temperatura) na resistência do concreto.....	21
TABELA 4.7: Coeficiente de correção segundo teor de ar aprisionado no concreto devido ao adensamento insuficiente.....	22
TABELA 5.1: Resistência Média à compressão diametral aos 28 dias.....	23
TABELA 5.2: Comparativo entre normas para eventual aceitação da resistência efetiva do concreto (Testemunhos) de 25 MPa.....	29
TABELA 5.3: Comparativo entre normas para eventual aceitação da resistência efetiva do concreto (Testemunhos) de 25 MPa.....	29

LISTA DE SÍMBOLOS ABREVIATURAS E SIGLAS

γ_c	Coeficiente de ponderação (minoração) da resistencia do concreto;
γ_{c2}	Parcela do γ_c que considera a diferença entre a resistência do concreto no corpo de prova e na estrutura;
γ_f	Coeficiente de ponderação (majoração) das ações;
γ_m	Coeficiente de ponderação (minoração) das resistências dos materiais;
$f_{c\ 28}$	Resistência à compressão do concreto aos 28 dias;
f_{cj}	Resistência à compressão do concreto em função dos dias;
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto;
$f_{ck,est}$	Valor da resistência à compressão estimada;
f_{ts}	Resistência à tração diametral;
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACI	“American Concrete Institute”;
A/C	Relação entre o consumo de água/cimento;
CP II–F	Cimento Portland composto com filer;
CP V–ARI	Cimento Portland de alta resistência inicial;
C 25	Classificação para o concreto com resistência característica à compressão de 250Kg/cm ² ;
C 20	Classificação para o concreto com resistência característica à compressão de 200Kg/cm ² ;
h/d	Relação entre a altura e o diâmetro do testemunho, (índice de esbeltez);
MPa	Megapascal;
NBR	Norma Brasileira Registrada no INMETRO;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
1.1. IMPORTÂNCIA DO TEMA	2
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 QUALIDADE E DURABILIDADE DO CONCRETO	5
3.2 RESISTÊNCIA EFETIVA DO CONCRETO	6
3.3 TESTEMUNHOS X CORPOS DE PROVAS DE CONCRETO	10
4 ABORDAGEM METODOLÓGICA	13
4.1 DIVISÃO DAS ETAPAS DE ESTUDO	13
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO UTILIZADO PARA A PESQUISA.	16
4.2.1 TABELA DE TRAÇOS	16
4.2.2 FORMAÇÃO DOS LOTES	18
4.2.3 EXEMPLO DA RASTREABILIDADE DO CONCRETO	18
4.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TESTEMUNHOS	19
5 RESULTADOS	23
5.1 RESULTADOS E ANÁLISE ESTÁTISTICA	23
6 CONCLUSÕES	30
6.1 INTERPRETAÇÃO E CONCLUSÕES DOS RESULTADOS	30
6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

1.1. **IMPORTÂNCIA DO TEMA:**

Atualmente tem se intensificado a preocupação por qualidade e durabilidade em obras de concreto armado, através de medidas de segurança e controle tecnológico aplicado. É notória a importância de se avaliar as reais condições da estrutura e comparar com os modelos de cálculo propostos.

Até bem pouco tempo acreditava-se que as obras em concreto poderiam ser eternas e não iriam necessitar de manutenção, bastava um pouco de ética e honestidade profissional, durante a elaboração do projeto e da construção para resultar em uma obra durável. Com tudo somente na última década é que a comunidade internacional passou a dispor de ferramentas, conceitos e procedimentos, para prever e calcular a vida útil das estruturas. Até bem pouco tempo o conceito de durabilidade era apenas qualitativo nos projetos e construções, conforme (HELENE, 2005).

O controle da resistência à compressão do concreto das estruturas é parte integrante da construção, sendo indispensável à comprovação da resistência efetiva real. Avaliar se o que está sendo produzido corresponde ao que foi adotado previamente por ocasião do dimensionamento da estrutura, faz parte da própria concepção do processo construtivo como um todo (HELENE & TERZIAN, 1993)

Na maior parte das obras, o processo de controle colabora para que a resistência estimada seja similar ou superior ao valor especificado. Todavia, surgem situações com dúvidas sobre a resistência mecânica e a capacidade de carga de um elemento de concreto. Nesses casos é preciso revisar os resultados de ensaios e, se necessário, adotar procedimentos adicionais para investigar qual a resistência efetiva da estrutura, afirmam (SILVA FILHO & HELENE, 2011).

Estas dúvidas podem ser minimizadas a partir da existência de um sistema de garantia de qualidade durante o processo construtivo, onde a adoção de atividades como realização de estudos de dosagem, controle da qualidade de água adicionada ao concreto, melhoria das condições de lançamento e cura, etc, contribuindo para que a resistência estabelecida no projeto seja alcançada, bem como para que os níveis de variação desta resistência sejam menores (CREMONINI, 1994).

Entre vários fatores, a altura de extração na peça tem enorme influência. O testemunho geralmente tem resistência menor quando extraídos próximos da superfície superior da estrutura seja ela uma coluna, uma parede, uma viga ou mesmo uma laje;

aumentando sua resistência com o aumento da profundidade, (VIERA FILHO, 2007).

Vieira Filho (2007) complementa ainda que “a qualidade na extração dos testemunhos dependa exclusivamente da experiência do operador, conferindo a fixação da sonda rotativa e evitando vibrações. Portanto a análise de testemunhos extraídos requer bastante atenção e cuidados para que não ocorram distorções na interpretação dos resultados”.

Dentro desta proposta de pesquisa, busca-se propor melhorias no processo de análise e interpretação dos resultados obtidos através dos ensaios de extração de testemunhos em estruturas de concreto acabadas, bem como mudanças na norma ABNT NBR 7680-1:2015, expondo a necessidade de se avaliar os parâmetros de correção propostos pela norma, e os agentes que podem influenciar nos resultados. Neste contexto a pesquisa tem como principal motivação, analisar o comportamento do concreto aplicado em estruturas acabadas, manifestando a importância de corrigir os principais fatores que podem interferir na qualidade do concreto, e na busca por inovações que possam contribuir de alguma maneira para a melhoria de processos construtivos da construção civil em nosso país.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL:

O objetivo geral da pesquisa é avaliar as variações de resistência mecânicas do concreto, através de corpos de provas moldados e dos testemunhos extraídos de lajes em concreto armado, em uma obra residencial, em Santa Maria-DF no ano de 2017.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

a) avaliar o comportamento mecânico do concreto submetido aos ensaios de compressão axial e tração diametral.

b) avaliar dentre os fatores contemplados na norma ABNT NBR 7680-1:2015 outros possíveis fatores que podem influenciar na resistência do concreto.

c) comparar os resultados obtidos conforme ABNT NBR 7680-1:2015 frente à outras normas internacionais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUALIDADE E DURABILIDADE DO CONCRETO:

A produção do concreto consiste em uma série de atividades controladas e organizadas entre si, podendo o resultado final ser interferido durante o processo de execução entre uma atividade e outra por ato de ação humana e ou mecânica, como a dosagem, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura. Contudo existem casos em que a qualidade do concreto é posta em dúvida no que diz respeito à resistência do concreto aplicado na estrutura, evidenciando a necessidade de uma investigação das suas propriedades mecânicas (SILVA FILHO & HELENE, 2011).

É importante registrar que tem sido cada vez mais amiúde, na avaliação da resistência do concreto aplicado em estruturas, a extração de testemunhos, com vistas a subsidiar as análises estruturais, bem como para dirimir dúvidas referentes aos resultados de ensaios em corpos de prova moldados na fase de controle de qualidade das obras. (VIERA FILHO, 2007).

Neville (2013) complementa que “o problema é frequentemente resolvido por ensaios de testemunhos de concreto endurecidos extraídos da parte suspeita da estrutura de modo que seja possível estimar a resistência média potencial do concreto”.

O processo de controle da resistência visa, em última instância, comprovar o resultado de resistência estimada do concreto, obtido através de ensaios desses corpos de provas, com o valor de resistência características do concreto à compressão que foi adotado no projeto da estrutura. Ou seja, a partir da análise dos resultados de ensaios à compressão axial de amostras coletadas durante a concretagem se busca o valor característico, efetuando uma análise com as mesmas bases estatísticas de segurança usadas no projeto das estruturas de concreto (SILVA FILHO & HELENE, 2011).

É consenso no meio técnico e científico que as resistências obtidas por meio de corpos de testemunhos extraídos da estrutura são potencialmente menores que as provenientes de corpos de provas moldados. Os testemunhos são porções íntegras e representativas do concreto de um componente estrutural e considera-se que além das maiores variabilidades da resistência do concreto na estrutura, em princípio cobertas pelo coeficiente de segurança do concreto $\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2} \cdot \gamma_{c3} = 1,4$, também as operações de extração, por melhor que sejam realizadas, introduzem efeitos deletérios nos mesmos que contribuem na redução de sua resistência original e dita na boca da betoneira

(HELENE, *et al*, 2015).

Percebe-se ainda que a análise proposta pela ABNT NBR 7680-1:2015 não contemplam uma grande parte dos coeficientes de correção que constam na bibliografia internacional, restringindo-se apenas ao fato geométrico da relação h/d, efeito de broqueamento, efeito na direção de extração com relação ao de adensamento do concreto e a condição de umidade ou sazonalidade do testemunho precedente a sua ruptura, (HELENE, *et al*,2015).

Basicamente, os métodos de dimensionamento em utilização nos dias atuais, tiveram como referência o *ModelCode* do *Comitê Euro- Internacional Du Béton*, que ao ser adotado uma chamada “margem de segurança”, decorrente do resultado da aplicação conjunta de dois coeficientes: o de majoração das ações, γ_f e o de minoração da resistência γ_m , que para o concreto tem seu valor γ_c variando de 1,2 a 1,7 ; sendo 1,4 o valor comumente recomendado na ABNT NBR 6118:2014(VIEIRA FILHO, 2007).

