

ANTÔNIO CLÁUDIO ANDRADE BRUM
EDUARDO ALMEIDA VENEROSO
EDUARDO TADEU POSSAS VAZ DE MELLO
LAÍS EMANUELE SOUZA
LUCAS ZAPPES TOLEDO COUTINHO

**CONTROLE E TECNOLOGIA DO CONCRETO EM PERÍCIAS DE
ENGENHARIA – ESTUDO DE CASO COM VERIFICAÇÃO DE
CONFORMIDADE DO CONCRETO**

Trabalho de Perícia

Goiânia/GO
2021

**XXI COBREAP- CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E
PERÍCIAS - IBAPE/GO**

**CONTROLE E TECNOLOGIA DO CONCRETO EM PERÍCIAS DE ENGENHARIA –
ESTUDO DE CASO COM VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE DO CONCRETO**

RESUMO

O concreto é o segundo material mais utilizado no planeta, perdendo apenas para a água, e o seu uso em grande escala é proveniente em maior parte pelas empresas de serviços de concretagem. Utilizando-se o concreto torna-se necessário realizar o controle tecnológico e a verificação de aceite/rejeição. Vários fatores podem contribuir para a ocorrência de um concreto não conforme e que não atenda aos requisitos e *fck* exigidos em projeto, podendo ocorrer falhas desde as usinas dosadoras até o laboratório que realiza os ensaios. Atualmente há um grande leque de ensaios que englobam a tecnologia do concreto, existindo ensaios destrutivos e não destrutivos, que nos permitem e dão subsídios para atestar se um concreto atende aos requisitos procurados ou não. Nas perícias de engenharia um perito pode se destacar tendo conhecimento do controle tecnológico, das diversas normas existentes para o concreto, e dos ensaios laboratoriais. Empregando-se essas ferramentas as perícias serão assim devidamente fundamentadas conforme estipulado pela ABNT NBR 13752/96 – Perícias de Engenharia na Construção Civil.

Palavras-chave: Concreto; Controle tecnológico; Perícias de engenharia.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais construtivos mais disseminados no mercado. Pode-se perceber o uso do concreto em casas, rodovias, pontes, aeroportos, obras de saneamento, entre outras obras, percebendo-se que o concreto está em praticamente todo lugar (IBRACON, 2009).

Sendo o concreto um material utilizado em larga escala pela indústria da construção civil, torna-se essencial a realização do seu controle tecnológico, para que o mesmo seja utilizado conforme especificações de normas técnicas e alcance requisitos exigidos em projetos.

No presente artigo, trazemos um estudo de caso, onde as partes envolvidas são uma empreiteira – responsável pela execução de uma obra (autora) e uma empresa de serviços de concretagem (ré). A autora emitiu uma ordem de compra para a ré, referente ao fornecimento de concreto usinado, o qual seria utilizado na execução da fundação de uma torre metálica de antena de celular, que seria instalada em uma cidade no interior de Minas Gerais.

As partes não chegaram a um consenso devido a existência de possíveis problemas no fornecimento do concreto para as obras, sendo esse o objeto da lide. Foi pedido nos autos uma perícia de engenharia para verificar se o concreto fornecido pela concreteira (ré) atingiu a resistência característica à compressão do concreto (*fck*) solicitado pela empreiteira (autora).

Para a realização dessa perícia foram realizadas pesquisas bibliográficas, vistoria e ensaios laboratoriais.

2 OBJETIVOS

- A) Realizar uma perícia bem fundamentada conforme estipulado pela ABNT NBR 13752/96 – Perícias de Engenharia na Construção Civil, para verificar se o concreto fornecido pela concreteira (ré) atendia as especificações do pedido da empreiteira (autora) e a metodologias que possibilitem averiguar se o concreto fornecido alcançou os requisitos exigidos em projeto;

3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3.1 Concreto

O concreto é um material composto basicamente por água, cimento, agregado miúdo e agregado graúdo, podendo conter ou não aditivos que alteram suas propriedades (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

O motivo do concreto ser amplamente empregado em construções dos mais diversos tipos, é que ele é uma pedra artificial que se molda de acordo com a vontade do homem (IBRACON, 2009).

Duas propriedades do concreto que o destacam como material construtivo são: sua resistência à água – diferentemente do aço e da madeira, o concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água – e sua plasticidade – que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como se vê nas obras arquitetônicas de Niemayer. Mas existem outras vantagens: a disponibilidade abundante de seus elementos constituintes e seus baixos custos (IBRACON, 2009).

3.1.1 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto é um procedimento no qual são escolhidos os materiais (cimento, agregados, aditivos e adições) e as quantidades adequadas de cada um deles, para se obter um produto final que atenda a determinados requisitos físicos, químicos e mecânicos, ao menor custo possível (RECENA, 2015).

Simplificadamente, os vários procedimentos podem ser agrupados em métodos experimentais e métodos empíricos. O primeiro grupo associa aqueles métodos que pressupõem a experiência específica, realizada com materiais definidos, vinculando a precisão dos resultados ao emprego dos materiais previamente escolhidos. O outro grupo parte de simplificações, adotando valores médios para as características dos agregados e do cimento. A relação água/cimento e outras características do concreto são valores tabelados ou retirados de curvas aproximadas obtidas da experiência acumulada ao longo do tempo por um profissional, uma instituição ou um laboratório (RECENA, 2015).

Um dos métodos experimentais mais difundidos no Brasil é o ABCP/ACI. Neste método calcula-se primeiramente a resistência de dosagem segundo a fórmula da ABNT NBR 12655 (2015):

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \times s_d$$

Onde:

- a) f_{cmj} : é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (Mpa);
- b) f_{ckj} : é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (Mpa);
- c) sd : é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

O desvio padrão deve ser escolhido em função da condição de preparo do concreto e a ABNT NBR 12655 (2015) delimita estas três condições como:

- d) condição A (aplicável a todas as classes de concreto): o cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados;
- e) condição B (pode ser aplicada às classes C10 a C20): o cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume;
- f) condição C (pode ser aplicada apenas aos concretos de classe C10 e C15): o cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR NM 67 ou outro método normalizado.

O desvio padrão de cada condição pode ser observado na tabela 01.

Tabela 01 – Desvio-padrão em função da condição de preparo

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão (Mpa)
A	4,0
B	5,5
C	7,0

Fonte: ABNT NBR 12655, 2015, p.17

Após estabelecer a condição e ser realizado o cálculo de resistência de dosagem do concreto, realiza-se a fixação da relação A/C por meio da curva de Abrams. Nessa curva obtém-se um valor da relação A/C que é determinada por meio do tipo de cimento e da resistência de dosagem do concreto calculada.

A determinação do consumo de água é realizada de acordo com a relação de um abatimento previamente estabelecido e a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Após determinar o consumo de cimento, deve-se determinar o consumo de agregado graúdo, para isso é necessário determinar o volume compactado seco de agregado graúdo (VC). Obtém-se este através da relação do módulo de finura do agregado miúdo pela dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Encontrado o consumo de agregado graúdo, faz-se a determinação do agregado miúdo, que é realizada por meio de uma equação, em que se iguala o somatório dos volumes dos materiais com o volume de um metro cúbico de concreto. Com o valor da massa específica de todos materiais, consegue-se realizar o cálculo do consumo de agregado miúdo.

Após encontrar todas as quantidades de materiais necessários, é feita a apresentação do traço em massa, calculado em função das relações dos diversos componentes em relação à massa de cimento.

3.1.2 Propriedades do concreto fresco

O concreto fresco é constituído por agregados miúdos e graúdos envolvidos por uma pasta, esta é composta por água e grãos de cimento. As propriedades do concreto fresco é que vão assegurar que ele seja fácil de transportar, de lançar e de adensar, influenciando diretamente nas propriedades do concreto endurecido (BAUER, 1985).

As principais propriedades do concreto fresco são: consistência, textura, trabalhabilidade, integridade da massa (oposto de segregação), o poder de retenção de água (oposto da exsudação) e a massa específica. Porém, estas quatro primeiras propriedades citadas muitas vezes são englobadas pelo termo trabalhabilidade (PETRUCCI, 1978).

3.1.2.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é definida como a quantidade de trabalho interno útil necessário à obtenção do adensamento total do concreto (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Ela é a propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor aptidão para ser empregado com determinada finalidade, sem perda de sua homogeneidade (PETRUCCI, 1978). Como o conceito de trabalhabilidade é subjetivo, um concreto pode estar apto para um determinado uso, mas impróprio para outro.

E para se medir a trabalhabilidade, usam-se os processos que se baseiam em duas proposições, que são: ela é medida pela deformação que uma massa de concreto fresco sofre a ação de uma força pré-determinada e que também pode ser medida pelo esforço necessário para gerar uma deformação pré-estabelecida em uma massa de concreto fresco (PETRUCCI, 1978).

O ensaio mais utilizado para verificar a trabalhabilidade do concreto é o ensaio de abatimento de tronco de cone, conhecido também como *slump test*, que

no Brasil é normatizado pela ABNT NBR 16889 (2020). Os materiais necessários à execução do ensaio são: um molde cônico (com o diâmetro da base inferior de 200 mm, com diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm) (figura 1), uma haste de compactação e uma placa base (ABNT NBR 16889, 2020).

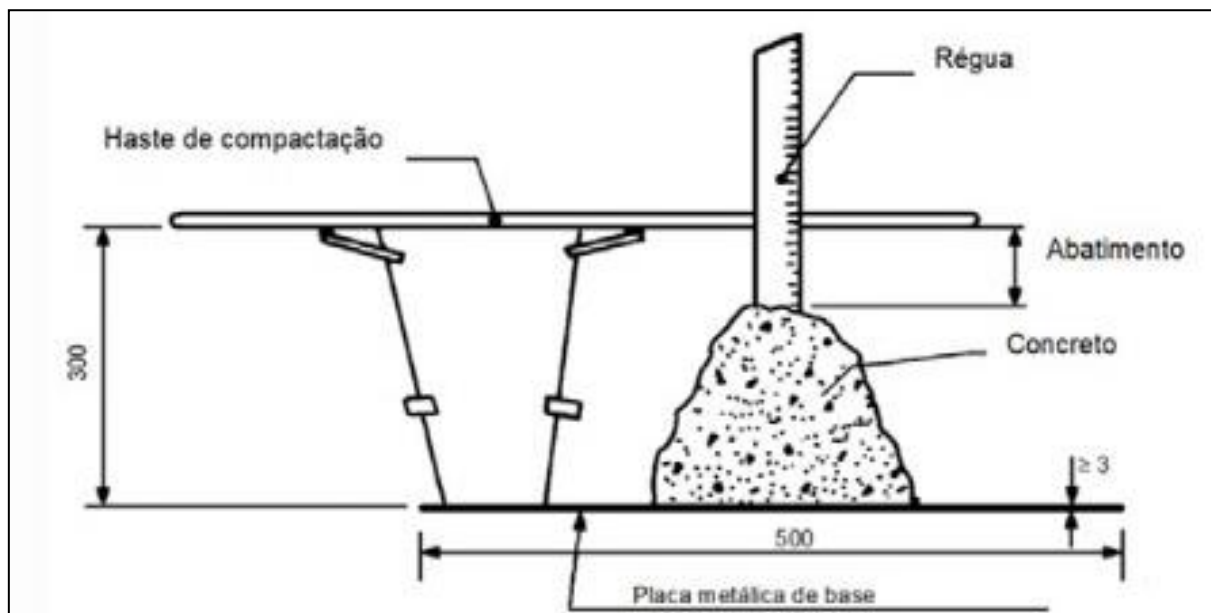


Figura 01 – Medida do abatimento. Fonte: ABNT NBR 16889 (2020)

3.1.2.2 Coesão e segregação

Segundo GEYER e SÁ (2006) um concreto coeso é aquele que se apresenta homogêneo e sem separação de materiais da mistura em todas as fases de sua utilização.

