

1 Introdução

O concreto utilizado atualmente para a construção dos mais diversos tipos de estrutura é fruto do trabalho de inúmeros homens, que durante milhares de anos observaram a natureza e buscaram por aperfeiçoar materiais, técnicas, teorias e formas estruturais. Dessa forma, constata-se que a história do concreto não começou no século passado, mas com a própria civilização humana, pois a partir do momento que o homem existe sobre a terra, ele tem a necessidade básica de morar e morar melhor a cada dia, desenvolvendo novas tecnologias para isto.

O moderno concreto armado teve início com a patente do cimento Portland por John Aspdin em 1824. Nesses primeiros anos, mesmo na França e na Inglaterra, que eram as duas nações mais desenvolvidas à época, houve pouca aplicação desse material, destacando-se a patente dos franceses Lambot em 1855 para construir barcos, e Monier em 1877, para construir vasos, ambos de argamassa armada. No fim do século XIX os pesquisadores do quilate de Louis Vicat e René Ferét estudaram esse material. Há de se recordar também que nessa altura da história o material estrutural de construção civil era o aço que havia chegado às mãos dos arquitetos e engenheiros civis há cem anos. Dispondo de um produto industrializado, o cimento Portland, François Hennebique (1841-1921), um construtor francês e auto-didata, desenvolveu e obteve patente para o projeto e construção com base num novo sistema construtivo por ele denominado de “béton armé”.

Há muitos anos o concreto tem sido o material estrutural mais utilizado no Brasil. A necessidade de adaptações tanto econômicas quanto exigências dos usuários, que passaram a contar com o Código de Defesa do Consumidor, como aliado às constantes reclamações, devido às patologias nas estruturas de concreto, fizeram com que alternativas técnicas fossem criadas de forma a solucionar tais obices.

A preocupação mundial com o desenvolvimento sustentável tem imposto restrições ao uso de matérias primas não renováveis. Esse fato tem reflexo importante nas estruturas de concreto, visto que o cimento é composto de materiais não renováveis e que sua produção consome níveis elevados de energia. Além disso os agregados empregados no concreto são também materiais não renováveis, o que tem levado o mundo à produção e ao uso mais racional do concreto, que passa pela incorporação de materiais alternativos na fabricação do cimento e do concreto propriamente dito.

O aumento da durabilidade (vida útil) das estruturas de concreto é outro ponto de grande impacto quando se trata de desenvolvimento sustentável. Essa consciência vem motivando alterações normativas com destaque para os procedimentos estabelecidos pela NBR 6118:2007 – Projetos de Estruturas de Concreto. Essa norma destaca os aspectos de durabilidade do concreto, e especifica valores mínimos de resistência à compressão e máximos para a relação água/cimento com base nas condições climáticas de exposição da estrutura e da agressividade do meio no qual ela se encontra, conforme indicado nas Tabelas 1.1 e 1.2.

Tabela 1.1 – Classes de agressividade ambiental.

Macro-clima	Micro-clima			
	Interior das edificações		Exterior das edificações	
	Seco UR < 65%	Úmido ou Ciclos de molhagem e secagem	Seco UR < 65%	Úmido ou Ciclos de molhagem e secagem
Rural	I	I	I	II
Urbana	I	II	I	II
Marinha	II	III	----	III
Industrial	II	III ou IV	II	III
Especial	II	----	----	III ou IV
Respingos de maré	----	----	----	IV
Submersa > 3m	----	----	----	I
Solo	----	----	Não agressivo I	Úmido e agressivo: II, III ou IV

Fonte: Adaptado da NBR 6118:2007.

Tabela 1.2 – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe do concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Onde: CA: Componentes e elementos estruturais de concreto armado.

CP: Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Adaptado da NBR 6118:2007.

Conforme VIEIRA FILHO (2007) “no nosso país, as construções comerciais, os prédios públicos e os edifícios residenciais, tanto os antigos, quanto os mais recentes, a exemplo das estruturas de concreto de grande porte, construídas nos últimos vinte anos, nas principais cidades brasileiras, com frequência acima de 30 pavimentos, constituem-se em patrimônio social a ser convenientemente conservado. Igualmente, obras componentes do patrimônio histórico-cultural e dos sistemas de infra-estrutura: energética, de saneamento básico, rodo ferroviária, portuária e aeroportuária, necessitam, periodicamente de intervenções adequadas em suas estruturas de concreto. Dentro da etapa de

avaliação estrutural, que precede a essas intervenções, a estimativa da resistência do concreto, é, na maioria dos casos, parâmetro fundamental para a tomada de decisões”.

O desempenho das estruturas de concreto armado depende, entretanto, tanto da qualidade obtida na fase de concepção estrutural, quanto na de execução propriamente dita. Os avanços obtidos na Engenharia de Estruturas com o emprego maciço de ferramentas computacionais têm permitido aos engenheiros projetar estruturas mais esbeltas e com maior arrojo arquitetônico, fato este favorecido pela facilidade de adequação plástica associada ao material, com ganhos funcionais e econômicos ao processo.

Os construtores visando otimizar a execução da obra, buscam constantemente o melhor aproveitamento de seus recursos, assim como a redução dos prazos estabelecidos. Isso faz com que as estruturas sejam submetidas a carregamento cada vez maiores em idades cada vez menores.