Logo abaixo é possível acompanhar as parcelas referentes aos coeficientes de minoração de resistências do concreto conforme ABNT NBR 6118:2014.

γ_{m1} - Parcela do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera a variabilidade dos materiais envolvidos.

γ_{m2} - Parcela do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera a diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura.

γ_{m3} - Parcela do coeficiente de ponderação das resistências γ_m , que considera os desvios gerados na construção e as aproximações feitas em projeto do ponto de vista das resistências.

Esta pesquisa tem como principal enfoque a parcela γ_{m2} , que busca dentro deste contexto realizar uma análise comparativa entre as resistências ditas potenciais representadas por corpos de provas padronizados e a resistência efetiva representada através de testemunhos extraídos, ambos com o mesmo tipo de concreto, mas sob certas circunstâncias muitos destinos em alguns fatores como, adensamento, cura e etc.

3.2 RESISTÊNCIA EFETIVA DO CONCRETO:

A qualidade efetiva do concreto na obra deve ser assegurada por um correto procedimento de mistura, transporte, lançamento, cura e desmontagem. Na maioria dos casos, um concreto de resistência mais alta é, em princípio e sob certas circunstâncias, é

potencialmente mais durável do que um concreto de resistência mais baixa, obtido com os mesmos materiais. Porém, nem sempre a resistência à compressão é, por se só, uma medida suficiente da durabilidade do concreto, pois esta depende das camadas superficiais do concreto da estrutura (ANDRADE & HELENE, 2010).

A determinação da resistência efetiva é feita através de ensaios em estruturas acabadas, enquanto a resistência potencial é obtida pela ruptura de corpos de provas padrão moldados e ensaiados em condições normalizadas. Pelo exposto, verifica-se que um maior conhecimento da resistência efetiva, bem como a adoção de sistemas de controle de qualidade na execução de estruturas de concreto armado, pode contribuir para um melhor entendimento e ajuste dos coeficientes de minoração adotados a princípio (CREMONINI, 1994).

Quando se faz o dimensionamento das estruturas, adotando para o concreto a sua resistência de cálculo, isso corresponde a se admitir a existência de no máximo 5/1.000 do volume de concreto com a resistência inferior a esse valor de f_{ck} . A hipótese de segurança consiste em admitir que essa fração menos resistente possa estar localizada nas seções mais solicitadas da estrutura. Por essa razão, a ruptura dessas seções não pode ocorrer com cargas de serviço, pois seria muito grande a efetiva probabilidade de ruína. A ruptura dessas seções somente poderá ocorrer com cargas maiores que de serviço, de modo a garantir uma probabilidade de ruína aceitável (FUSCO, 2008).

Segundo Helene *et al*, (2015), afirmam que “durante a execução da estrutura, o concreto é controlado por meio de corpos de prova, que não representam a mesma resistência do concreto presente nas peças estruturais. Sendo assim, os resultados de ensaios de resistência à compressão baseados nestas amostras presumem a resistência média máxima potencial de um volume definido e homogêneo de concreto bem misturado, ao sair da betoneira”.

Dentro dessa linha de pesquisa o estudo de caso procura identificar e compreender os principais fatores que podem influenciar nas propriedades mecânicas do concreto, expondo a relevância do assunto no meio literário e técnico. A investigação tem dentre outros objetivos, a sensibilização da importância de se adotar medidas que possam contribuir para os ganhos de resistência do concreto, como as condições de cura, adensamento e adoção de uma postura firme no que diz respeito às responsabilidades do profissional na fiscalização e acompanhamento dos serviços de concretagem, melhorando assim as propriedades mecânicas do concreto.

Na figura 3.1 é apresentado um fluxograma com as principais etapas de produção do concreto:

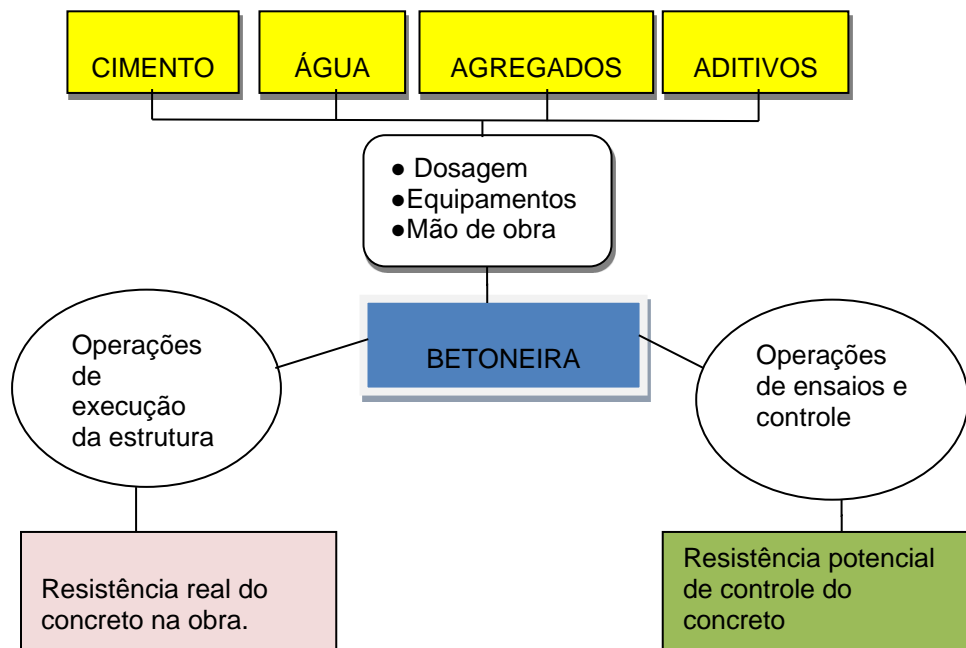


Figura 3.1: Significado da resistência à compressão obtida através do controle do concreto.

Adaptado de:(PACHECO & HELENE)

A representação da figura 3.1 ilustra a resistência real do concreto que foi utilizado na obra e a resistência potencial, representada através dos corpos de provas moldados e mantidos em condições ideais até o dia do rompimento, e a resistência real através dos testemunhos que necessita de maior atenção, impondo uma análise mais criteriosa na definição da resistência real da obra, dada as características do concreto utilizado nas edificações e por ventura submetida à extração de testemunhos.

A possibilidade de se verificar diretamente a resistência de amostras de concreto do próprio elemento estrutural em análise constitui-se na grande vantagem desses ensaios com testemunhos extraídos. Por outro lado, como já referido, é grande a dificuldade na interpretação dos resultados desses ensaios e no estabelecimento de critérios de aceitação do concreto, os quais, quando não omissos, apresentam divergência na normatização nacional e internacional (VIEIRA FILHO, 2007).

Fusco (2009) recomenda ao engenheiro responsável que, caso o concreto aplicado na estrutura tenha sido rejeitado pelo controle do material na ocasião do seu lançamento, deverá recomendar uma avaliação de contraprova através de testemunhos extraídos da

peça estrutural sob suspeita.

A resistência à compressão do concreto está condicionada principalmente quanto à classificação do cimento utilizado no traço e ao fator água/cimento, na tabela 3.1 consultada é possível realizar uma estimativa de ganho na resistência.

Tabela 3.1: Ganho de resistência com o tempo em função da relação A/C.

Adaptado de: (CREMONINI, 1994)

Cimento	Relação a/c (kg/kg)	f_{c28} MPa	Coeficiente médio f_{cj} / f_{c28}			
			3d	7d	28d	91d
CP I	0,38	43	0,54	0,74	1,00	1,14
	0,48	35	0,49	0,71	1,00	1,16
	0,58	28	0,42	0,66	1,00	1,20
	0,68	23	0,36	0,61	1,00	1,25
	0,78	18	0,34	0,50	1,00	1,26
CP II-E	0,38	40	0,51	0,72	1,00	1,16
	0,48	33	0,47	0,69	1,00	1,18
	0,58	27	0,40	0,69	1,00	1,22
	0,68	22	0,35	0,60	1,00	1,26
	0,78	18	0,32	0,57	1,00	1,28
CP III	0,38	51	0,38	0,62	1,00	1,23
	0,48	40	0,36	0,61	1,00	1,25
	0,58	32	0,28	0,54	1,00	1,31
	0,68	26	0,26	0,52	1,00	1,34
	0,78	20	0,22	0,48	1,00	1,38
CP IV	0,38	40	0,50	0,71	1,00	1,16
	0,48	31	0,48	0,70	1,00	1,17
	0,58	25	0,40	0,64	1,00	1,21
	0,68	20	0,35	0,60	1,00	1,26
	0,78	15	0,29	0,55	1,00	1,30
CP V	0,38	55	0,69	0,86	1,00	1,04
	0,48	42	0,62	0,82	1,00	1,06
	0,58	36	0,53	0,77	1,00	1,08
	0,68	29	0,46	0,71	1,00	1,11
	0,78	23	0,43	0,60	1,00	1,13

3.3 TESTEMUNHOS X CORPOS DE PROVAS DE CONCRETO:

Segundo a ABNT NBR 7680-1:2015, as principais diferenças entre os resultados de corpos de provas moldados e testemunhos extraídos devem-se principalmente aos seguintes fatores, conforme item 5.1 da norma:

- a) As dimensões de testemunhos e de corpos de prova podem não ser as mesmas;
- b) O testemunho pode refletir deficiências do processo executivo;
- c) O testemunho sofre o efeito deletério de broqueamento devido ao processo de extração;
- d) Nos testemunhos, a direção da moldagem nem sempre é a mesma da aplicação da carga no ensaio de ruptura;
- e) O corpo de prova moldado é adensado de forma enérgica e homogênea, o que nem sempre ocorre em todos os pontos da estrutura;
- f) A retirada precoce do escoramento pode gerar microfissurações no concreto em elementos submetidos à flexão, o que não se verifica em corpos de provas;
- g) O concreto de um testemunho pode não ter recebido a cura adequada após a concretagem, além de ser submetido a um regime de temperatura diferente do de laboratório;
- h) A idade avançada dos testemunhos pode apresentar resistências mais elevadas que as de concreto ensaiado aos 28 dias.