As principais causas da segregação no concreto são a diferença entre as dimensões das partículas e a diferença de massa específica dos constituintes da mistura, mas estes problemas podem ser solucionados pela escolha de granulometrias corretas e cuidados no manuseio (NEVILLE; BROOKS, 2013).

GEYER e SÁ (2006) afirmam que existem dois tipos de segregação. A primeira ocorre quando as partículas de maiores dimensões deslizam em superfícies inclinadas ou se assentam mais que as partículas mais finas, se separando do resto do concreto, este tipo de segregação ocorre mais frequentemente em misturas mais secas. A segunda forma é manifestada pela separação da pasta (cimento e água) da mistura, este tipo ocorre principalmente em misturas com excesso de água e é também chamada de exsudação.

Ela pode ser reduzida se tomado os devidos cuidados com a granulometria dos agregados utilizados, com o tipo de transporte e lançamento, além de não adensar o concreto excessivamente, pois com isso as partículas maiores vão para o fundo da fôrma e a pasta de cimento vai para cima, além disso, pode-se usar um aditivo incorporador de ar, que reduz o risco de segregação (NEVILLE; BROOKS, 2013).

3.1.2.3 Exsudação

A exsudação é uma forma de segregação em que parte da água da mistura tende a migrar para superfície do concreto recém-lançado (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Isso ocorre devido ao grau de finura do cimento, quanto mais fino menor será a exsudação (separação da água de amansamento dos concretos, devido a sua diferença de densidade em relação ao cimento) (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2013).

Com a água migrando para a superfície, nela se cria uma camada muito úmida, o que tende a torná-la mais fraca e mais porosa, deixando-a sujeita à desintegração pela percolação da água. Além disso, a transposição da água no concreto para a camada da superfície, pode levar partículas de cimento formando assim a chamada nata (PETRUCCI, 1978).

Isto impede a formação de novas camadas de material e esta nata deve ser removida cuidadosamente. Essa nata pode ser formada também em volta das armaduras metálicas diminuindo sua aderência (PETRUCCI, 1978).

A exsudação pode ser controlada pela escolha de um traço adequado, com misturas ricas, evitando excesso de água, também pode-se usar cimentos mais finos, fazer a adição e pozolanas ou pó de alumínio ou aditivos incorporadores de ar (NEVILLE; BROOKS, 2013).

3.1.3 Propriedades do concreto endurecido

No concreto endurecido, as características mais importantes são as mecânicas, como as resistências a compressão e tração do concreto, além de massa específica e permeabilidade e absorção.

Segundo a ABNT NBR 8953 (2015), o concreto pode ser dividido segundo sua massa específica em concreto normal, concreto leve e concreto denso.

- a) Concreto normal: aquele que tem sua massa específica seca compreendida entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 ;
- b) Concreto leve: aquele que tem sua massa específica seca inferior a 2000 kg/m^3 ;
- c) Concreto denso: aquele que tem sua massa específica seca superior a 2800 kg/m^3 .

O concreto é um material que, por sua própria constituição, é necessariamente poroso, pois não é possível preencher a totalidade dos vazios do agregado com uma pasta de cimento” (PETRUCCI, 1978).

BRANDÃO (1999) apud ROQUE, MORENO (2005, p. 8) “indica que a permeabilidade e a capacidade de absorção são as propriedades do concreto diretamente relacionadas com a resistência ao ataque químico da pasta de cimento”.

A durabilidade do concreto é essencialmente condicionada por essas duas propriedades, ambas diretamente influenciadas pela porosidade. Todos os fatores que afetam a porosidade do concreto interferem também na sua permeabilidade e capacidade de absorção e, portanto, na sua resistência ao ataque químico. Dentre estes fatores, destacam-se: relação água/cimento; quantidade, composição e finura do cimento; aderência entre pasta e o agregado; presença e quantidade de adições e de aditivos; qualidade da execução; etc. (ROQUE; MORENO, 2005).

3.1.3.1 Resistência à compressão

Um concreto pode ser dosado com base no consumo de cimento desejado, pela relação água/cimento, pela resistência à tração por flexão, porém a característica que o melhor avalia é a resistência à compressão, estando sempre considerada mesmo quando outros aspectos são definidos em especificação (RECENA, 2015).

O concreto é um material que resiste bem aos esforços de compressão, porém mal aos de tração, sendo este equivalente a 10% daquele (PETRUCCI, 1978).

A ABNT NBR 8953 (2015) divide o concreto segundo a sua resistência à compressão em estrutural e não estrutural. Os concretos estruturais são todos aqueles que possuem uma resistência a compressão (f_{ck}) maior do que 20 megapascal (Mpa) e estes ainda são divididos em grupo I e II. No grupo I, estão os concretos que resistem de 20 a 50 Mpa de compressão e no grupo II, os que resistem de 55 a 100 Mpa.

Os concretos não estruturais são os que tem um f_{ck} abaixo de 20 Mpa. Ele é feito geralmente com agregados reciclados, e ele pode ser usado para enchimentos, contra pisos, calçadas, blocos de vedação, meio-fio (guias), sarjeta, canaletas, mourões e placas de muro (ABNT NBR 15116, 2021).

Para medir a resistência à compressão podem ser moldados corpos de prova, seguindo os procedimentos descritos na ABNT NBR 5738 (2015) e ensaiá-los segundo a ABNT NBR 5739 (2018), para se obter a resistência dos mesmos.

A variação normalmente verificada nos resultados de resistência do concreto tem como causa vários fatores que podem atuar de maneira isolada ou conjunta. A medida desta variação fornece uma ideia sobre a qualidade no preparo do concreto, definindo, de forma indireta, a maior ou menor economia, já que maiores variações determinam a necessidade de se trabalhar com uma mais elevada resistência média de controle que, para ser atingida, exige maiores consumos de cimento por conta da necessária redução da relação água/cimento (RECENA, 2015).

São vários os fatores que influenciam na resistência do concreto, como por exemplo a porosidade e o grau de hidratação, porém estes fatores são difíceis de serem determinados. Por isso que, na prática, os fatores verificados são a relação água/cimento, grau de adensamento, idade e temperatura (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo PETRUCCI (1978) e NEVILLE e BROOKS (2013), pressupondo um adensamento total a resistência em uma certa idade e a uma certa temperatura é

inversamente da relação água/cimento. Essa relação é conhecida como Lei de Abrams, que dá origem a curva de Abrams, pela qual se determina a relação água cimento em função da resistência desejada.

De acordo com NEVILLE e BROOKS (2013), em relação à idade, o grau de hidratação aumenta com tempo, resultando assim em um aumento da resistência, conforme pode ser visto na tabela 02.

Tabela 02 – Variação da porcentagem da resistência com o tempo

Tipo de cimento	Porcentagem da resistência em 365 dias, para diferentes idades				
	3	7	28	90	365
Portland comum	38	58	81	90	100
Alta resistência inicial	50	65	83	93	100
Moderada resistência aos sulfatos	35	51	77	93	100
Baixo calor de hidratação	16	28	58	92	100

Fonte: PETRUCCI, 1978, p. 97.

3.1.3.2 Resistência à tração

ALMEIDA (2002) cita que a resistência à tração depende de vários fatores, principalmente da aderência dos grãos dos agregados com a argamassa. De acordo com o método de ensaio obtém-se diferentes valores para a resistência à tração axial, resistência à tração na flexão e resistência à tração por compressão diametral.

Para o estudo da tração existe o ensaio da resistência à compressão diametral regido pela ABNT NBR 7222 (2011) e o ensaio de resistência a tração na flexão, normatizado pela ABNT NBR 12142 (2010).

O Ensaio de tração na compressão diametral regido pela ABNT NBR 7222 (2011) é o ensaio mais comum, devido a simplicidade de ser executado e por ser utilizado o mesmo corpo de prova cilíndrico do ensaio de compressão. Este ensaio é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido por Lobo Carneiro, em 1943. ALMEIDA (2002) observa que a resistência à tração axial é cerca de 80% a 85% menor do que aquela determinada no ensaio de compressão diametral.

Para se determinar a resistência de tração na flexão em corpos de prova de concreto prismáticos, realiza-se o ensaio regido pela ABNT NBR 12142 (2010), onde os corpos de prova de seção quadrada são apoiados em dois cutelos, com a aplicação de duas cargas iguais e simetricamente dispostas em relação ao meio do vão. Esses corpos de prova são moldados segundo a ABNT NBR 5738 (2015). Como a distância dos pontos de carga é 1/3 do vão, o ensaio é qualificado como por “carregamento nos terços” (FREITAS, 2012).

3.1.4 Controle tecnológico do concreto

Na maior parte das obras, o processo de controle colabora para que a resistência estimada seja similar ou superior ao valor especificado. Entretanto, 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 real e efetiva da estrutura (SILVA FILHO & HELENE, 2011).

O controle da resistência à compressão do concreto 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).

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).

A adoção de um controle tecnológico na produção do concreto, desde a dosagem, passando por transporte e a utilização do concreto *in loco* em uma obra requer cuidado e bastante atenção, pois um concreto de qualidade/procedência duvidosa coloca em risco a segurança e a estabilidade da edificação, além de trazer risco aos usuários.

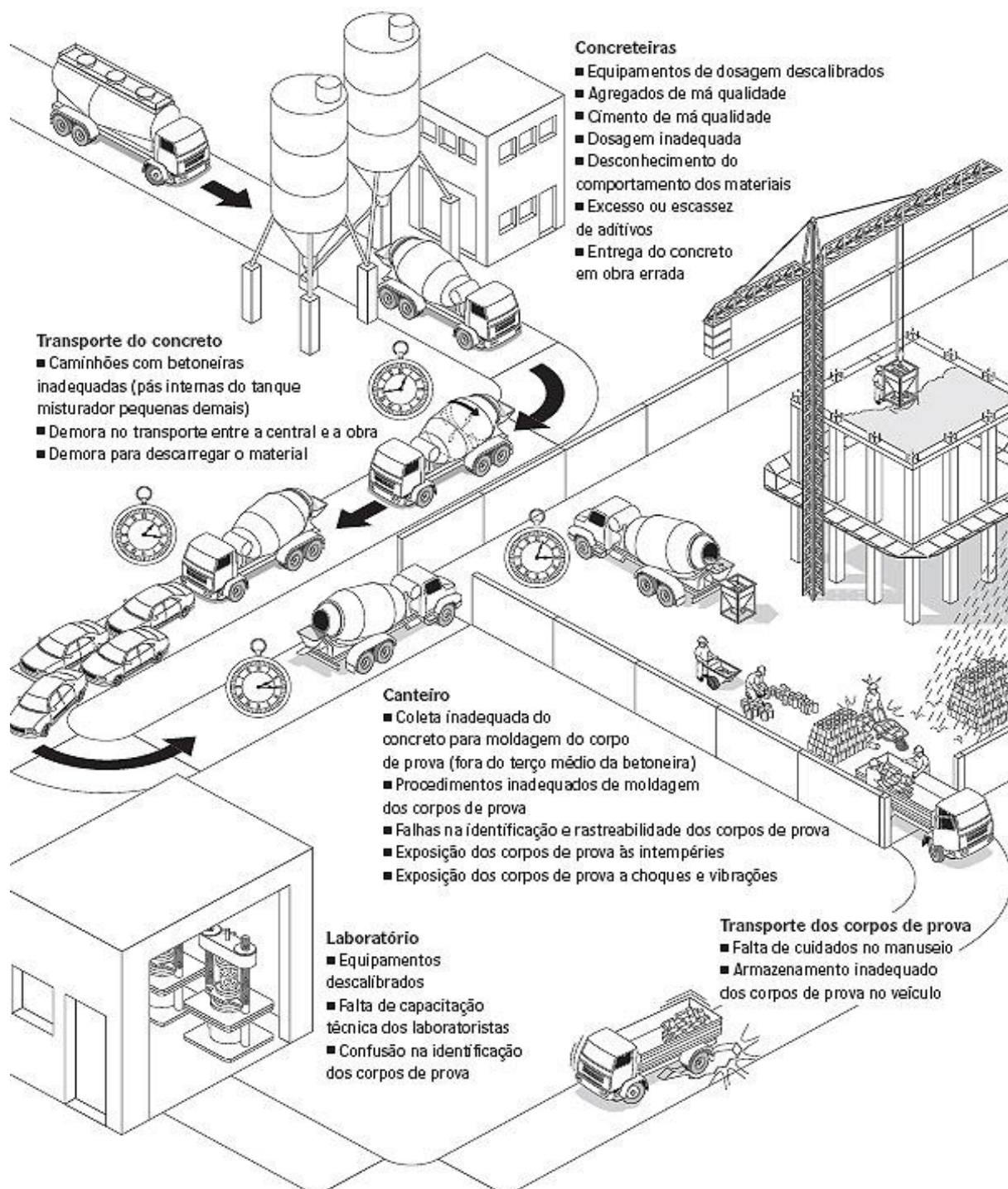
Caso um concreto seja fornecido e utilizado, e não atenda aos requisitos especificados em projeto, torna-se necessário a realização de um estudo e trabalho investigativo, por meio de ensaios para avaliação das propriedades do concreto. O resultado é a ocorrência de um grande ônus na obra, impactando a mesma financeiramente, gerando atrasos e retrabalhos.

