

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Rafael Gehrke

**CONCRETO USINADO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE
DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO**

Porto Alegre
2018

RAFAEL GEHRKE

CONCRETO USINADO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Porto Alegre
2018

RAFAEL GEHRKE

CONCRETO USINADO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado pela banca examinadora e, em sua forma final, pela Professora Orientadora.

Porto Alegre, 28 de dezembro de 2018

Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Doutora pela Universidade de São Paulo
Orientadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela Universidade de São Paulo

Prof. Jairo José de Oliveira Andrade
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Rafael Mascolo
Msc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CONCRETO USINADO: ANÁLISE DA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

READY-MIX CONCRETE: ANALYSIS OF COMPRESSIVE STRENGTH VARIABILITY

Rafael Gehrke(1); Denise Carpena Coitinho Dal Molin (2).

(1) Autor, Graduando em Engenharia Civil, UFRGS – e-mail: rafaelgehrke0@gmail.com

(2) Orientadora, Departamento de Engenharia Civil – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, Núcleo Orientado de Inovação na Edificação (NORIE) – e-mail: dmolin@ufrgs.br

Resumo

Quando um concreto apresenta resistência mecânica abaixo da especificada podem haver consequências negativas que irão comprometer o desempenho da estrutura de concreto armado, repercutindo na sua vida útil. A ascensão das centrais dosadoras como solução para fornecimento de concreto nas obras tem melhorado o controle das características do concreto. Entretanto, diversos fatores contribuem para variações na qualidade do concreto, que vão desde a sua produção e aplicação até os ensaios que o caracterizam. A fim de medir a adequação das concreteiras à resistência característica solicitada, foi realizado um levantamento de resultados de resistência à compressão para 5 concreteiras diferentes cujo controle foi feito por um único laboratório. A partir da análise dos dados constatou-se que a variabilidade da produção de todas as concreteiras se mostra pelo menos 27% acima dos limites especificados nas normas brasileiras, além de que há grande diferença entre resistências médias e grau de confiança para as concreteiras avaliadas.

Palavra-Chave: Variabilidade, Produção-Concreto, Controle-Concreto, Concreto-Usinado.

Abstract

When a concrete exhibits resistance below the specified there may be negative consequences that will compromise the performance of the reinforced concrete structure, impacting on its lifespan. The rise of ready-mix concrete as a solution for the supply of concrete in construction sites has improved the control of concrete characteristics. However, several factors contribute to variations in concrete quality, from its production and application to the testing that characterize it. In order to measure the suitability of the concrete to the characteristic strength, a survey of the results of compressive strength was executed for 5 different batch plants whose control was carried out by a single laboratory. From the analysis of the data it was verified that the variability of the production of all 5 concrete suppliers seems to be at least 27% above the limits specified in the Brazilian norms, besides, there is a great difference between average resistances and degree of confidence for the evaluated batch plants.

Keywords: Variability, Production-Concrete, Control-Concrete, Ready-mix-Concrete.

1 Introdução

O concreto atualmente é o material manufaturado mais consumido no mundo. Suas características de durabilidade, resistência e plasticidade (facilidade de execução numa variedade de formas), permitem uma infinidade de aplicações. Economicamente, o concreto continua sendo, para a maioria dos casos, a melhor solução (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O processo de produção do concreto tem sido aprimorado ao longo dos anos. Uma maior racionalização do processo de produção é possível devido ao desenvolvimento de centrais dosadoras de concreto, que recebem uma demanda crescente, devido aos diversos benefícios que oferecem, como: racionalização do canteiro de obras, maior controle de qualidade e maior produtividade (ABESC, 2011).

Um dos princípios da dosagem é obter um concreto que tenha um desempenho que atenda a certos requisitos previamente estabelecidos, sendo a trabalhabilidade do concreto fresco e a resistência do concreto endurecido a uma idade definida, os requisitos normalmente mais importantes (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Os critérios para aceitação e conformidade do concreto são dados pela NBR 12655 (ABNT, 2015). Em relação à resistência à compressão, estimada pelo ensaio de corpos de prova, um concreto é considerado conforme e portanto deve ser aceito quando o valor estimado da resistência característica, ou o valor de cada exemplar de uma amostragem a 100 %, atender à resistência característica do concreto à compressão especificada no projeto estrutural.

Quando um concreto apresenta resistência abaixo da resistência característica podem haver consequências negativas que irão comprometer o desempenho da estrutura de concreto armado, repercutindo na sua vida útil, pois a redução da resistência está associada a uma redução do módulo de elasticidade e um incremento do índice de vazios. Genericamente, é possível assumir que concretos de menor resistência tenderão a ser mais deformáveis e, portanto, tendem a ser mais suscetíveis à fissuração e à fadiga, se for o caso, além de serem mais suscetíveis ao ingresso de agentes agressivos (SILVA FILHO; HELENE, 2011). A NBR 12655 (ABNT, 2015) define um mínimo de resistência a ser atendido, mas não determina um limite superior para a resistência do concreto. Entretanto, a alta resistência do concreto, que tem correlação com a dosagem excessiva de cimento, também apresenta aspectos negativos.