Durante o projeto de uma obra, os coeficientes de minoração da resistência do concreto são utilizados com o intuito de deixar uma reserva de segurança que possa absorver incrementos nas solicitações decorrentes de erros ou imprecisões do processo construtivo, que ocasionam problemas de prumo e excentricidade, ou resultem na presença de ninhos de concretagem, diferenças de adensamento e cura, entre outros. Por isso, o processo de avaliação da resistência necessária numa obra acabada requer bom senso e conhecimento de tecnologia do concreto, conhecimento dos fundamentos da segurança estrutural, conhecimento do projeto, das cargas permanentes e acidentais, dos procedimentos de ensaios em campo, dos procedimentos de laboratório, de análise dos resultados, domínio da natureza dos esforços e ações efetivas, e outras. Além disso, requer a inspeção e vistoria criteriosa da estrutura real (SILVA FILHO & HELENE, 2011).

Em relação aos testemunhos, a variação da resistência em razão do diâmetro é contraditório, tendo diversos autores estudado o assunto e estabelecendo diferentes

conclusões, ora coincidentes com aquelas obtidas para corpos de provas moldados, ora conflitantes. Em casos de diminuição da resistência, este fato é atribuído ao efeito deletério oriundo da operação de corte, já que a relação perímetro/área dos testemunhos aumenta com a diminuição do diâmetro (CREMONINI, 1994).

Portanto, vale salientar que “a interpretação dos resultados analisados é de difícil interpretação devido às condições de extração, aos danos causados por ela, a relação h/d , às condições de carregamentos e à idade do concreto. Dessa forma, é primordial que na tomada de decisão quanto ao novo valor de resistência e análise das reais condições de qualidade do concreto aplicado na estrutura, se use o bom senso devido à grande variedade de variáveis que podem influenciar na interpretação dos resultados” segundo Pertersons & Malhotra (1977) apud Helene et al, (2015).

Viera Filho (2007) afirma que, “entre as técnicas de avaliação de resistência do concreto destacam-se a extração, o preparo e os ensaios à compressão de testemunhos do concreto endurecido, como as de maior confiabilidade. Os ensaios realizados em corpos de prova em condições padronizadas fornecem uma resistência potencial do concreto aplicado à estrutura. Isso, não reflete necessariamente a qualidade final que pode ser influenciada por diversos fatores, dentre os quais se destacam: a mistura, o transporte, o lançamento, o adensamento e a cura”.

Assim, para a aceitação da estrutura de concreto a partir dos resultados de testemunhos extraídos, é necessário estabelecer critérios de comparação que corrijam as interferências dos procedimentos laboratoriais, de extração e de construção da estrutura, ou seja, devem-se introduzir coeficientes de ajuste que levem em conta aspectos relacionados à qualidade da execução, porosidade e vazios de concretagem e posição geométrica do testemunho no elemento estrutural, idade do concreto, fluência do concreto, histórico de carregamento da estrutura, “relaxação” do concreto e/ou efeito de carga de longa duração, natureza do aglomerante (cimento + adição), traço e outros (HELENE, *et al*, 2015).

Neville (2013) salienta que “no caso em que a resistência dos corpos de prova normatizados resulte abaixo do valor especificado, o concreto da estrutura pode não ser satisfatório ou os corpos de prova podem não representar o concreto da estrutura. Essa última possibilidade, não deve ser ignorada sob contestação para aceite ou não de uma parte suspeita da estrutura. Na transformação da resistência do testemunho em resistência potencial devem ser levadas em conta as diferenças entre o tipo de forma, a cura, o tempo e a forma de adensamento”.

Embora não haja normalização a respeito dos possíveis danos provocados pelas operações de extração dos testemunhos, já há longo tempo admite-se que com isso o corpo de prova pode perder de 5% a 10% de sua resistência. De modo geral como o número de testemunhos que podem efetivamente ser extraídos de uma estrutura existente é usualmente muito pequeno, em geral é usual que se possa fazer apenas uma análise estatística assistemática, que englobe toda a estrutura em um único lote (FUSCO, 2008).

Os valores obtidos no ensaio à compressão dos testemunhos não devem ser considerados como a resistência real do concreto da estrutura, pois variáveis como dimensões, carregamentos, fissuras devido ao corte, etc, fazem com que este valor seja impossível de ser determinado. Entretanto, pesquisadores como ALBA, GONÇALVES E HELENE afirmam ser este o método que oferece maior confiabilidade, já que fornecem diretamente esta avaliação, não havendo necessidade de correlações como os métodos de ensaios não destrutivos (CREMONINI, 1994).

Por essa razão, o julgamento da resistência do concreto a partir de testemunhos extraídos diretamente da estrutura é uma atividade ainda mais complexa que o exame dos resultados obtidos de corpos de provas moldados. Trata-se de um técnico especializado, e que requer rigor nas operações de amostragem e nos ensaios, assim como experiência e bom senso na avaliação dos resultados obtidos, que são afetados pelas operações de extração e construção (HELENE, *et al*, 2015)

4 ABORDAGEM METODOLÓGICA

4.1 DIVISÃO DAS ETAPAS DE ESTUDO:

A metodologia apresentada que será desenvolvida neste trabalho está dividida nas seguintes etapas:

Etapa 01 - Delimitação da bibliografia e referências bibliográficas - Esta etapa consiste em consulta à literatura a cerca do tema em estudo, em livros e publicações que convergem para a estruturação da fundamentação teórica, com esse entendimento, será possível a delimitação da metodologia e melhor compreensão dos resultados;

Etapa 02 - Caracterização do objeto (laje) – A laje a ser utilizada neste trabalho possuirá altura preestabelecida de 10 centímetros, e dimensões da ordem de 21,6 metros de comprimento e 14,8 de largura aproximadamente, em concreto estrutural de 25 MPa na 1º etapa de amostras e 20 Mpa na 2º etapa, de onde será extraído os testemunhos com diâmetro de 75 milímetros;

Conforme ilustra a figura 4.1:

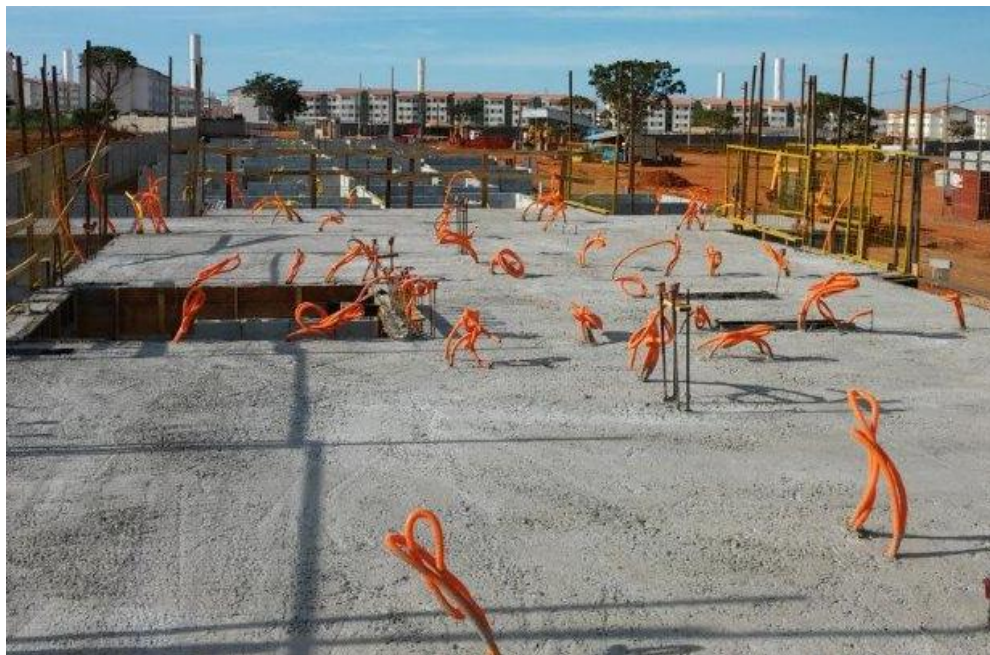


Figura 4.1: Vista da laje concretada: Fonte (do autor)

Etapa 03 - Planejamento dos dias de moldagem dos corpos de prova e elaboração de uma planilha com as datas de concretagem e rompimento, que será estimada aos 7, 14 e 28 dias;

Etapa 04 - Preparo e acondicionamento dos corpos-de-prova moldados a partir do concreto coletado na obra, em recipiente com água, e determinando a quantidade para a análise de estudo estatística, conforme preconiza a norma NBR 5738/15. Na figura 4.2 é possível visualizar o ambiente de laboratório no canteiro de obras;



Figura 4.2: Instrumentos para controle de qualidade no canteiro de obras:

Fonte (do autor)

Etapa 05 - Extração e preparo dos testemunhos no canteiro de obras a partir da data de execução do concreto na peça estrutural, com o auxílio de sonda rotativa HILTI, modelo DD 160, conforme ilustra a figura 4.3;



Figura 4.3: Extração dos testemunhos: Fonte (do autor).