O não atendimento do *fck* e aos requisitos especificados em projeto podem ter diversas causas e a constatação dessa falha requer medidas segundo a TÉCHNE (2009):

Problemas com o não atendimento do fck podem estar relacionados, ainda, com falhas no processo de controle tecnológico. Há procedimentos normalizados, e que devem ser seguidos, para a coleta do concreto e a moldagem do corpo de prova. Além disso, é imprescindível o cuidado no armazenamento e no transporte dessas peças. Os corpos de prova são elementos sensíveis, principalmente nas primeiras horas de idade, e qualquer descuido pode alterar sua resistência característica à compressão. Para comprovar falhas nessa etapa, será necessário realizar a extração de testemunhos da estrutura já executada - medida dispendiosa e cara (TÉCHNE, 2009).

As causas de não conformidade do concreto – não atendimento do *fck* requisitado, são diversas, pois da central de dosagem do concreto até o laboratório que realiza o ensaio são muitos fatores que influenciam. Segundo a TÉCHNE (2009) alguns desses fatores podem contribuir para termos uma resistência do concreto abaixo do esperado, vide figura abaixo.

Figura 02 – Fatores que podem contribuir para uma resistência do concreto não esperada



Fonte: TÉCHNE (2009)

Para aferir o f_{ck} do concreto e proceder com a aceitação ou rejeição do mesmo, deve-se realizar o ensaio de resistência a compressão, conforme prescrições da ABNT NBR 5739 (2018).

Formam-se lotes e de cada lote deve ser retirada uma amostra, com número de exemplares de acordo com o tipo de controle a ser feito, sempre atentando para as recomendações da ABNT NBR 12655 (2015), a qual determina:

As amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem, conforme a ABNT NBR NM 33. Cada exemplar deve ser constituído por dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a ABNT NBR 5738, para cada idade de rompimento, moldados no mesmo ato. Toma-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência (ABNT NBR 12655, 2015).

Há dois tipos de controle da resistência do concreto, sendo eles segundo a ABNT NBR 12655 (2015): o controle estatístico do concreto por amostragem parcial e o controle do concreto por amostragem total. Para o controle por amostragem parcial é prevista uma forma de cálculo do valor estimado da resistência característica, $f_{ck,est}$, do lote de concreto em estudo. Para o controle por amostragem total a 100 % das betonadas, a análise da conformidade deve ser realizada em cada betonada.

No controle estatístico por amostragem total todas as betonadas são amostradas e representadas por um exemplar que define a resistência à compressão daquele concreto naquela betonada. No controle estatístico do concreto por amostragem parcial são retiradas amostragens de betonadas distintas, as amostras devem ser de no mínimo seis exemplares para os concretos do grupo I (classes até C50, inclusive) e 12 exemplares para os concretos do grupo II (classes superiores a C50) (ABNT NBR 12655, 2015).

Nas figuras a seguir mostraremos os exemplos de controle total e controle parcial para fins de acompanhamento na qualidade da execução de uma estrutura.

Figura 03 – Controle total da resistência do concreto. Fonte: TÉCHNE, 2009.

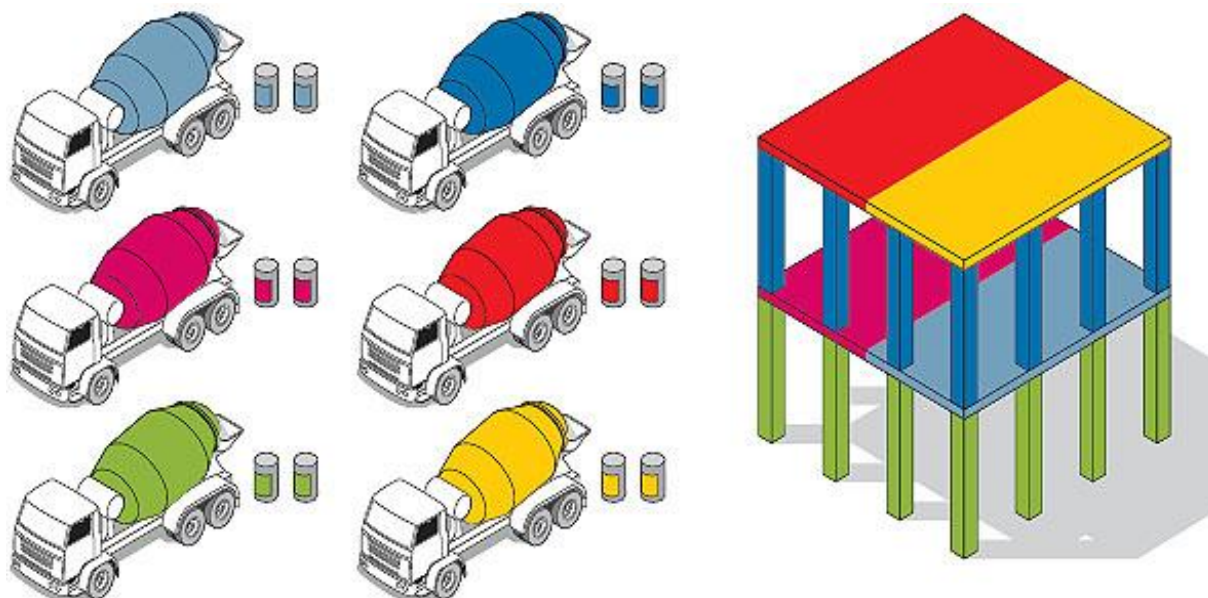


Figura 04 – Controle parcial da resistência do concreto. Fonte: TÉCHNE, 2009.

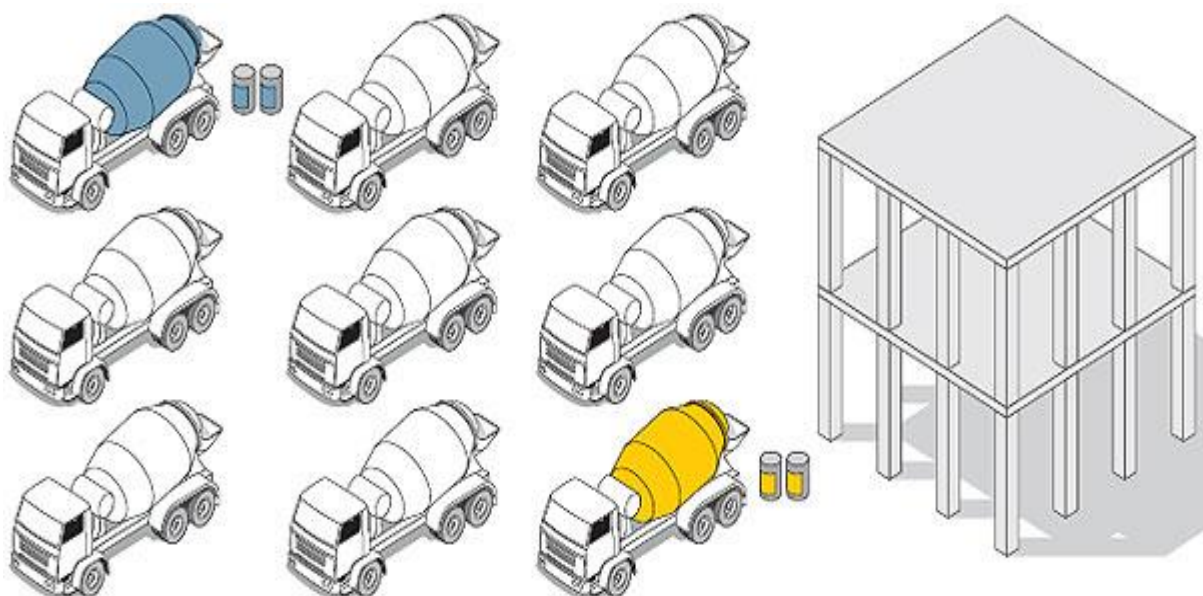
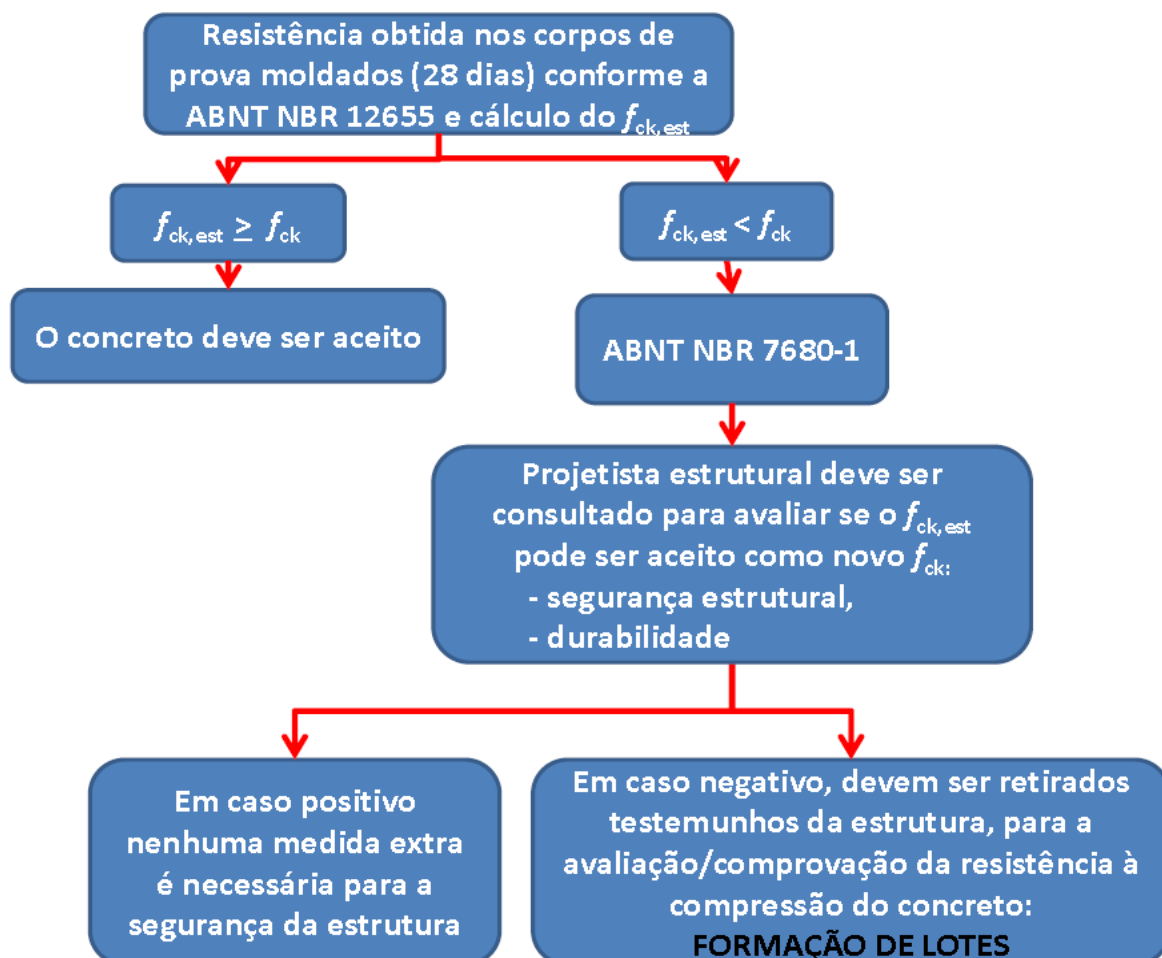