Visto nesses últimos anos que a recente captação de recursos pelas incorporadoras e construtoras na Bolsa de Valores através dos IPO gerou R\$ 13,5 bilhões, abrindo uma possibilidade de investimentos como não se viu antes na história do capital imobiliário brasileiro. Esse cenário traz a importância de um estudo mais criterioso acerca dos materiais constituintes do concreto, fatores preponderantes para resistência e a durabilidade do concreto.

Por meio desse avanço do país, tanto por parte das empresas de serviços de concretagem (denominadas concreteiras), como por parte das construtoras e dos projetistas das estruturas, observa-se enorme preocupação com a qualidade do concreto fornecido, pois essa qualidade interfere diretamente na segurança e durabilidade da estrutura.

Em função da ordem de grandeza das diferenças encontradas entre a resistência especificada em projeto ($f_{ck,especificada}$) e a resistência estimada ($f_{ck,estimada}$), obtida dos ensaios, as empresas construtoras, que em primeira instância são as responsáveis pela qualidade da estrutura, deparam-se com a questão de como fazer para que, nesse caso, a estrutura apresente confiabilidade semelhante à admitida pelas premissas do projeto estrutural.

1.1. Justificativa

O grande crescimento experimentado pelo setor imobiliário no Brasil desde 2004 foi baseado na estabilidade da economia, na redução contínua das taxas de juros, na mudança do ambiente regulatório, no crescimento da renda das famílias, no índice de confiança do consumidor e na abundante disponibilidade de crédito tanto à construção quanto ao cliente final. E nesse cenário próspero, a indústria alcançou seu mais baixo índice histórico de estoque. A mão-de-obra utilizada é intensiva em uma parcela da população de menor qualificação. É um setor complexo, que congrega atividades diretas (edificações e infra-estrutura) e indiretas (fornecedores de insumos industriais).

Com a entrada em vigor das NBR 14931 (2003) – “Execução de estruturas de concreto – Procedimento” e NBR 12655 (2006) – “Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento”, a especificação do concreto para as obras de construção civil passou a apresentar um incentivo para o desenvolvimento tecnológico do produto.

Os ensaios que se realizam com corpos-de-prova moldados sob condições padronizadas, por diversas normas no mundo, com o concreto ao sair da betoneira, fornecem uma avaliação potencial desse concreto. O juízo de aceitação ou rejeição se estabelece com base nos resultados desses ensaios, os quais não refletem necessariamente a qualidade final do concreto na estrutura, influenciada pelas diversas etapas do processo de produção quais sejam: mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

Segundo ABREU *et al.* (2004), o crescente desenvolvimento da indústria cimenteira, no Brasil, aliado à busca pela competitividade que se instalou no mercado, tem feito com que os produtores se empenhem no atendimento das necessidades da engenharia, nos seus vários segmentos e nas diversas aplicações do produto, de acordo com suas peculiaridades de utilização e requisitos de desempenho.

Conceder ou definir padrões que garantam o desempenho estrutural do concreto no que diz respeito às suas propriedades mecânicas e à sua durabilidade, não é, de modo algum, tarefa fácil. A heterogeneidade dos materiais empregados e as dificuldades de manter uma uniformidade de

processamento da mistura, fato este agravado quando o mesmo é manufaturado no canteiro de obras, corroboram a complexidade do processo de formação da estrutura de concreto.

METHA e MONTEIRO (1994) chamam a atenção para a distribuição heterogênea de muitos componentes sólidos do concreto, assim como vazios de várias formas e tamanhos que podem estar completa ou parcialmente cheios de solução alcalina, parâmetros esses que afetam diretamente as propriedades do concreto.

Por fim, o conhecimento das propriedades dos diferentes agregados e dos cimentos disponíveis no mercado é necessário para que se possam produzir concretos com a qualidade desejada, resultando em ganhos no ciclo de vida útil das estruturas e dos pavimentos com eles produzidos.

1.2.Objetivo

Segundo VERGARA (2003), “se um problema é uma questão de investigar, objetivo é um resultado a alcançar”. O objetivo final, se alcançado, dá respaldo ao problema e os intermediários são metas que devem ser construídas para chegar ao objetivo final.

1.2.1.Objetivo Final

O objetivo final deste trabalho é desenvolver um estudo correlacionando os resultados obtidos da resistência à compressão do concreto das obras, tomando por base algumas variáveis consideradas na literatura sobre a influência dos agregados, do cimento e dos processos de produção até o produto final.

1.2.2. Objetivos Intermediários

- Analisar a macro e microestrutura de concretos dosados com cimento Portland.
- Verificar os fatores que influenciam a resistência do concreto.
- Quantificar a diferença entre as resistências à compressão de corpos-de-prova moldados e de testemunhos extraídos.
- Verificar as diferenças encontradas entre a resistência especificada em projeto ($f_{ck,especificada}$) e a resistência estimada ($f_{ck,estimada}$).

1.3.Relevância do Estudo

A apreciação promovida trará uma grande oportunidade em poder desenvolver e aprofundar os conhecimentos a respeito deste tema, propiciando o estabelecimento de vantagens competitivas, em especial para a produção de concretos com maior qualidade.

Acreditamos que este estudo venha servir como fonte de consulta e motivação para trabalhos futuros, pois esperamos conseguir contribuir para o conhecimento dos motivos que estão levando a baixa resistência à compressão de concretos bombeados e industrializados.