Etapa 06- Rompimento dos corpos-de-prova: em instalações laboratoriais com equipamento classe 1 ou similar, indicador digital da carga aplicada de acordo com a ABNT NBR 5739/07 e ABNT NBR 7222/07, ilustrado na figura 4.4;

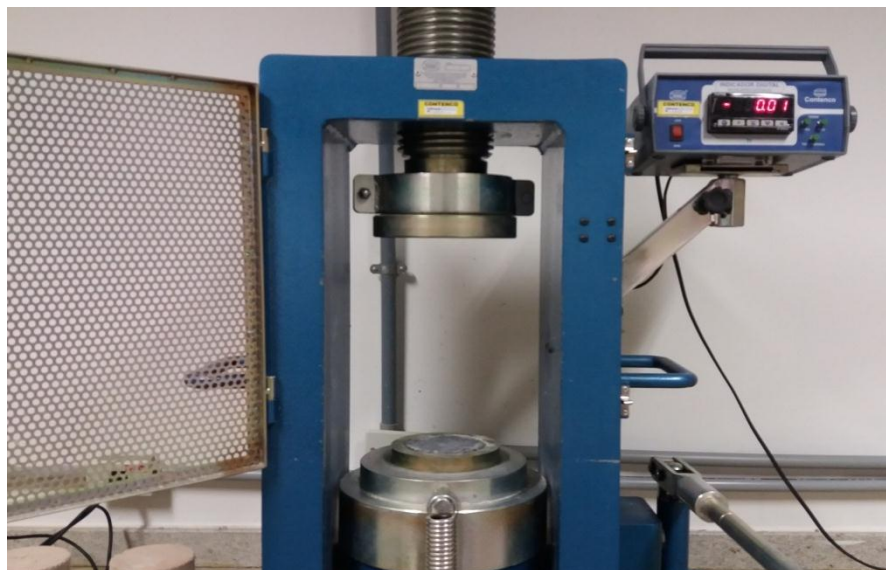


Figura 4.4: Equipamento de ensaios (Contenco modelo I-3001-C);
Fonte (do autor)



Figura 4.5: Imagem do testemunho extraído da laje. Fonte do (autor)

Etapa 07 - Interpretação dos resultados apurados através de ferramentas computacionais como o Excel, elaborando gráficos de representação, da força aplicada em função tipo de corpo de prova, e da evolução dos ganhos de resistência em função dos dias, e comparando os resultados dos testemunhos com as normas ABNT NBR 7680-1:2015, Normativa Alconpat, ACI 318 e ACI 214-4R-10;

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO UTILIZADO PARA A PESQUISA.

O concreto utilizado neste estudo foi fornecido por central dosadora em caminhões betoneiras com volumes não superiores a 10 m³ por viagem, sendo que todas as lajes foram concretadas por meio de bomba lança. As amostras para os corpos de provas foram coletadas na chegada do caminhão betoneira à obra, sendo determinada a consistência do concreto pelo ensaio de abatimento de tronco de cone, conforme recomenda a ABNT NBR NM 67 – 1998.

4.2.1 TABELA DE TRAÇOS.

As tabelas 4.1 e 4.2 fornecem o quantitativo de insumos para a confecção do volume de 1,0 m³ de concreto, apresentado pela central dosadora através da carta traço:

Tabela 4.1- Carta traço para a elaboração do concreto de 25 MPa.

Cimento - CP V	315 kg
Areia Natural	426 kg
Areia Artificial	426 kg
Brita 0	199 kg
Brita 1	795 kg
Água	183 L
Aditivo. Poli funcional	2,52 L

Tabela 4.2 – Carta Traço para a elaboração de concreto de 20 MPa.

Traço m ³	Fck (Mpa)	Consumo de materiais por m ³ produzido						
		Cimento CP II F40 Plus	Areia fina	Areia grossa	Brita 0	Brita 1	Aditivo	Água
		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Litro	Litro
1	20	297	423	423	201	804	2,3	188

Os traços definidos na tabela 4.1 e 4.2 para a elaboração do concreto seguem características, associadas à norma ABNT NBR 7212 Execução de concreto dosado em central – Procedimento. Ambos os concretos de 20 e de 25(MPa), foram fornecidos por centrais dosadoras de diferentes empresas, os resultados de resistência à compressão do concreto será ensaiado conforme ABNT NBR 7680-1: 2015 e conforme ABNT NBR 5739: 2007.

4.2.2 FORMAÇÃO DOS LOTES

Para a elaboração do estudo definimos a quantidade de amostras em um total de 120 amostras, sendo metade destes os testemunhos extraídos da laje com diâmetro estabelecido em 75 milímetros, e a outra metade os corpos de prova moldados conforme ABNT NBR 5738 em moldes de (10x20).

Procedimento	Concreto	N° de lajes para estudo	N° de amostras por lajes	Número de amostras
Testemunhos Ø 7,5x10	C25	05	06	30
Corpos de provas (10X20)	C25		06	30
Testemunhos Ø 7,5x10	C20	05	06	30
Corpos de provas (10X20)	C20		06	30
Testemunhos e corpos de prova			Total = 120	

Quadro 4.1: Formação do lote de amostras.

O quadro 4.1 ilustra a quantidade de testemunhos e de corpos de provas a serem rompidos neste estudo, sempre 12 amostras por laje, sendo 6 amostras moldadas em corpos de prova padronizados de (10x20) e 6 amostras extraídas da laje sempre aos 7, 14, e 28 dias. A pesquisa foi realizada em duas etapas, sendo os primeiros ensaios realizados no período de novembro de 2016 a janeiro de 2017, usando o concreto de 25 MPa e a segunda etapa entre agosto e outubro de 2017 utilizando o concreto de 20 MPa.

4.2.3 EXEMPLO DA RASTREABILIDADE DO CONCRETO

A rastreabilidade do concreto consiste em adotar mecanismos que facilitem a localização de um determinado lote de concreto aplicado à estrutura, como ilustrado na figura 4.6 a seguir.

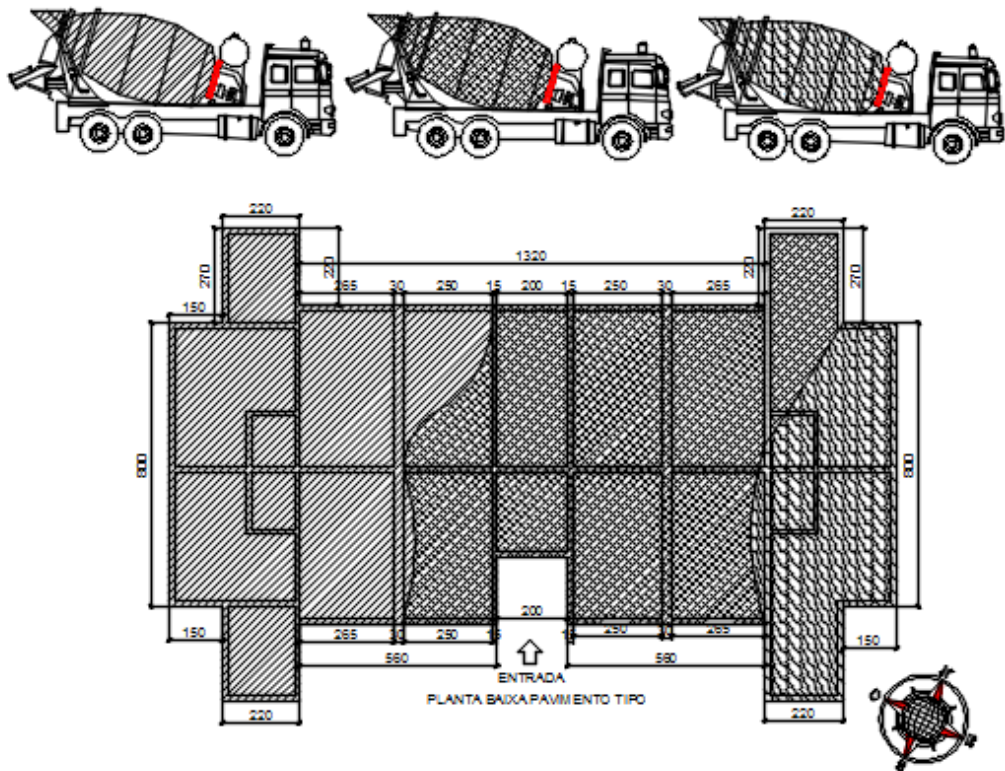


Figura 4.6: Exemplo da rastreabilidade do concreto aplicado na laje. Fonte: (do autor)

A figura 4.6 é apresentada um exemplo de aplicação do concreto nas lajes, que foi realizado por meio de bomba lança, demonstrando a possível localização do concreto nas peças estruturais de forma mais conveniente pelo profissional responsável.

As amostras destinadas aos ensaios de tração diametral foram subdivididas em 40 unidades, sendo a metade amostras de corpos de provas de 25 MPa e a outra metade de corpos de prova de 20 MPa, com a finalidade de introduzir parâmetros de comportamento de resistência a tração conforme a norma vigente ABNT NBR 7222.

4.3 CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS TESTEMUNHOS:

Conforme indicado em norma, na expressão utilizada para a correção dos valores obtidos na resistência à compressão dos testemunhos, são quatros os itens a serem observados:

- K_1 quando o testemunho não atinge uma relação $h/d = 2$, os resultados de resistência à compressão devem ser corrigidos conforme tabela abaixo:

Tabela 4.4: Tabela 2 da norma NBR 7680-1: 2015.

h/d	2,00	1,88	1,75	1,63	1,50	1,42	1,33	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,00
K1	0,00	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,10	-0,12	-0,13	-0,14

• K_2 o efeito de broqueamento deve ser considerado em todos os casos e é maior menor for o diâmetro do testemunho. Para levar em conta o efeito de broqueamento em função do diâmetro do testemunho, emprega-se o coeficiente de correção K_2 conforme recomendação da norma ABNT NBR 7680-1: 2015, sendo permitida a interpolação de valores conforme a seguir na tabela 3:

Tabela 4.5: Tabela 3 da norma NBR 7680-1: 2015.