Figura 05 – Procedimentos para aceitação ou rejeição do concreto. Fonte: TÉCHNE, 2009.



Abaixo, realizou-se a condensação das informações já explanadas anteriormente e foi elaborado o “passo a passo” de como proceder e realizar o controle tecnológico do concreto.

Tabela 03 – Informações básicas sobre o controle tecnológico do concreto

Objetivo: Determinação da resistência à compressão do concreto a partir de corpos de prova colhidos na obra e ensaiados em laboratório especializado. Veja também as recomendações quanto ao aceite do material.

Normas indicadas:

ABNT NBR 5738 Concreto - Moldagem e cura de corpos de prova e ABNT NBR 5739 - Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

1 Amostra

A amostra de concreto deve ser recolhida direto da calha do caminhão-betoneira, em quantidade suficiente para o ensaio (depende do número de corpos-de-prova) e colocado num carrinho-de-mão.

Evite de recolher a amostra já da primeira carga da betoneira, o ideal é esperar que a metade do concreto já tenha sido descarregado, retirando a amostra do terceiro quarto da carga. Depois de colocada no carrinho, a amostra deverá ser remisturada com uma pá, de forma a assegurar sua homogeneidade.

Cuidado: nunca retirar a amostra de concreto já bombeado, lançado e adensado nas fôrmas.



2 Molde

O tipo de molde mais usado é o molde metálico cilíndrico de 150 mm de diâmetro por 300 mm de altura. Acompanham o molde, uma haste de adensamento e uma concha. O molde deve ser mantido limpo e protegido com uma fina camada de óleo mineral. Observação: existem laboratórios que adotam outros padrões de moldes.



3 Adensamento no molde

Normalmente o adensamento da amostra de concreto no molde é feito manualmente, em 4 camadas iguais, sendo adensadas com 30 golpes da haste em cada camada, evitando-se de penetrar na camada anterior com a haste no adensamento da camada seguinte.

Vibrador: pode-se adensar com vibrador de imersão, em duas camadas, no tempo suficiente para que a superfície do concreto fique plana e brilhante.



4 Adensamento no molde

Durante o adensamento, após o socamento de cada camada, bater nas laterais do molde com a haste para eliminar vazios. A última camada deve exceder a altura do molde e encerrado o adensamento, fazer o arrasamento com a haste ou régua metálica própria.

Observação: as moldagens dos corpos-de-prova não podem sofrer interrupções.



5 Cura inicial e transporte

Os corpos-de-prova devem receber uma etiqueta de identificação (número, procedência, data etc.) e colocados em local adequado (livre de vibrações e choques) e protegidos da ação de intempéries, por 24 horas (moldes cilíndricos). Transporte: após a cura inicial os corpos de prova devem ser levados ao laboratório, cuidadosamente, em caixas forradas de areia ou serragem.



6 Cura final

Até o ensaio de compressão, os corpos de prova, já desmoldados, deverão permanecer em câmara úmida (mínimo 95% de umidade relativa) ou imersos em água saturada de cal, ou ainda, enterrados em areia saturada. A temperatura deve ficar em $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Lá permanecerão, 3, 7 ou 28 dias, conforme as idades de rompimento de cada cp.



7 Preparação do topo

Algumas horas antes do ensaio de compressão (2 a 4 horas), o topo de cada corpo de prova deve ser preparado com um arremate feito de camada de pasta de cimento (ou mistura a quente de enxofre e calcário moído) para que o topo fique perfeitamente alisados para a distribuição homogênea dos esforços da prensa.



8 Rompimento

Os corpos de prova devem ser levados à prensa conforme a idade de rompimento previstas e ensaiados de acordo com a norma específica (ABNT NBR 5739). A prensa deve fixar o esforço no momento da ruptura. A velocidade de aplicação da carga deve estar entre 0,3 a 0,8 MPa por segundo.



9 Tensão de ruptura

A tensão de ruptura à compressão é obtida dividindo a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova, devendo o resultado ser expresso em MPa, com aproximação de 0,1 MPa.



10 Laudo

O laudo técnico (certificado de resultados do ensaio) deve conter as seguintes informações: procedência do corpo de prova; número de identificação no laboratório e na obra; data da moldagem; idade do corpo de prova; data do ensaio; área da seção transversal em cm²; tensão de ruptura; outras informações importantes.



Condições para o aceite

A aceitação do concreto em obra é feita em duas etapas, segundo a NBR 12655:2015: a primeira consiste em verificar as condições do concreto fresco na obra e para isso em geral usa-se o *slump test* e demais propriedades para o concreto fresco; a segunda diz respeito as condições de aceite para o concreto endurecido e caracteriza a aceitação definitiva do concreto considerando todos as propriedades para o concreto endurecido. **A norma determina a confecção de 2 corpos-de-prova de uma mesma amassada (caminhão-betoneira ou betonada) para cada idade de rompimento** e os lotes em função de controle e solicitação a que estiver submetido a estrutura. O controle pode ser estatístico por amostragem parcial e controle total (no qual são elaborados corpo de prova para cada amassada ou caminhão-betoneira). **A condição básica para aceitação, considerando o ensaio de resistência à compressão é quando a tensão de ruptura for maior que a tensão projetada.** Recomendação: todo e qualquer evento, seja de aceite condicionado ou de rejeição deve ser registrado no diário de obras.

Fonte: Elaborado pelos autores

4 ENSAIOS

Para fazer a avaliação de estruturas de concreto, além da inspeção meramente visual, atualmente há disponíveis diversos ensaios para avaliação, os quais são divididos em duas classes: ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos. Tais ensaios nos permitem ter embasamento para fazer uma melhor avaliação de uma estrutura e nos dá suporte para diversas áreas que englobam a aplicação do concreto na engenharia.

4.1 Ensaios destrutivos

Nos ensaios destrutivos causam danos à estrutura e requerem a retirada de amostras das mesmas. Os ensaios destrutivos, segundo as bibliografias mais consagradas, apresentam uma maior confiabilidade em relação aos ensaios não destrutíveis existentes. Entretanto, mesmo sendo mais confiável, conforme citado acima, os ensaios destrutivos causam danos na estrutura, que em grande parte das vezes encontra-se já afetada por manifestações patológicas.

Todo ensaio pode ser considerado como destrutivo quando o método do ensaio realizado implica na alteração ou inutilização do material ou corpo de prova produzido, como é o caso dos corpos de prova utilizados para a realização dos ensaios de resistência à compressão e à tração, ensaios já citados anteriormente.

Destacamos o ensaio da extração de testemunhos de estruturas, realizados quando existe dúvida se a resistência à compressão do concreto de uma estrutura está atendendo os requisitos de projeto.

4.1.1 Extração de testemunhos de estruturas de concreto

A realização da extração de testemunhos de estruturas já acabadas é feita quando existem dúvidas quanto à resistência e o desempenho do concreto lançado, seja por resultados de ensaios laboratoriais abaixo do esperado, durante o controle tecnológico, ou por sinais de deterioração do concreto. O equipamento utilizado para realizar a extração de testemunhos deve permitir a obtenção de amostras homogêneas e íntegras do concreto da estrutura (FILHO, 2019).

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)

A norma que deve ser seguida para a realização dos ensaios de extração de testemunhos de estruturas de concreto é a ABNT NBR 7680-1 – Concreto – extração, preparo, ensaio, análise de testemunhos de concreto Parte 1: resistência a compressão axial.

Figura 06 - Tabela de mapeamento da estrutura, formação de lotes e quantidade de testemunhos a serem extraído. Fonte: ABNT NBR 7680-1 (2015)

Tipo de controle (conforme ABNT NBR 12655)	Mapeado (rastreadibilidade)		Formação de lotes	Quantidade de testemunhos por lote ^a
	No lançamento	Por ensaios não destrutivos		
Amostragem total	Sim	opcional	Cada lote corresponde ao volume de uma betonada ou de um caminhão-betoneira	Aplicado em um elemento estrutural 2
			Aplicado em mais do que um elemento estrutural 3	
	Não	Sim	Conforme o mapeamento. Cada lote deve corresponder ao conjunto contido em um intervalo restrito de resultados dos ensaios não destrutivos ^b	Até 8 m ³ 3 ^c
				Maior que 8 m ³ e menor que 50 m ³ 4
Amostragem parcial	Indiferente	Sim	Conforme o mapeamento. Cada lote deve corresponder ao conjunto contido em um intervalo restrito de resultados dos ensaios não destrutivos ^b	Até 8 m ³ 4
				Maior que 8 m ³ e menor que 50 m ³ 6
Casos excepcionais	Vale o critério de amostragem parcial conforme ABNT NBR 12655 (concreto preparado na obra).			
^a Ver seção 6. ^b Para o índice esclerométrico e velocidade de propagação de onda ultrassônica, recomenda-se que seja adotado como dispersão máxima do conjunto de resultados o intervalo de $\pm 15\%$ do valor médio. ^c Em se tratando de um único elemento estrutural, a quantidade de testemunhos deve ser reduzida a dois, de forma a evitar danos desnecessários.				

4.2 Ensaaios não destrutivos

Os ensaios não destrutivos não causam danos e/ou agressões nas estruturas. Ao proceder com uma avaliação em uma estrutura, pode-se partir com uma linha investigação por meio dos ensaios não destrutivos, fato creditado aos mesmos, pois não causam prejuízos para a estrutura a ser avaliada.

Caso necessário, precisando-se de informações e dados complementares, pode-se partir para uma investigação na estrutura por meio de ensaios destrutivos, que são mais precisos, entretanto são agressivos e causam danos a estrutura.

4.2.1 Pacometria

O ensaio de pacometria é realizado por meio de um aparelho/sonda, chamado pacômetro, o qual funciona por indução magnética. O pacômetro faz uma varredura na estrutura e é um ensaio não destrutivo, que permite avaliar o cobrimento da estrutura, o posicionamento das armaduras e a dimensão das barras de aço.