Diâmetro do testemunho \varnothing mm	≤ 25	50 a*	75	100	≥ 150
K_2	Não permitido	0,1	0,09	0,06	0,04
a* Neste caso o número de testemunhos deve ser o dobro do estabelecido na Tabela 1.					

• K_3 os testemunhos devem ser extraídos sempre que possível na mesma direção do lançamento do concreto, para extrações realizadas no sentido ortogonal ao lançamento (como pilares, cortinas e paredes moldadas), deve-se admitir um valor da ordem de $K_3 = 0,05$, já os testemunhos extraídos no mesmo sentido de lançamento como lajes o $K_3 = 0$.

• K_4 as condições de umidade do testemunho no momento do ensaio devem ser corrigidas, se rompido em condições de saturação $K_4 = 0$, já se testemunhos forem rompidos secos ao ar $K_4 = -0,04$.

Para efeito de cálculo a norma ABNT NBR 7680-1: 2015 estabelece os itens de correção K_1 a K_4 , utilizados na expressão abaixo:

$$f_{ci, ext} = [1 + (K_1 + K_2 + K_3 + K_4)] \cdot f_{ci, ext, inicial} \quad (\text{Equação 1})$$

A bibliografia internacional atribui porém à resistência dos testemunhos extraídos aos corpos de moldados, fatores além da norma brasileira, em um fator multiplicativo de coeficientes, como na expressão a seguir:

$$f_{ck, ext, eq} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot f_{ck, ext, j} \quad (\text{Equação 2})$$

A abordagem desses aspectos referentes aos itens de correção entre K_5 e K_9 tem enorme influência na interpretação dos resultados, desde que se tome uma postura e uma posição de imparcialidade frente aos resultados apresentados, sejam eles satisfatórios ou não. A necessidade de se avaliar tais itens será abordada nos próximos tópicos, sendo objeto de pesquisa de vários pesquisadores, que atribuem um coeficiente de correção para os demais itens, a respeito temos a deficiência de cura do concreto na obra, ou seja o coeficiente de correção K_5 , como é exposto na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Efeito da natureza da cura sazonal (UR e temperatura) na resistência do concreto. Adaptado de: (Helene; et al; 2015)

Referência	Sazonamento	Coeficiente K_5
<i>Cavalera et al (2011)</i>	> 30°C	1,10
<i>Cavalera et al (2011)</i>	< 15°C	1,05
<i>Mehta e Monteiro (2014)</i>	ao ar	1,60
<i>Concrete Society (1976)</i>	usual de obra	1,20
<i>Concrete Society (1976)</i>	membrana de cura	1,10
<i>Battagim et al (2002)</i>	câmara seca	1,15
<i>U.S. Bureau of Reclamation (1981)</i>	ao ar	1,60

O coeficiente de correção K_6 existente na vasta bibliografia internacional a exemplo a ACI 214.4R-10 e em livros texto de concreto, sugere o aumento da resistência do testemunho de 5% a 7% para cada 1% a mais de porosidade (volume de vazios) do concreto extraído em relação à porosidade medida no concreto bem adensado do corpo de prova padrão. Isso pressupõe que a porosidade (ASTM C 642) tenha sido medida no corpo de prova moldado e também no testemunho extraído, para permitir a comparação e eventual correção (HELENE, et al, 2015) conforme tabela 4.7 a seguir.

Tabela 4.7: Coeficiente de correção segundo teor de ar aprisionado no concreto devido ao adensamento insuficiente (CONCRETE SOCIETY, 1976).

Adaptado de : (Helene, et al, 2015)

Porcentagem de ar aprisionado em volume	Fator de correção por deficiência de compactação, K_6
1,0	1,08
1,5	1,13
2,0	1,18
2,5	1,23
3,0	1,28
3,5	1,33

O coeficiente K_7 aborda a correção devida às microfissurações causadas pela retirada precoce de escoramentos, apesar de não contar na norma ABNT NBR 14391:2004 um prazo para a retirada dos escoramentos, recomenda-se que a mesma deva ocorrer quando o concreto aplicado à estrutura atingir a resistência necessária para suportar o seu peso próprio e as ações externas.

Segundo Helene (2015) quando um elemento sem resistência suficiente passa a suportar cargas de outros elementos estruturais, podem ocorrer deformações não previstas, que podem provocar o surgimento de fissuras e microfissuras devido a esta aplicação prematura de esforços, conforme entendimento de (VIERA FILHO, 2008). Assim seria razoável adotar um coeficiente $K_7 = 1,11$ quando não atendidas as especificações da norma ABNT NBR 14931:2004.

O coeficiente K_8 considera que o concreto esteve, até a data do ensaio isento de cargas desenvolvendo a sua resistência de forma livre, conforme (HELENE; *et al*; 2015).

Com relação ao coeficiente K_8 achamos conveniente não adotar fatores de correção a respeito, pois consideramos que devido à adoção de um concreto com alta resistência inicial, os ganhos de resistência foram expressivos nas primeiras semanas.

O efeito Rusch é atribuído como fator de correção do coeficiente K_9 , devido ao efeito das cargas de longa duração. Não foi considerado em nossos cálculos este fator de correção devido se tratar de uma construção onde seria necessários maiores estudos com relação a ocorrência de cargas de longa duração sobre a edificação.

5 RESULTADOS

5.1 RESULTADOS E ANÁLISE ESTÁTISTICA:

Os resultados de ensaios a compressão diametral presentes na tabela 5.1 a seguir, foram calculados conforme recomendações da ABNT NBR 7222 para os corpos de provas moldados.

•Equação de Lobo Carneiro: $f_{ts} = \frac{2P}{\pi DL}$ (eq. 5.1)

Onde:

P é a força obtida em (Kilonewton);

D é o diâmetro do corpo de prova (mm);

L é a altura do copo de prova em (mm);

f_{ts} valores da resistência à tração diametral expresso em Megapascal;

Tabela 5.1: Resistência Média à compressão diametral aos 28 dias.

Tipo de amostra	Concreto	Resistência média (MPa)
Corpo de prova	C 25	3,21
Corpo de prova	C 20	2,76

A resultados de resistência à tração diametral atingiram aproximadamente 9% da resistência se comparado à compressão do concreto.

O estudo se baseou em produzir uma quantidade de valores que represente de forma fiel a variação das resistências do concreto, indicados nas expressões estatísticas listadas, nas equações abaixo:

• Média aritmética: $\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$ (eq.5.2)

• Variância: $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}$ (eq. 5.3)

• Desvio Padrão: $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ (eq. 5.4)

Nos quadros 5.1 e 5.2 serão apresentados os dados referentes as resistências médias, variância e desvio padrão de ambas as amostras.

Quadro 5.1: Resultados de Resistência Média à compressão, Variância e Desvio Padrão do concreto classe C25.

Resistência (Período)	Procedimento	Concreto (Classe)	Resistência média (Mpa)	Variância (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)
07 dias	Testemunho Ø (7,5x10)	C 25	17,02	1,80	1,34
14 dias	Testemunho Ø (7,5x10)	C 25	18,47	2,39	1,54
28 dias	Testemunho Ø (7,5x10)	C 25	20,80	1,37	1,17
07 dias	Corpo de prova (10x20)	C 25	34,67	1,56	1,25
14 dias	Corpo de prova (10x20)	C 25	36,39	1,75	1,32
28 dias	Corpo de prova (10x20)	C 25	38,35	2,45	1,56

Quadro 5.2: Resultados de Resistência Média à compressão, Variância e Desvio Padrão do concreto classe C 20.

Resistência (Período)	Procedimento	Concreto (Classe)	Resistência média (Mpa)	Variância (Mpa)	Desvio Padrão (Mpa)
07 dias	Testemunho Ø (7,5X10)	C 20	9,93	0,59	0,76
14 dias	Testemunho Ø (7,5x10)	C 20	12,18	1,50	1,22
28 dias	Testemunho Ø (7,5x10)	C 20	16,78	1,81	1,34
07 dias	Corpo de prova (10x20)	C 20	14,41	1,90	1,37
14 dias	Corpo de prova (10x20)	C 20	26,32	1,44	1,20
28 dias	Corpo de prova (10X20)	C 20	32,94	2,92	1,72

Com a apresentação dos resultados de distribuição normal das resistências encontrada aos 28 dias, é possível afirmar que os resultados são satisfatórios, pois conforme Rusch, (1975) apud Viera Filho, (2007) a distribuição normal ou de Gauss é um modelo matemático que pode representar de maneira satisfatória a distribuição das resistências à compressão do concreto sempre que o coeficiente de variação seja igual ou inferior a 30%.

Logo abaixo está representada a distribuição normal de resistência obtida aos 28 dias, a saber:

- Padronização da Variável: $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ (eq. 5.5)

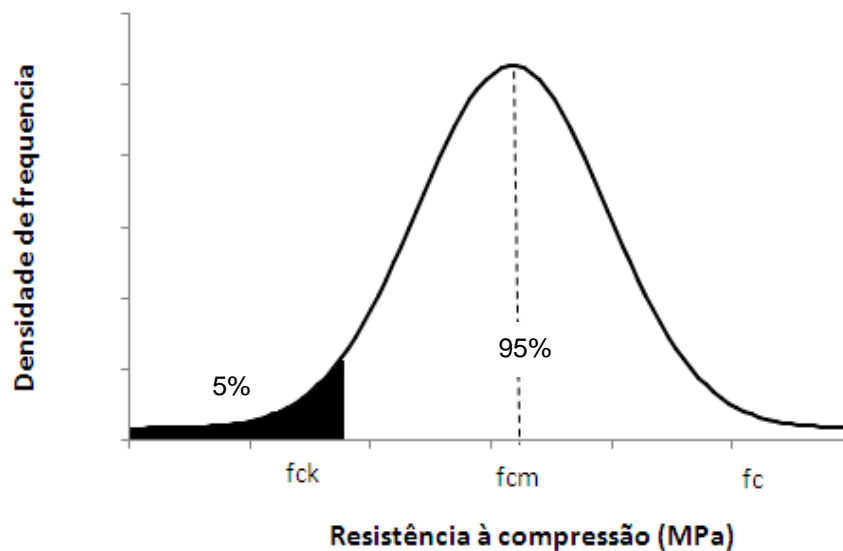


Gráfico 5.1: Curva de distribuição normal da resistência

Conforme ilustrado no gráfico 5.1 de distribuição normal, sendo f_{cm} o ponto médio pode-se afirmar que escolhendo um valor de resistência à compressão do corpo de prova C 25 ao acaso entre $(35,77 \leq Z \leq 40,90)$ MPa representado pela área abaixo da curva, e seja adotado para a variável de distribuição normal o valor igual a 1,65 conforme recomenda a norma ABNT NBR 12.655:2015 atribuindo um nível de confiança de 95% para o f_{ck} de projeto, a probabilidade é de aproximadamente 90,01 % de um total de 100%.

Adotando o mesmo procedimento e valor de referência de 1,65 para a variável de distribuição normal a probabilidade de se escolher um valor de resistência dos testemunhos com concreto C25 entre $(18,87 \leq Z \leq 22,73)$, é de 90,01% das amostras de um total de 100%, variando em média 3,86 MPa.

Os resultados referentes aos corpos de provas moldados com concreto de C20, seguindo o mesmo procedimento e sendo adotado o mesmo valor para a variável Z de distribuição normal de 1,65, pode-se afirmar que escolhendo um valor ao acaso a probabilidade dele está compreendido entre $(30,10 \leq Z \leq 35,77)$ é cerca de 90%. Já os valores de resistência à compressão dos testemunhos extraídos com concreto de 20 MPa seguindo os mesmos parâmetros de probabilidade com valores entre $(14,57 \leq Z \leq 18,99)$, totalizando 90% dos valores de um total de 100%.

Os gráficos 5.2 e 5.3 representam a variação das resistências obtidas e comparadas junto ao f_{ck} de projeto.

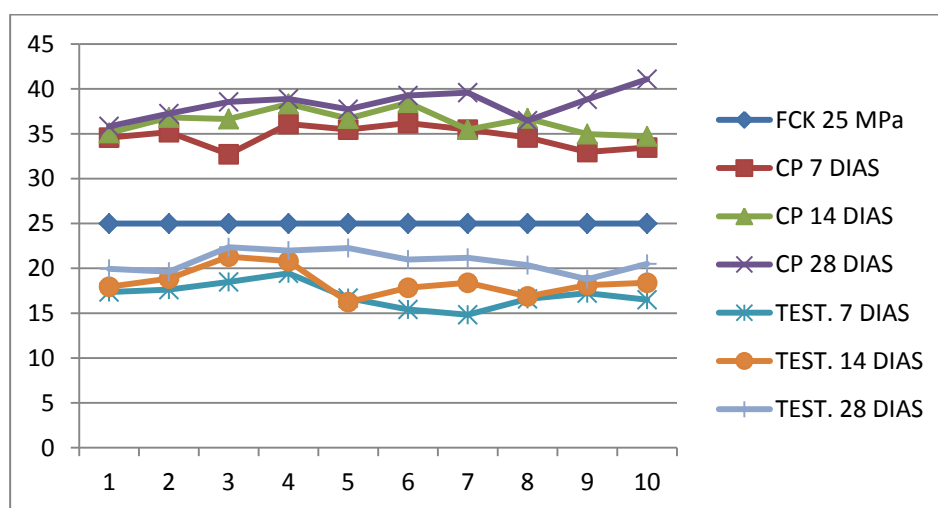


Gráfico 5.2: Variação das resistências dos testemunhos e dos corpos de prova com concreto C25.

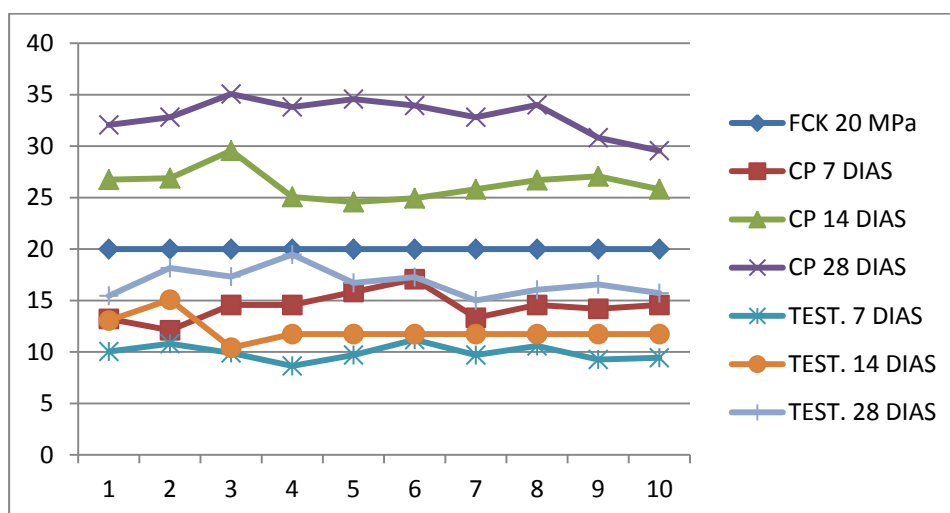


Gráfico 5.3: Variação das resistências dos testemunhos e dos corpos de prova com concreto C20.

É possível observar no gráfico 5.2 que os corpos de prova atingiram desde os primeiros dias resistências bem elevadas e acima de 25 MPa, já o comportamento dos testemunhos é bem semelhante porém não atingindo as resistências esperadas. Analisando o gráfico 5.3 percebe-se que as resistências em geral seguem uma evolução com ganhos menos significativos estando as amostras moldadas de 7 dias abaixo do f_{ck} de 20 MPa e superando nos demais dias de ensaio, contudo a amostras extraídas não atingiram o patamar de projeto.

Os gráficos 5.4 e 5.5 demonstram a resistência média à compressão para ambos os concretos de 25 e 20 MPa respectivamente.

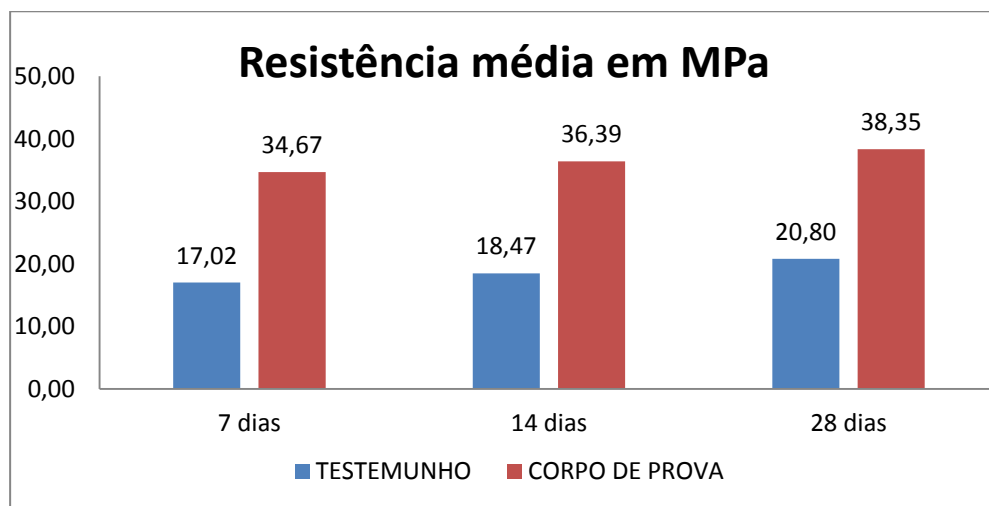


Gráfico 5.4: Resistência Média dos corpos de prova e dos testemunhos, com concreto de 25 MPa.

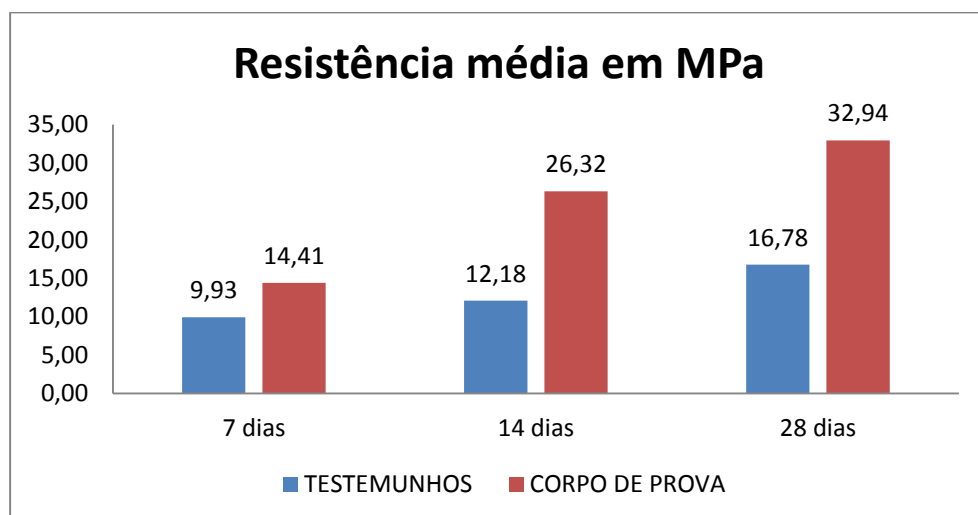


Gráfico 5.5: Resistência Média dos corpos de prova e dos testemunhos, com concreto de 20 MPa.