Trata-se do método mais fácil para localizarmos barras de aço, PVC, cobre e também corpos estranhos, além de ser um dos mais eficazes ensaios para a realização desse tipo de investigação em estruturas.

4.2.2 Esclerometria

O ensaio de esclerometria é outro ensaio não destrutivo, cujo ensaio é regido pela ABNT NBR 7584:2012 – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – método de ensaio. Esse ensaio é realizado meio de um esclerômetro de reflexão, aparelho capaz de medir a dureza superficial do concreto.

O esclerômetro funciona como uma massa-martelo, e por meio de impulsos em mola, em contato e choque com a estrutura a ser ensaiada, nos fornece um índice de reflexão. Esse índice fornecido nos permite fazer uma correlação e chegar a valores estimados da resistência a compressão do concreto por meio deste ensaio não destrutivo.

Uma das maiores vantagens do esclerômetro é poder acompanhar o processo de cura e o ganho de resistência do concreto (IBRACON, 2016), possibilitando um maior controle tecnológico e monitoramento, prevendo o comportamento do concreto ao longo do tempo.

4.2.3 Ultrassonografia

O ensaio de ultrassonografia é outro ensaio não destrutivo, o qual consiste em um método de propagação de ondas e pulsos ultrassônicos. Para a realização desse ensaio devemos nos atentar para os parâmetros da ABNT NBR 8802:2019 – Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica.

Figura 07 – Classificação da qualidade do concreto em função da velocidade de propagação da onda ultrassônica

Velocidade do pulso (km/s)	>4,5	3,5 – 4,5	3,0 – 3,5	2,0 – 3,0	<2,0
Qualidade do concreto	Excelente	Ótimo	Bom	Regular	Ruim

Fonte: Whitehurst, 1951 *apud* QASRAWI, 2000

A ultrassonografia, além de possibilitar estabelecer parâmetros de qualidade do concreto em função da velocidade das ondas ultrassônicas, nos permite verificar e investigar a homogeneidade do concreto, fissuras, segregações e eventuais imperfeições na estrutura ensaiada.

4.2.4 Potencial de corrosão

O concreto, assim como diversos outros materiais, possui parâmetros e propriedades elétricas que o caracteriza, estando tais propriedades diretamente relacionadas com a resistividade elétrica e a condutividade elétrica do concreto.

A medida do potencial de corrosão, segundo M. H. F. Medeiros et al. (2018) é utilizado para:

A medida do potencial de corrosão é utilizada para classificar a probabilidade de corrosão de armaduras do aço carbono imersas em concreto, segundo a ASTM C 876:2015, sendo possível sua aplicação para o monitoramento de estruturas de concreto armado ao longo do tempo. Esta ferramenta é um meio rápido e de baixo custo para a identificação de zonas de aço despassivadas que necessitam de análise ou reparos. Reforçando a aplicabilidade do ensaio, o estudo de Pradhan e Bhattacharjee corrobora com a informação que o potencial de corrosão é uma medida eficaz para constatar a iniciação da corrosão das armaduras em estruturas de concreto expostas a ambientes contaminados por cloretos (M. H. F. MEDEIROS et al. (2018).

Para se aferir o potencial de corrosão é realizada a medição da diferença de potencial elétrico entre o aço da estrutura a ser avaliada, comparando-se com um eletrodo de referência acoplado a um voltímetro utilizado no ensaio. O eletrodo de referência mantém o seu potencial elétrico estável, permitindo-se assim, fazer a análise da diferença de potencial entre ele e o aço da estrutura.

O ensaio é importante, pois permite investigar em uma estrutura os pontos mais suscetíveis a ocorrência da corrosão das armaduras, possibilitando-se fazer intervenções mais precoces e conseqüentemente menos onerosas.

4.2.5 Profundidade de carbonatação

De acordo com Silva (2007) uma das patologias mais frequentes em estruturas de concreto armado é a corrosão das armaduras, responsável por aproximadamente 30% das anomalias existentes.

Silva (2007) também cita que um dos fatores que contribuiu para existência da corrosão é a carbonatação, a qual também:

Reduz o pH do concreto e despassiva a armadura. Esta quando despassivada e na presença de umidade desencadeia o processo de corrosão, comprometendo a segurança e durabilidade da estrutura (SILVA, 2007, p. 27).

O ensaio para aferir a profundidade de carbonatação consiste em analisar uma parte do concreto exposta, compreendida até o aço, aplicando-se sobre a mesma uma solução a base de fenolftaleína. Caso a solução se mantenha incolor, indica que o concreto está carbonatado, caso a coloração fique roxa, quer dizer que o concreto não está carbonatado.

Em seguida, é realizada a medição da extensão da carbonatação na estrutura com um paquímetro e calculado o grau de carbonatação da estrutura ensaiada. Ressaltamos que se trata de um método barato, de fácil utilização, porém não muito preciso.

A importância da aferição do grau de carbonatação na estrutura se justifica pela necessidade de manutenção em edificação e estruturas, possíveis intervenções, além de prezar pela segurança e durabilidade de uma estrutura.

Figura 08 – Alguns dos principais equipamentos utilizados para a realização de ensaios não destrutivos.



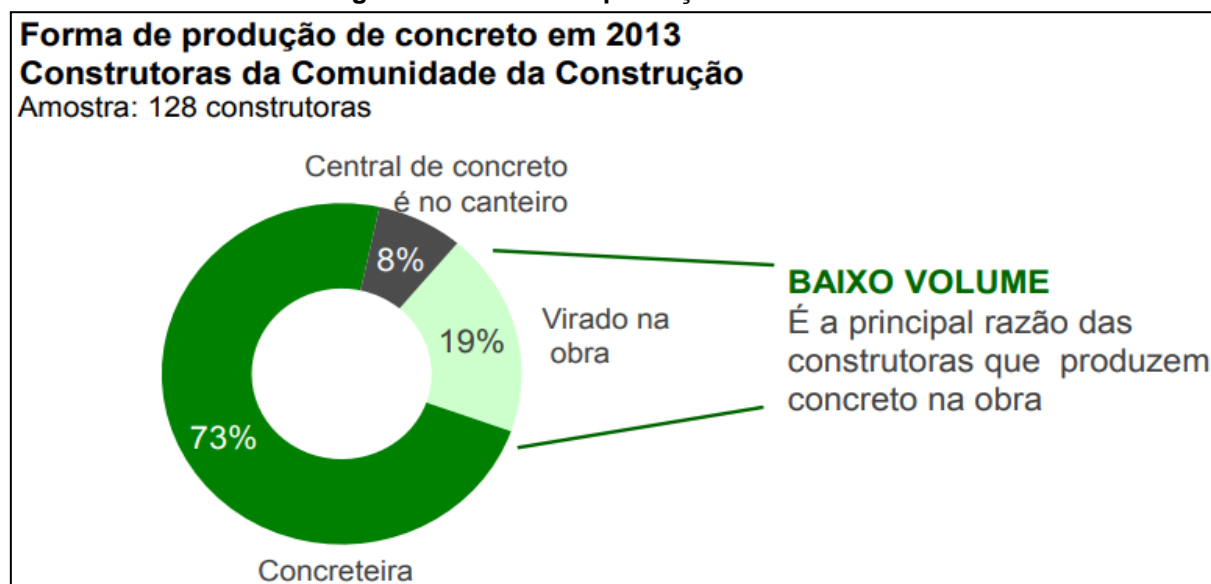
Fonte: IBRACON (2016)

5 – PANORAMA DO MERCADO DO CONCRETO NO BRASIL – DOMÍNIO DAS CONCRETEIRAS

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2013), o aumento da produção de concreto foi de 180% entre 2005 e 2012. Estima-se que as concreteiras brasileiras tenham produzidos 51 milhões de m³ de concreto em 2012, e que este número passaria para 72,3 milhões de m³ em 2017, representando um aumento de 41,2% na produção do concreto.

As concreteiras são responsáveis pelo fornecimento da maior parte do concreto consumido no Brasil. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) (2015) 73% do concreto utilizado pelas construtoras no ano de 2013 vieram de concreteiras.

Figura 09 – Forma de produção de concreto em 2013

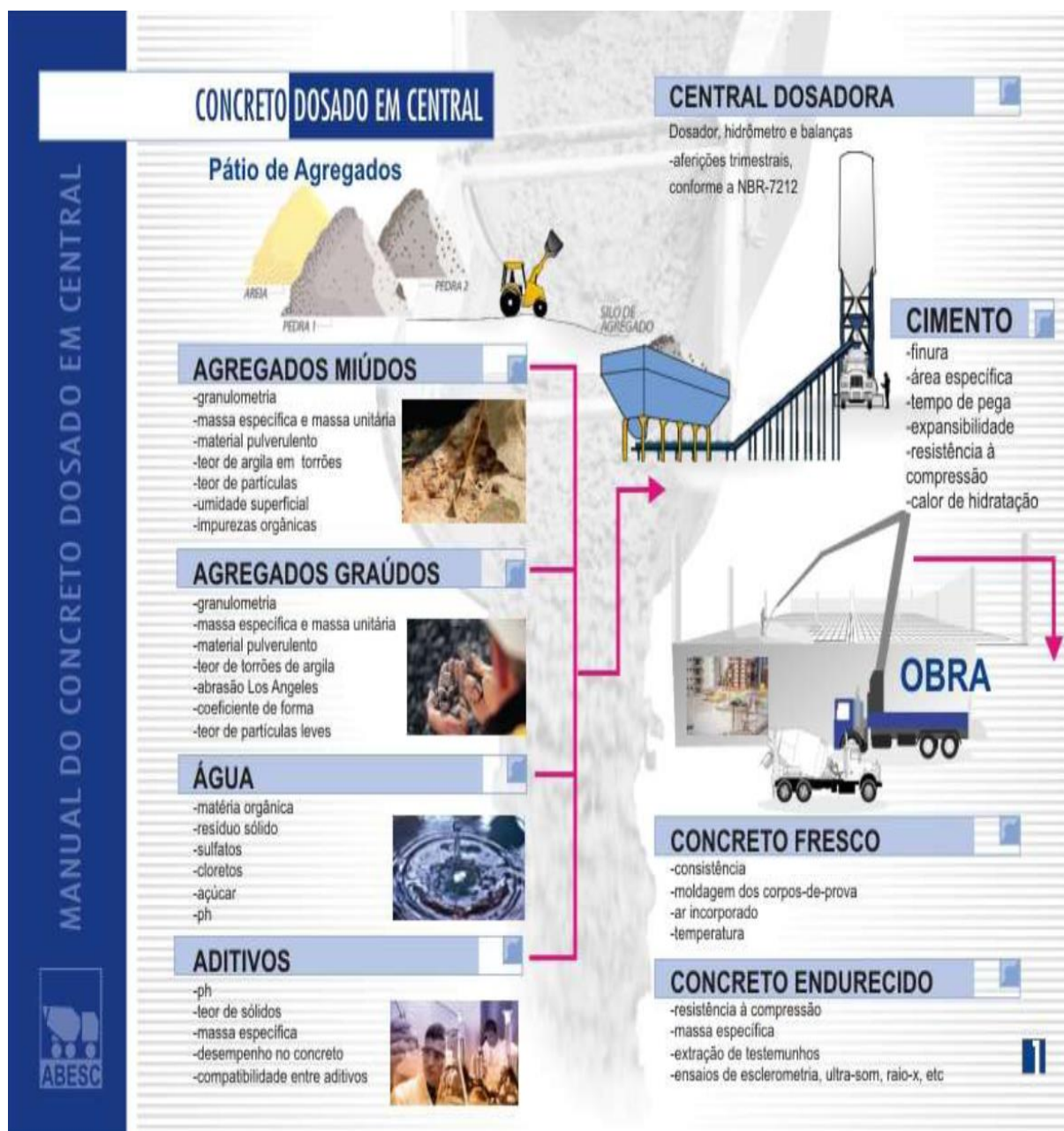


Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2015

Mostrado o panorama e a representatividade das concreteiras nas obras do Brasil, nota-se a importância e responsabilidade das mesmas, pois sendo o concreto um material nobre e considerando que praticamente todas as obras utilizam o concreto, destacamos a enorme responsabilidade das concreteiras no que tange à segurança e estabilidade das obras.

Na figura 10 visualizamos trecho extraído do Manual do Concreto Dosado em Central, elaborado pela Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC), elaborado em 2013. A figura mostra a cadeia produtiva do concreto dosado em central, observando-se os materiais constituintes do concreto e elenca algumas das suas principais propriedades.

Figura 10 – Concreto Dosado em Central



Fonte: Associação das Empresas de Serviços de Concretagem do Brasil (ABESC), 2013

É dever das concreteiras prezar pela qualidade do concreto.

Efetivamente, a responsabilidade da concreteira é zelar pela qualidade do preparo do concreto e de seu transporte até o local de obra. Sua função é saber selecionar os insumos - cimento, areia, agregados, aditivos e água -, conhecer a fundo o comportamento desses materiais, estar atenta à calibração de seus equipamentos, fazer a dosagem correta e garantir o transporte e a entrega adequados do concreto na obra (TÉCHNE, 2009).

6 DESENVOLVIMENTO – CRONOLÓGICO DOS FATOS

No presente artigo, trazemos um estudo de caso, onde as partes envolvidas são uma empreiteira – responsável pela execução de uma obra (autora) e uma empresa de serviços de concretagem (ré). A autora emitiu uma ordem de compra para a ré, referente ao fornecimento de concreto usinado, o qual seria utilizado na execução da fundação de uma torre metálica de antena de celular, que seria instalada em uma cidade no interior de Minas Gerais.

As partes em litígio não chegaram a um consenso devido a existência de possíveis problemas no fornecimento do concreto da fundação da torre, sendo esse o objeto da lide. Na lide foi pedido uma perícia de engenharia para verificar se o concreto fornecido pela ré atendia a resistência característica à compressão do concreto (*fck*) pedido pela autora

6.1. Celebrado contrato para prestação de serviços

Em 09/02/2011 é celebrado um Contrato ente a Autora (empreiteira) e uma empresa de telecomunicações (proprietária da obra). Dentre as tarefas contratadas pela proprietária da obra se encontram as fundações da torre metálica de antena de celular que será instalada, fundações que são o objeto da lide.

6.2. Autora emite ordem de compra do concreto usinado

Em 24/04/2012 a Autora (empreiteira) emitiu a Ordem de Compra para a Ré (empresa de serviços de concretagem). Essa ordem de compra era referente a concreto usinado 20 MPA CP-III 40RS BOMBEÁVEL, volume de 48,00 m³ e valor unitário de R\$ 350,00/m³ e valor total de R\$ 16.800,00.

6.3. Ré emite notas fiscais do concreto fornecido e entrega o concreto

A Ré (empresa de serviços de concretagem) emite nos dias 04 e 05 de maio de 2012 para saída/entrega em 05/05/2012 oito notas fiscais referentes ao produto concreto usinado 20 MPA CP-III 40RS BOMBEÁVEL, volume de 48,00 m³ e valor unitário de R\$ 350,00/m³ e valor total de R\$ 16.800,00.

Em 05/05/2012 é feita a concretagem das fundações para receber uma torre de antena de celular. Essa concretagem foi de um volume total de 48,00 m³ e abrangeu a construção de três tubulões, vigas e blocos de concreto armado.

6.4. Contratada empresa terceirizada para fazer controle tecnológico do concreto

Durante o processo de concretagem, para o controle de qualidade do material foi retirado e moldado por uma empresa terceirizada – CONTEPRO ENGENHARIA LTDA, empresa contratada pela empresa de telecomunicações, que é a proprietária da obra, um total de 42 Corpos de Provas (CP's), sendo seis corpos de prova por cada uma das sete séries de concretagem.

Em 15/05/2012 a empresa terceirizada contratada pela empresa de telecomunicações para a realização do controle tecnológico do concreto rompeu um

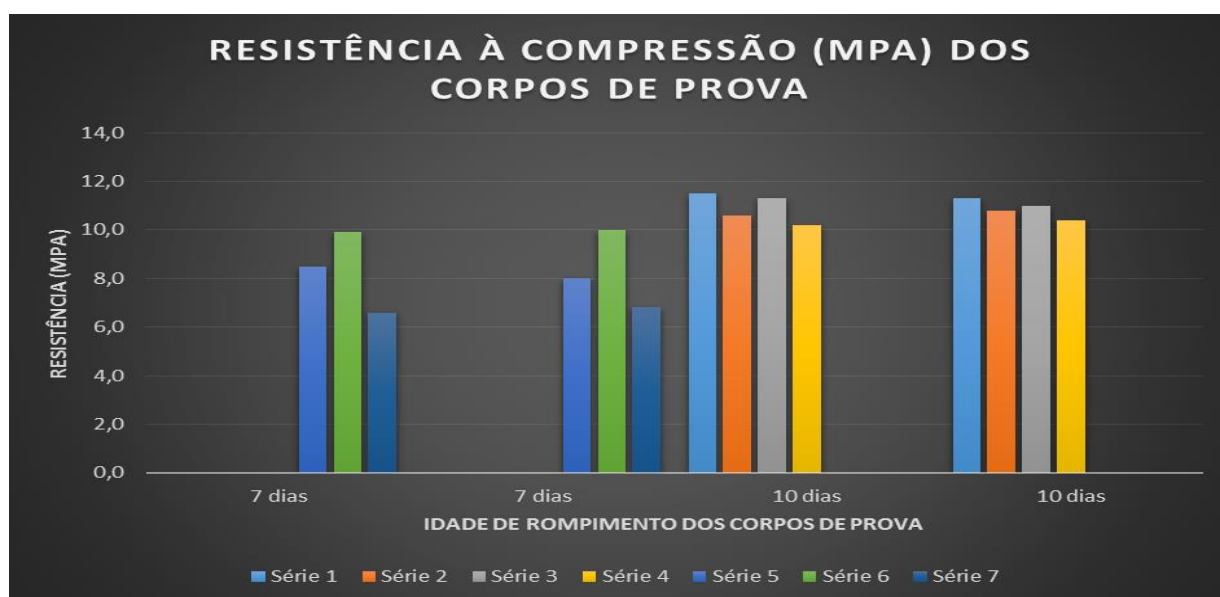
total de 14 corpos de prova, com idades de 7 e 10 dias. Foram rompidos dois corpos de prova de cada série. Os resultados de resistência do concreto desse ensaio alertavam a existência de possíveis problemas no material fornecido pela Ré, pois a resistência estava abaixo da especificada. Os resultados de resistência obtidos nesse ensaio estavam variando de 11,5 MPA a 6,6 MPA.

Tabela 04 – Resistência à compressão em Mpa dos corpos de prova rompidos em 15/05/2012, grifos nosso destacando o maior e menor valor dos CP's rompidos nas idades de 7 e 10 dias.

Resistência (Mpa)				
Série	7 dias	7 dias	10 dias	10 dias
Série 1			<u>11,5</u>	11,3
Série 2			10,6	10,8
Série 3			11,3	11,0
Série 4			10,2	10,4
Série 5	8,5	8,0		
Série 6	9,9	10,0		
Série 7	<u>6,6</u>	6,8		

Fonte: Contepro Engenharia Ltda, 2012 – Adaptada pelos autores, 2021

Gráfico 01: Resistência a compressão dos corpos de prova rompidos pela Contepro Engenharia nas idades de 7 e 10 dias



Fonte: Elaborado pelos autores

6.5. Contratada uma auditoria/contraprova para realização de ensaios

Devido a possíveis problemas no fornecimento do concreto e com o embasamento dos ensaios realizados pela empresa terceirizada (Contepro Engenharia Ltda) contratada inicialmente, pela proprietária da obra, optou-se pela realização de uma auditoria.

Em 25/05/2012 a Universidade Federal de Uberlândia rompeu um total de sete Corpos de Provas (CP's). Conforme informações do laudo esses CP's foram entregues pelo interessado, com diâmetro nominal de 100 mm, os quais eram procedentes da fundação da obra em lide, sendo o cliente a empresa de telecomunicações (proprietária da obra). Os resultados desse ensaio apresentaram uma grande variação de 8,7 MPA a 22,4 MPA.

Figura 11 – Reprodução parcial do ensaio de resistência à compressão em Mpa dos corpos de prova rompidos em 25/05/2012, grifos nosso.

2 – RESULTADOS

Data: 25/05/2012.

Série N°	CP N°	Nota Fiscal	Seção (cm ²)	Força na Ruptura (kgf)	Tensão (MPa)
01	04	000242	78,85	10215	13,0
03	16	000244	79,33	8916	11,2
04	23	000245	78,98	7980	10,1
05	29	000246	77,6	6737	<u>8,7</u>
07	41	000247	79,01	9296	11,8
02	11	000243	70,70	17884	22,4
06	35	000248	79,33	17765	<u>22,4</u>

Fonte: Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Civil

6.6. Rompimento dos demais corpos de prova

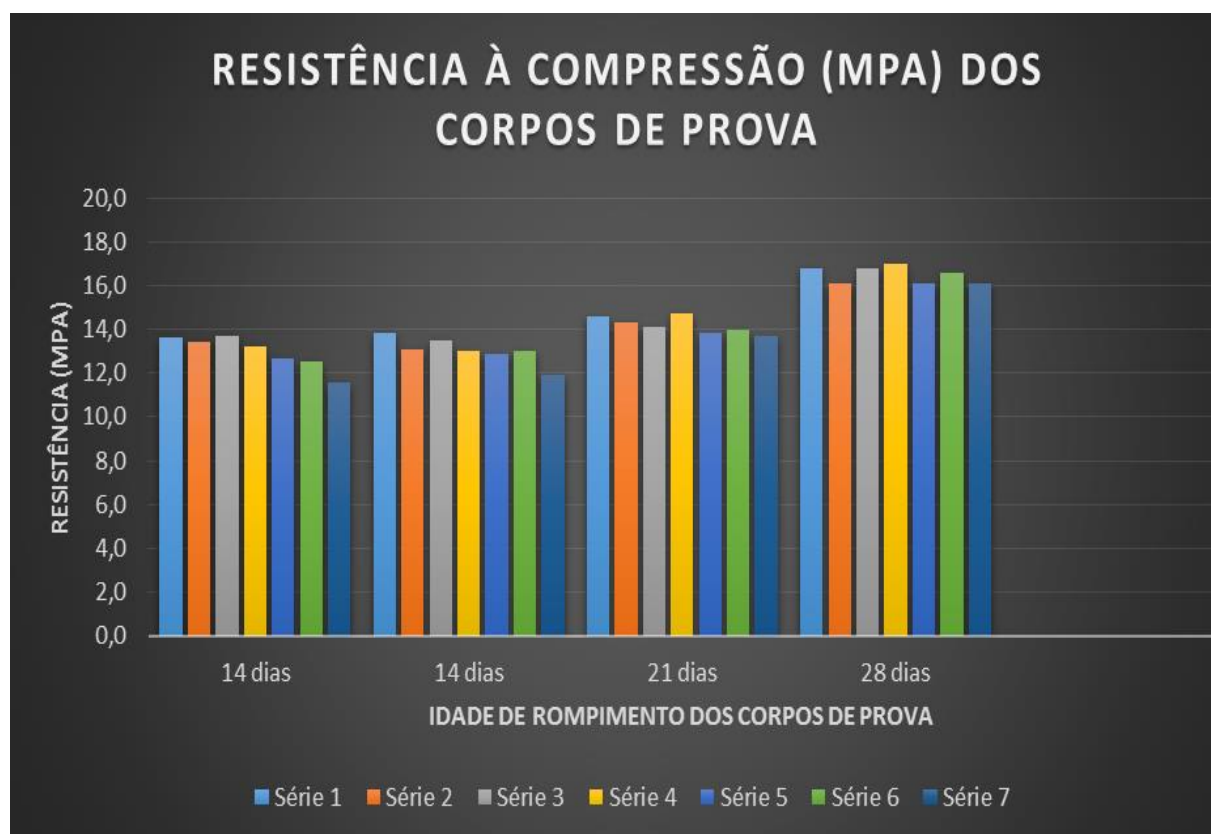
Em 02/06//2012 a empresa terceirizada que foi contratada inicialmente (Contepro Engenharia Ltda) pela empresa de telecomunicações (proprietária da obra) para a realização do controle tecnológico do concreto da obra finalizou o rompimento do restante dos CP's, com idades de 14 dias, 21 dias e 28 dias. Nessa data foi finalizado o rompimento dos quatro CP's restantes de cada série. Foram rompidos um total de 28 CP's. Os resultados de resistência do concreto desse relatório com 28 dias estavam variando de 16,1 MPA a 17,0 MPA. Esses resultados de rompimento dos CP's com 28 dias estavam com resistência abaixo da contratada de 20MPA.