A seguir os gráficos 5.6 e 5.7 apresentam o coeficiente de variação das resistências obtidas, conforme a equação 5.6 a seguir.

- Coeficiente de Variação (V%): $V\% = \frac{S}{\bar{X}} * 100$ (eq. 5.6)

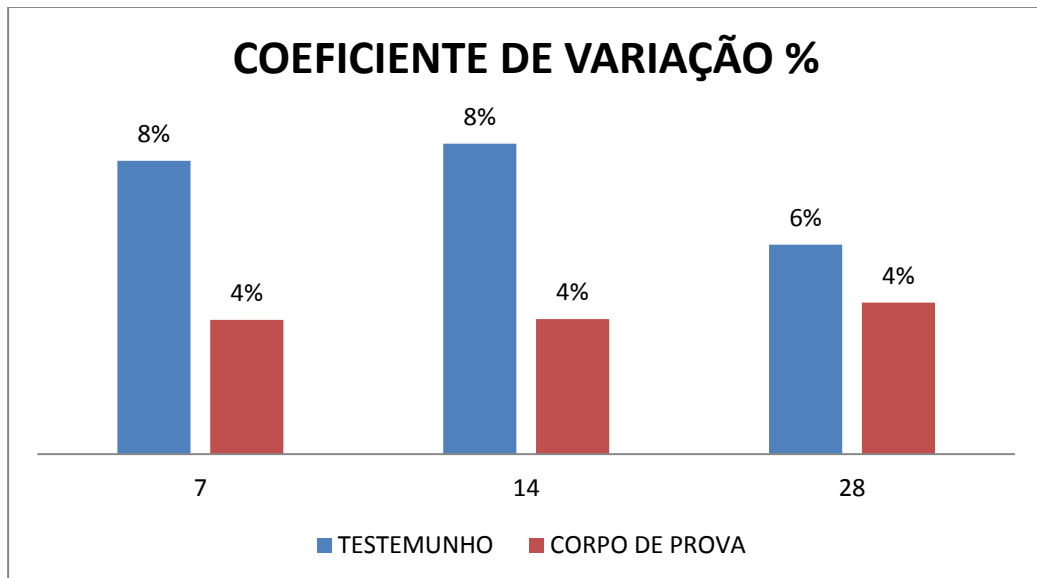


Gráfico 5.6: Coeficiente de Variação das amostras de 25 MPa. (Testemunhos e corpos de provas moldados).

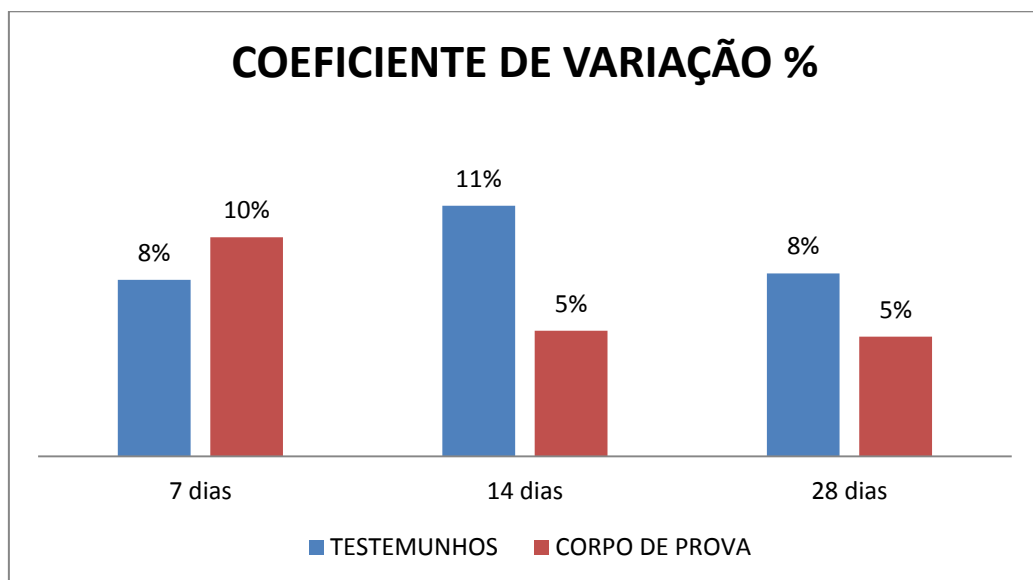


Gráfico 5.7: Coeficiente de Variação das amostras de 20 MPa. (Testemunhos e corpos de provas moldados)

Os gráficos 5.6 e 5.7 referentes ao coeficiente de variação apresentam valores mais elevados nos primeiros 7 dias em ambas amostras, tendo uma redução significativa na variabilidade aos 28 dias, demonstrando uma uniformidade com o aumento de resistência dividido a idade.

Tabela 5.2: Comparativo entre normas para eventual aceitação da resistência efetiva do concreto (Testemunhos) de 25 MPa.

Norma/ Procedimento	Resistência Média em (MPa) (antes da correção)	Resistência em (MPa) (depois da correção)	Situação f_{ck} de projeto
ABNT NBR 7680-1:2015	20,80	20,60	Não atende
Normativa Alconpat	20,80	25,51	Atende
Método Simplificado ACI 318 Média dos 3 valores superar $0,85 \cdot f_{ck}$ e qualquer valor individual superar $0,75 \cdot f_{ck}$.	$0,85 \cdot 25 = 21,25$ $0,75 \cdot 25 = 18,75$	\bar{X} de 3 valores = 22,20 19,56	Atende
ACI 214.4R-10	20,80	27,25	Atende

Tabela 5.3: Comparativo entre normas para eventual aceitação da resistência efetiva do concreto (Testemunhos) de 20 MPa.

Norma/ Procedimento	Resistência Média em (MPa) (antes da correção)	Resistência em (MPa) (depois da correção)	Situação f_{ck} de projeto
ABNT NBR 7680-1:2015	16,78	16,61	Não atende
Normativa Alconpat	16,78	20,58	Atende
Método Simplificado ACI 318 Média dos 3 valores superar $0,85 \cdot f_{ck}$ e qualquer valor individual superar $0,75 \cdot f_{ck}$.	$0,85 \cdot 20 = 17$ $0,75 \cdot 20 = 15$	\bar{X} de 3 valores = 17,40 16,72	Atende
ACI 214.4R-10	16,78	23,67	Atende

As tabelas 5.2 e 5.3 foram elaboradas com base na resistência à compressão axial e adotando-se os fatores de correção estipulados e dentro dos limites das normas. Os resultados apresentados são meramente indicativos com base em valores médios sendo, portanto, um indicativo da resistência média aplicada a estrutura.

6 CONCLUSÕES

6.1 INTERPRETAÇÃO E CONCLUSÕES DOS RESULTADOS:

A partir dos resultados apresentados, concluímos que as resistências dos corpos de provas refletem características de um concreto com bom desempenho à compressão axial, contudo os testemunhos que foram extraídos da estrutura com o mesmo concreto e sob certas circunstâncias com as mesmas propriedades em nem um dos lotes examinados atingiram a resistência do f_{ck} de projeto.

As resistências dos corpos de prova moldados com o concreto classe C25 atingiram uma resistência média de 38,35 MPa aos 28 dias, estando acima do f_{ck} de projeto de 25 MPa esperado, já os testemunhos extraídos atingiram uma resistência média de 20,80 MPa aos 28 dias, ficando abaixo 17,6% da resistência esperada de 25 (MPa).

Da mesma forma as resistências dos corpos de provas moldados com o concreto classe C20 atingiram a resistência média de 32,94 MPa aos 28 dias, ficando acima do f_{ck} de projeto, contudo os testemunhos extraídos atingiram uma resistência média de 16,68 MPa aos 28 dias, estando 16,60% abaixo da resistência esperada de projeto de 20 MPa.

A respeito dos valores acima mencionados nesta pesquisa em torno de 17% de redução da resistência em lajes a partir de testemunhos, vale salientar que na mesma linha de pesquisa Cremonini (1994), que encontrou uma redução de cerca de 20%, da resistência à compressão no concreto aplicado em lajes, evidenciando uma equivalência dos resultados.

Corrigindo os valores segundo a normatização vigente da ABNT NBR 7680-1:2015 os valores das resistências dos testemunhos do concreto C 25 e C 20 apresentaram uma redução de cerca 1% em ambos os casos, após a correção com 20,60 e 16,51 MPa, respectivamente. Contudo, corrigindo os valores dos testemunhos extraídos seguindo os parâmetros de normas internacionais como a ACI 214.4R-10 os valores do concreto C 25 e C 20 são facilmente alcançados em 27,25 e 23,67 MPa respectivamente, isso se deve principalmente a adoção de fatores de correção que se sobressaem a normatização nacional.

Diante do exposto, os autores compreendem que somente com avanços no campo de pesquisas e mudanças na normatização vigente, em especial a norma ABNT NBR

7680-1:2015, poderíamos deixá-la em igual nível as demais normas internacionais. A interpretação de resultados baseados em normas conservadoras pode de alguma maneira penalizar o construtor ou introduzir questionamentos quanto a real situação de margem de segurança atribuídos a estrutura.

6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS:

De modo geral a investigação de estruturas acabadas busca sanar as dúvidas atribuídas à resistência do concreto, por meio de ensaios à compressão em testemunhos, que apresentam em sua totalidade deficiências do processo construtivo não se assimilando aos corpos de prova padronizados. Diante do exposto compreendemos que a resistência efetiva do concreto aplicado em estruturas e analisados a partir de testemunhos não deve ser utilizada como parâmetro para a definição da resistência real, devido à interferência de diversos fatores de correção e interpretação das respostas, que podem causar equívocos irreparáveis.