Tabela 05 – Resistência à compressão em Mpa dos corpos de prova rompidos em 02/06/2012 nas idades de 14, 21 e 28 dias

Resistência (Mpa)				
Série	14 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Série 1	13,6	13,8	14,6	16,8
Série 2	13,4	13,1	14,3	16,1
Série 3	13,7	13,5	14,1	16,8
Série 4	13,2	13,0	14,7	17,0
Série 5	12,7	12,9	13,8	16,1
Série 6	12,5	13,0	14,0	16,6
Série 7	11,6	11,9	13,7	16,1

Fonte: Contepro Engenharia Ltda, 2012 – Adaptada pelos autores, 2021

Gráfico 02: Resistência a compressão dos corpos de prova rompidos pela Contepro Engenharia nas idades de 14, 21 e 28 dias

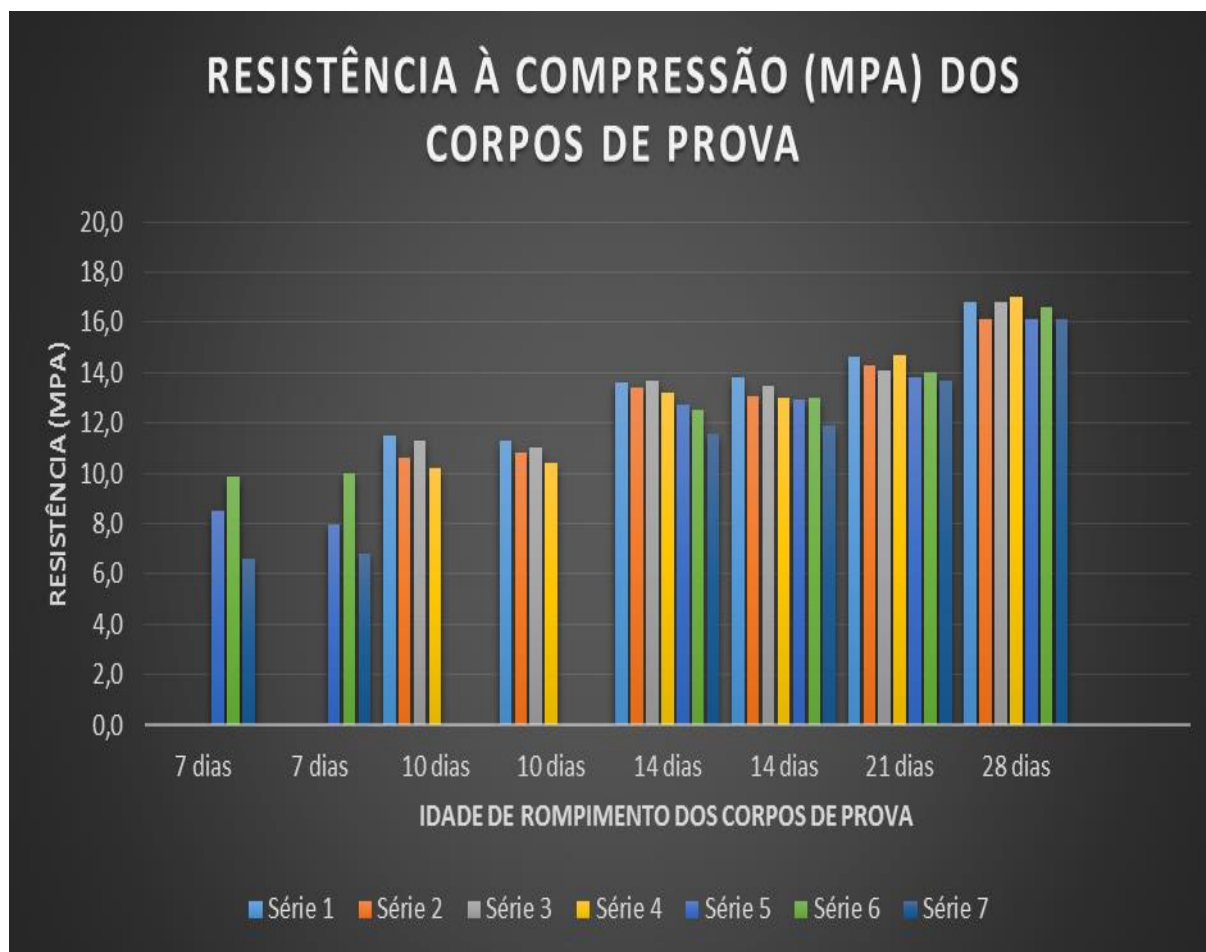


Fonte: Elaborado pelos autores

6.7. Compilação do resultado de resistência a compressão de todos os corpos de prova rompidos pela Contepro Engenharia

Com o rompimento dos corpos de prova realizados pela Contepro Engenharia, primeiramente no dia 15/05/2012 aos 7 e 10 dias, e posteriormente, no dia 02/06/2012 aos 14, 21 e 28 dias, foi elaborado um gráfico com todos os resultados obtidos, vide abaixo.

Gráfico 03: Resistência a compressão de todos os CP's rompidos pela Contepro Eng.



Fonte: Elaborado pelos autores

6.8. Empresa de telecomunicações (proprietária da obra) solicita a construção de uma nova fundação

Em 04/06/2012 a autora (empreiteira – responsável pela execução das obras) comunica que a empresa de telecomunicações (proprietária da obra) solicita de imediato uma nova fundação, uma vez que o laudo feito pela Universidade Federal de Uberlândia aponta o mesmo problema que o laboratório contratado inicialmente (Contepro Engenharia).

7 METODOLOGIA

O presente trabalho refere-se a um estudo de caso, englobando um caso real de uma perícia de engenharia. Realizaram-se uma vistoria, pesquisas bibliográficas e ensaios laboratoriais.

7.1 Vistoria

Os trabalhos de vistoria seguiram as determinações da NBR 13.752/96, Norma Técnica para Perícias de Engenharia na Construção Civil, publicada pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Adotaram-se as recomendações da ABNT NBR 13.752/96, destacando-se o item 4.3.1.3 dessa norma:

Os requisitos de uma perícia são condicionados à abrangência das investigações, à confiabilidade e adequação das informações obtidas, à qualidade das análises técnicas efetuadas e ao menor grau de subjetividade emprestado pelo perito, sendo estes aspectos definidos pelos seguintes pontos, quanto:

- a) à metodologia empregada;*
- b) aos dados levantados;*
- c) ao tratamento dos elementos coletados e trazidos ao laudo;*
- d) à menor subjetividade inserida no trabalho.*

Conforme o levantamento bibliográfico apresentado a extração de testemunhos é o melhor ensaio para esclarecer quanto à resistência do concreto discutido na lide. Uma vez que os resultados de ensaios laboratoriais realizados pela autora ficaram abaixo do esperado, ao contrário dos resultados do controle tecnológico realizados pela empresa que forneceu o concreto, concreteira (ré).

7.2 Identificação dos pontos de extração dos testemunhos

Para a realização da extração dos testemunhos de concreto, foi contratada pelo perito a Consultare Laboratório. Destacamos que toda a extração, preparação e rompimento seguiram as recomendações da Norma Técnica ABNT NBR 7680-1/2015.

Ao lado da torre metálica existente constatamos a existência de fundações similares as dessa torre. Essas fundações se encontram descartadas e são compostas de três blocos de concreto armado (com insertes e parafusos metálicos) e de vigas e três tubulões, peças estruturais, que também são em concreto armado e se encontram enterrados no terreno e não podem ser visualizados.

A seguir, na imagem 01, mostramos os blocos de fundação da torre de celular já implantada. Já na imagem 02, mostramos os três blocos de concreto armado da fundação que foram descartados, vide detalhes. A autora alega que os blocos não atingiram a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) especificada em projeto.



Imagem 01 – Torre de antena de celular já implantada e as suas bases de apoio. Fonte: Autores

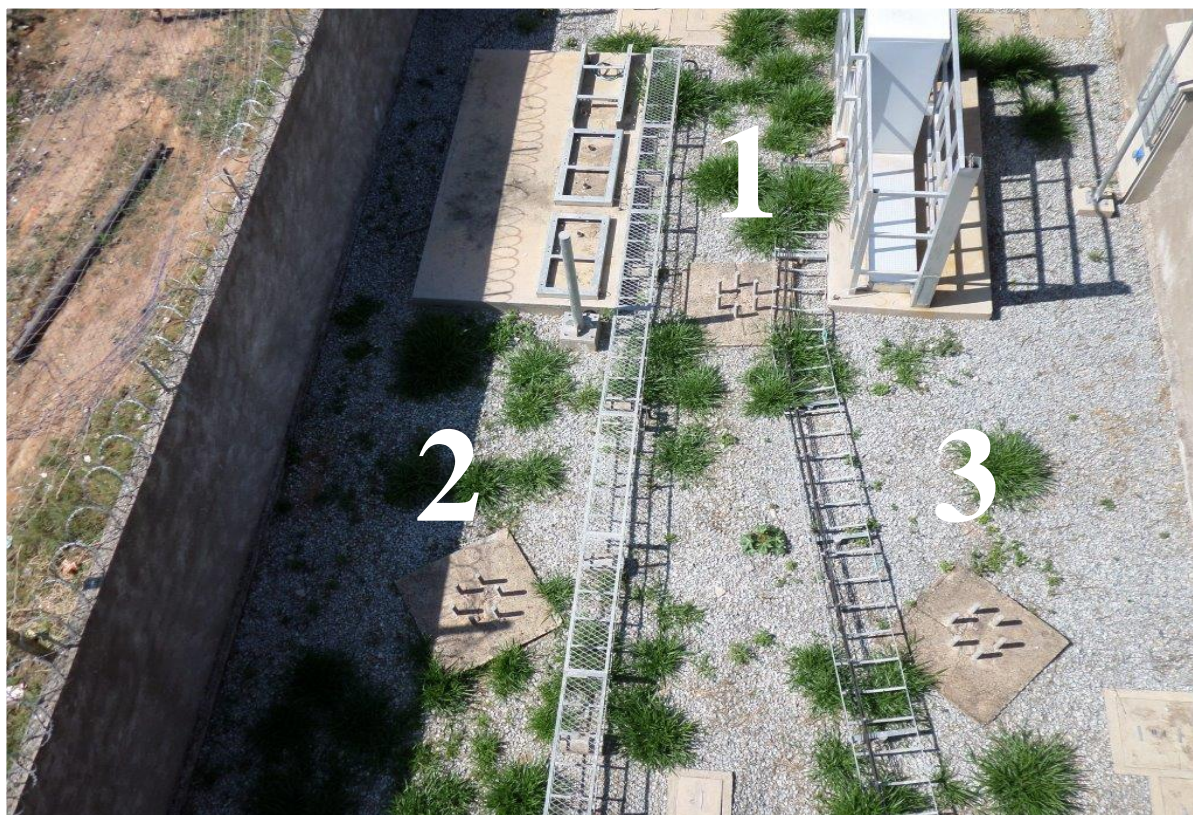


Imagem 02 – Blocos de fundação descartados. Fonte: Autores

A Imagem 02 é uma tomada aérea que mostra as fundações descartadas e que estão posicionadas ao lado da torre metálica de telefonia celular já implantada. Podemos observar a existência de três blocos de concreto armado (blocos 01, 02 e 03). Esses três blocos foram as peças indicadas pelas partes para a retirada dos testemunhos com o objetivo de verificar a resistência do concreto.

7.3 Verificação das condições desses pontos de extração

Após a identificação dos pontos de extração dos testemunhos, ocorreu a preparação para a retirada de dois testemunhos do Bloco 1 das fundações da torre de telefonia de celular que foi descartada pela Autora - empreiteira responsável por essa obra. Conforme informações juntadas aos autos essas fundações foram descartadas porque os Corpos de Prova retirados durante o processo de concretagem não alcançaram a resistência especificada nos cálculos estruturais de 20 MPA. Os 48,00 m³ de concreto utilizados nessa fundação foram fornecidos pela Ré (empresa de serviços de concretagem).

A extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto ficou sob a responsabilidade da empresa especializada, que foi contratada pelo Perito. Destacamos que toda a extração, preparação e o rompimento seguiram as recomendações da Norma Técnica ABNT NBR 7680-1/2015, vide na imagem 03 a preparação e retirada dos testemunhos do Bloco 01.



Imagem 03 – Preparação e extração de testemunhos do Bloco 01. Fonte: Autores

Na imagem 04, identificamos os dois testemunhos retirados do Bloco 01. Esses testemunhos atenderam as especificações das Normas técnicas e foram devidamente registrados como CP1 e CP2, do Bloco 01. Esses testemunhos foram transportados pela empresa especializada, contratado pelo perito, para o laboratório, para preparação e futuro rompimento.



Imagem 04 – Testemunho extraído do Bloco 01. Fonte: Autores



Imagem 05 – Identificação de testemunho extraído do Bloco 01. Fonte: Autores

Os mesmos procedimentos realizados no Bloco 01 foram replicados para os Blocos 02 e 03, sendo realizada a preparação para retirada dos testemunhos, extração e posterior identificação dos mesmos.



Imagem 06 – Preparação e extração de testemunho do Bloco 02. Fonte: Autores

Abaixo, vide imagem 07, visualizamos a preparação para a retirada de dois testemunhos do Bloco 3 das fundações da torre de telefonia de celular que foi descartada pela Autora (empreiteira), que era a responsável pela execução dessa obra.



Imagem 07 – Preparação e extração de testemunho do Bloco 03. Fonte: Autores

7.4 Ensaio característico à compressão dos testemunhos

Após a preparação, extração e retirada dos testemunhos dos Blocos de fundação, os mesmos foram transportados e levados para laboratório, a fim de realizar ensaios de resistência característica à compressão nas amostras.

Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 7680-1:2015 – Extração, preparo, ensaio e análise dos testemunhos de concreto – parte 1: Resistência a compressão axial. Abaixo, segue identificação dos testemunhos.

Figura 13 – Identificação dos testemunhos extraídos dos Blocos 01, 02 e 03.

CP	Identificação	Data da concretagem	Presença de:
1	Bloco 01	>28	Aço e Vazios
2	Bloco 01	>28	Vazios
3	Bloco 02	>28	-
4	Bloco 02	>28	-
5	Bloco 03	>28	-
6	Bloco 03	>28	Aço

Fonte: Consultare Laboratório

A preparação das bases foi realizada por retificação. Este processo consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material das bases a serem preparadas e é normalmente executada em máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade, com a utilização de ferramentas abrasivas (ABNT NBR 5738, 2015).

O ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos sucedeu conforme as recomendações da ABNT NBR 5739 (2007). Utilizou-se neste uma prensa para a realização do rompimento dos testemunhos, e o resultado do ensaio foi condensado na tabela 8.

Destacamos que a ABNT NBR 5739 foi atualizada em maio de 2018, e que os ensaios que dão embasamento para o presente trabalho foram realizados anteriormente, em setembro de 2015. Em razão disso, os critérios adotados no ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos seguiram as recomendações da ABNT NBR 5739:2007.

Figura 14 – Resultados do ensaio de compressão dos CP's. Fonte: Consultare Laboratório

Corpo de prova	Dimensões médias (mm)		Seção transversal (mm ²)	Densidade (kg/m ³)	h/d	Fator de correção	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão corrigida (MPa)
	Diâmetro	Altura						
1	99,5	190,1	7771,0	2219,7	1,91	1,01	24,0	24,3
2	99,6	178,7	7785,0	2195,8	1,79	1,00	21,8	21,8
3	99,7	184,4	7805,4	2224,5	1,85	1,00	20,2	20,2
4	99,7	191,9	7805,4	2237,6	1,92	1,01	20,0	20,2
5	99,6	171,7	7783,5	2234,7	1,72	1,00	21,0	21,0
6	99,5	166,6	7778,8	2281,0	1,67	0,99	18,5	18,3

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificando-se a figura 14 do ensaio realizado pela empresa especializada, podemos observar que dos resultados de Resistência à compressão corrigida (MPa) dos seis Corpos de Provas, testemunhos, apenas o CP 6 apresenta resultado inferior ao valor contratado de 20 MPa, vide detalhe.

No item 7.1.2 da Norma Técnica ABNT NBR 7680-1/2015 é informado que a estimativa da resistência característica do lote para fins de verificação da segurança estrutural é dada pela média dos resultados individuais daquele lote, conforme a equação a seguir:

$$f_{ck,ext,seg} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci,ext,seg}}{n}$$

Figura 15 – Equação da resistência característica média do lote.

Fonte: ABNT NBR 7680-1/2015

Conforme os resultados mostrados na figura 14, e aplicando-se a equação acima, a média dos resultados obtidos no ensaio é de 20,97 MPa. Portanto, conforme ensaio realizado a resistência do concreto fornecido pela Ré (empresa de serviços de concretagem) atende a especificação de 20 MPa para o lote ensaiado.

9 CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas bibliográficas deste trabalho e com os resultados obtidos no ensaio de compressão dos testemunhos cilíndricos extraídos, pode-se concluir que o comportamento do concreto entregue pela empresa de serviços de concretagem (ré) atingiu a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) solicitada em projeto, aumentando sua resistência com idades mais elevadas, fato também constatado por outros autores em trabalhos distintos, confirmando a teoria de NEVILLE e BROOKS (2013), citada anteriormente no presente trabalho.

Também destacamos que é essencial fazer o controle tecnológico de todo o processo produtivo do concreto, desde a escolha dos agregados, água, cimento, a dosagem utilizada e demais outros cuidados a serem tomados, fazendo com que se utilize esse nobre material, o concreto, com segurança nas mais diversas obras onde o mesmo é empregado.

Outro ponto de destaque que chamamos atenção é a importância da realização dos ensaios disponíveis no mercado, seja eles destrutivos ou não destrutivos. No caso exposto, a utilização dos ensaios corretos possibilitou chegar a um resultado real quanto a resistência característica à compressão (f_{ck}) do concreto utilizado na fundação da torre metálica de antena de celular, objeto da lide. O perito deve estar sempre atento e atualizado sobre os diversos ensaios e equipamentos que existem no mercado e sobre as tecnologias do concreto, buscando fundamentar o seu laudo pericial conforme os critérios da ABNT NBR 13752:1996 – Perícias de engenharia na construção civil.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto**. Campinas, 2002. (Apostila).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **A Indústria do Cimento e o Desenvolvimento do Brasil**. 23 mai. 2015. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/a-industria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil>>. Acesso em: 27 ago. 2021.

_____. **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto**. 28 ago. 2013. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>>. Acesso em: 24 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE CONCRETAGEM DO BRASIL (ABESC). **MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL**. ago. 2013. Disponível em: <<http://abesc.org.br/assets/files/kit-professor.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12142**: concreto: determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 13752**: perícias de engenharia na construção civil. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 15116**: agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2021.

_____. **NBR 16889**: concreto — determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 5738**: concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

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

_____. **NBR 5739**: concreto: ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 7222**: concreto e argamassa: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 7584**: concreto endurecido - avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 7680-1**: concreto - extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 8802**: concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2019

_____. **NBR 8953**: concreto para fins estruturais: classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

BAUER, L. A. Falcão (Coord.). **Materiais de construção**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985.

Congresso Brasileiro do Concreto, 58^o, 2016, Belo Horizonte. Ensaio não destrutivo para concreto. IBRACON, 2016. 28p.

FARIA, Renato. Concretos fornecidos podem não estar atingindo a resistência à compressão pedida nos projetos estruturais. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 152, p. 44-50, nov. 2009.

FREITAS, R. P. de. **Controle de qualidade em concreto endurecido**: Ensaio mecânico. 2012. 55 folhas. Curso de graduação em engenharia civil – (Universidade Federal De Juiz De Fora) - Juiz de Fora, 2012.

GEYER, A. L. B.; SÁ, R. R. de. **Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco**. 2006. Disponível em: <http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Ano2_informativo_internet.pdf>. Acesso em 22 ago. 2021.

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

HELENE, Paulo; CARVALHO, Mariana; COUTO, Douglas; BILESKY, Pedro. Análise crítica do novo texto da ABNT 7680-1:2015.57^o **Congresso Brasileiro do concreto, IBRACON**; Bonito-MS. Volume I: p. 3 – 13.

IBRACON. CONCRETO: material construtivo mais consumido no mundo. São Paulo: Ibracon, n. 53, 2009. Trimestral.

MEDEIROS, M. H. F. et al. **Potencial de corrosão: influência da umidade, relação água/cimento, teor de cloretos e cobertura**: Revista IBRACON de estruturas e materiais, 2017.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 448 p.

QASRAWI, H. Y. **Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted.** Cement and Concrete Research, v. 30, i. 5, pp. 739 – 746, 2000.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 5. ed., atual. e rev. Porto Alegre: Globo, 1978. 307 p.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland.** 3. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2015. 120 p.

FILHO, Hayrton Rodrigues do Prado. Os testemunhos de estruturas de concreto. **Revista ADNORMAS**, São Paulo, mar. 2019. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/03/12/os-testemunhos-de-estruturas-de-concreto>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. da S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil.** 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

ROQUE, J. A.; MORENO, A. L. J. **Considerações sobre vida útil do concreto.** 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-moldado. São Carlos, nov, 2005.

SILVA, Valdirene. **Ação da Carbonatação em Vigas de Concreto Armado em Serviço, Construídas em Escala Natural e Reduzida.** 2007. 281. Tese (Doutorado) Curso de Engenharia de Estruturas, Univ. de São Paulo, São Paulo.