Vale salientar que no caso dos testemunhos do concreto C20 que foram rompidos aos 28 dias, como foi utilizado o cimento CP II F-40, espera-se um acréscimo de aproximadamente 25% aos 91 dias conforme tabela 3.1 de ganhos de resistência em função da relação A/C, ou seja, todas as amostras tendem a atingir o f_{ck} de projeto de 20 MPa. Já os testemunhos extraídos das lajes com concreto C25 que tem em sua composição o cimento CP V ARI, tendem a acumular ganhos aos 91 dias cerca de 9% se comparado a sua resistência aos 28 dias, ficando abaixo do f_{ck} de projeto.

Com base nestas considerações é aconselhável, portanto, que na adoção e escolha do tipo de cimento para a confecção do concreto, que se leve em conta o custo e benefício, já que o concreto preparado com o cimento CP II F-40 apresenta melhores resultados no ganho de resistência, se comparado com o CP V, com base na tabela de ganhos de eficiência do concreto em função do a/c em até 91 dias.

Recomendamos ainda que se abra novos debates a respeito do texto da ABNT NBR 7680-1:2015, afim de assegurar melhorias e modificações na estrutura da norma, inserindo os fatores de correção e incentivando mais pesquisas na área de investigação de estruturas acabadas.

REFERÊNCIAS

NEVILLE, A. M. e BROOKS, J.J. (2013). Tecnologia do Concreto: Porto Alegre, RS: Bookman, 2013; 2ª Edição. vol. único, 448 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos.— Procedimento,NBR 5739 Rio de Janeiro, 2015, 9 páginas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – Concreto, NBR NM 67, Rio de Janeiro, 1998, 8 páginas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994, 3 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto— Procedimento. NBR 7680.Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015, 9 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, NBR 12655. Rio de Janeiro, 2015, 29 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014. 238 páginas.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015, 9 páginas.

CREMONINI, R. A. Análise de estruturas acabadas: contribuição para a determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto. 1994. 195p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FUSCO, P. B. Resistência do concreto: Avaliação da Resistência do Concreto. São Paulo. 2009. Notas de aulas, 24 p. PPC-EP-USP, Escola Politécnica de São Paulo.

FUSCO, P. B. Tecnologia do Concreto Estrutural: Tópicos Aplicados. São Paulo - SP; editora PINI; julho de 2008; 1º edição. 184p.

HELENE, Paulo et al. Análise crítica do novo texto da ABNT 7680-1:2015.57º Congresso Brasileiro do concreto, IBRACON; Bonito - MS. (2015) Volume I: p. 3 – 13.

HELENE, Paulo. e TERZIAN, Paulo. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. 1º edição, São Paulo – SP, editora PINI, abril de 1993. 349 p.

HELENE, Paulo e PACHECO, Jéssika. (2013). *Controle da Resistência do Concreto*. Mérida- México. Boletim Técnico. 20 páginas. ALCONPAT,

HELENE, Paulo e JUNIOR, José Gonçalves. *Segurança de Estruturas Existentes: Extração e análise de testemunhos de estruturas de concreto*. São Paulo. 2015. Normativa ALCONPAT, 19 páginas.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa, Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2005, 2 v, 1600 p.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). *Concreto: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2010. 1v. p. 906 – 944.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). *Concreto: Ciência e tecnologia. Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração*. São Paulo: IBRACON, 2011. 1v p. 1 – 41.

VIEIRA FILHO, José Orlando. (2007). Avaliação da resistência à compressão do concreto através de testemunhos extraídos: contribuição à estimativa do coeficiente de correção devido aos efeitos de bloqueamento. Tese de Doutorado, 440 p. PPC-EP-USP, Escola Politécnica de São Paulo.

Apêndices

A – QUADRO DE RESISTÊNCIAS DOS CORPOS DE PROVA 25 MPa:

	RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVAS MOLDADOS 25 MPa		
(TORRE A) 2° PAVIMENTO	25/11/2016	02/12/2016	16/12/2016
AMOSTRA 1	34,57	35,09	35,83
AMOSTRA 2	35,17	36,82	37,24
(TORRE B) 2° PAVIMENTO	28/11/2016	05/12/2016	19/12/2016
AMOSTRA 1	32,71	36,63	38,55
AMOSTRA 2	36,10	38,32	38,89
(TORRE Y) 3° PAVIMENTO	30/11/2016	07/12/2016	21/12/2016
AMOSTRA 1	35,47	36,70	37,73
AMOSTRA 2	36,20	38,46	39,27
(TORRE Z) 3° PAVIMENTO	13/01/2017	20/01/2017	03/02/2017
AMOSTRA 1	35,47	35,47	39,59
AMOSTRA 2	34,60	36,72	36,47
(TORRE C) 3° PAVIMENTO	13/01/2017	20/01/2017	03/02/2017
AMOSTRA 1	32,97	34,97	38,84
AMOSTRA 2	33,47	34,72	41,09
MÉDIA	34,67	36,39	38,35
VARIÂNCIA	1,41	1,58	2,20
DESV. PADRÃO	1,25	1,32	1,56
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	4%	4%	4%

B – QUADRO DE RESISTÊNCIAS DOS TESTEMUNHOS DE 25 MPa:

	RESISTÊNCIA DOS TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS 25 MPa		
(TORRE A) 3° PAVIMENTO	25/11/2017	25/11/2017	09/12/2017
AMOSTRA 1	17,36	17,94	19,94
AMOSTRA 2	17,63	18,85	19,63
(TORRE B) 3° PAVIMENTO	28/11/2017	28/11/2017	12/12/2017
AMOSTRA 1	18,47	21,29	22,36
AMOSTRA 2	19,45	20,81	21,98
(TORRE Y) 3° PAVIMENTO	30/11/2017	30/11/2017	14/12/2017
AMOSTRA 1	16,68	16,23	22,27
AMOSTRA 2	15,41	17,83	20,98
(TORRE Z) 3° PAVIMENTO	13/01/2017	13/01/2017	27/01/2017
AMOSTRA 1	14,83	18,39	21,18
AMOSTRA 2	16,59	16,88	20,36
(TORRE C) 3° PAVIMENTO	13/01/2017	13/01/2017	27/01/2017
AMOSTRA 1	17,23	18,12	18,79
AMOSTRA 2	16,50	18,39	20,50
MÉDIA	17,02	18,47	20,80
VARIÂNCIA	1,65	2,20	1,26
DESV. PADRÃO	1,35	1,56	1,18
COEFICIENTE DE VARIÇÃO	8%	8%	6%

C – QUADRO DE RESISTÊNCIAS DOS CORPOS DE PROVA 20 MPa:

	RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVAS MOLDADOS 20 MPa		
(TORRE f) 2° PAVIMENTO	15/09/2017	22/09/2017	06/10/2017
AMOSTRA 1	13,21	26,74	32,06
AMOSTRA 2	12,12	26,89	32,81
(TORRE j) 1° PAVIMENTO	15/09/2017	22/09/2017	06/10/2017
AMOSTRA 1	14,58	29,56	35,06
AMOSTRA 2	14,58	25,07	33,81
(TORRE k) 1° PAVIMENTO	15/09/2017	22/09/2017	06/10/2017
AMOSTRA 1	15,83	24,57	34,56
AMOSTRA 2	17,07	24,94	33,94
(TORRE l) 1° PAVIMENTO	19/09/2017	26/09/2017	10/10/2017
AMOSTRA 1	13,33	25,82	32,81
AMOSTRA 2	14,58	26,69	34,01
(TORRE m) 1° PAVIMENTO	19/09/2017	26/09/2017	10/10/2017
AMOSTRA 1	14,19	27,07	30,81
AMOSTRA 2	14,58	25,82	29,56
MÉDIA	14,41	26,32	32,94
VARIÂNCIA	1,71	1,87	2,68
DESV. PADRÃO	1,38	1,44	1,73
COEFICIENTE DE VARIÇÃO	10%	5%	5%

D – QUADRO DE RESISTÊNCIAS DOS TESTEMUNHOS DE 20 MPa:

	RESISTÊNCIA DOS TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS 20 MPa		
(TORRE f) 2° PAVIMENTO	15/09/2017	22/09/2017	06/10/2017
AMOSTRA 1	10,04	13,06	15,45
AMOSTRA 2	10,81	15,08	18,16
(TORRE j) 1° PAVIMENTO	15/09/2017	22/09/2017	06/10/2017
AMOSTRA 1	9,90	10,41	17,32
AMOSTRA 2	8,64	11,75	19,47
(TORRE k) 1° PAVIMENTO	15/09/2017	22/09/2017	06/10/2017
AMOSTRA 1	9,70	11,05	16,72
AMOSTRA 2	11,19	10,93	17,28
(TORRE l) 1° PAVIMENTO	19/09/2017	26/09/2017	10/10/2017
AMOSTRA 1	9,70	12,58	15,01
AMOSTRA 2	10,59	11,78	16,05
(TORRE m) 1° PAVIMENTO	19/09/2017	26/09/2017	10/10/2017
AMOSTRA 1	9,26	12,66	16,57
AMOSTRA 2	9,44	12,45	15,72
MÉDIA	9,93	12,18	16,78
VARIÂNCIA	0,53	1,60	1,63
DESV. PADRÃO	0,77	1,33	1,35
COEFICIENTE DE VARIÇÃO	8%	11%	8%

E – QUADRO DE RESISTÊNCIA DOS CORPOS DE PROVAS SUBMETIDOS AO
ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL:

Amostras	C 25	C 20
1	11,05	8,97
2	10,67	7,87
3	9,78	7,58
4	9,75	8,33
5	8,98	7,89
6	7,98	6,99
7	8,89	7,99
8	10,43	8,54
9	8,99	6,98
10	9,34	7,03
11	11,21	7,57
12	10,05	9,01
13	8,95	6,99
14	9,03	7,45
15	9,45	8,15
16	11,75	7,93
17	12,35	8,45
18	11,43	8,93
19	10,67	6,62
20	10,89	6,78