Um dos aspectos negativos é que conforme há um aumento da resistência do concreto de substrato, há uma minimização da resistência de aderência de revestimentos devido à menor permeabilidade e baixa absorção. Logo, há uma maior tendência para o surgimento de manifestações patológicas em revestimentos, principalmente se não há um alinhamento entre os valores de resistência do substrato e as especificações do revestimento (BECKER; ANDRADE, 2017).

Além da questão de aderência, é preciso considerar que o consumo de cimento é responsável por 5% das emissões de CO₂ no mundo e a emissão para o cimento brasileiro pode ser estimada em 604 kgCO₂ por tonelada (CSI, 2016). A produção do concreto é uma das principais formas de aplicação do cimento, logo, a eficiência no seu preparo e aplicação, com a diminuição da variabilidade e diminuição de perdas são fatores importantes para alcançar maior sustentabilidade no setor (LIMA, 2010).

Considerando os problemas de um concreto com baixa resistência e os desperdícios inerentes a uma resistência muito superior à especificada, faz-se necessário um bom controle de qualidade e um processo de produção eficiente. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é realizar um comparativo entre a variabilidade da resistência à compressão do concreto para as concreteiras estudadas, envolvendo o controle de concreto realizado em obras da região de Porto Alegre por um mesmo laboratório de controle. Para comparar os diferentes fornecedores de concreto foram utilizados

parâmetros objetivos como conformidade à resistência especificada aos 28 dias e a variabilidade dos resultados, medida pelo desvio padrão. Alguns parâmetros da produção foram desconsiderados na pesquisa, como: tipo de cimento, abatimento, aditivos, condições do tempo, tamanho de brita e forma de lançamento.

2 A resistência à compressão

No projeto e controle de qualidade do concreto, a resistência à compressão é uma propriedade normalmente especificada, dada a sua importância e principalmente por seu ensaio ser de fácil execução e permitir a estimativa de outras propriedades importantes como resistência à tração, módulo de elasticidade, estanqueidade e resistência às intempéries. Apesar das estruturas reais estarem submetidas a diversos outros carregamentos, como flexão, cisalhamento e tração, o ensaio de resistência à compressão uniaxial aos 28 dias é aceito universalmente como um índice geral de resistência do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Em obras convencionais é comum que o controle da resistência seja feito usando a estratégia de amostragem total, em que o concreto de cada betonada é controlado individualmente (100%), aliado ao mapeamento dos locais de lançamento na estrutura. A NBR 12655 (ABNT, 2015) determina que as amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a operação de concretagem, entre a descarga de 15 a 85% do volume do caminhão, conforme a NBR NM 33 (ABNT, 1998). Além disso, cada exemplar deve ser constituído por pelo menos dois corpos de prova da mesma amassada, conforme a NBR 5738 (ABNT, 2015), 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 à compressão, considerada a máxima resistência potencial daquele concreto, em função das boas condições de lançamento, adensamento e cura oferecidas aos corpos de prova, responsáveis pela adequada hidratação do cimento (CREMONINI, 1994).

Para a avaliação da resistência mecânica do concreto, a distribuição normal é apropriada na maioria dos casos, desde que a resistência seja inferior a 70 MPa. A distribuição normal é definida matematicamente por dois parâmetros estatísticos: a média (μ) e o desvio-padrão (σ) (ACI Committee 214R, 2011).

A resistência característica (f_{ck}) do concreto à compressão aos 28 dias de idade, é parâmetro de controle em projetos estruturais. Caso o concreto fosse dosado conforme o f_{ck} , por distribuição probabilística teríamos que 50% dos valores estariam abaixo do especificado e 50% acima, condição essa que seria inaceitável, dada a importância desse parâmetro para segurança da estrutura. Desta forma, convencionou-se dosar o concreto para uma resistência tal que apenas 5% dos valores de resistência atingidos pelo concreto estariam abaixo do f_{ck} (SILVA FILHO; HELENE, 2011).

A NBR 12655 (ABNT, 2015) define o cálculo da resistência de dosagem conforme a Equação 1:

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,65 s_d \quad (\text{Equação 1})$$

De forma a garantir que no máximo 5% dos resultados obtidos sejam inferiores ao valor de referência, o concreto deve ser dosado para que seja obtida uma resistência média (f_{cm}) superior ao f_{ck} , também denominada de resistência de dosagem, em função do desvio padrão (s_d) do processo.

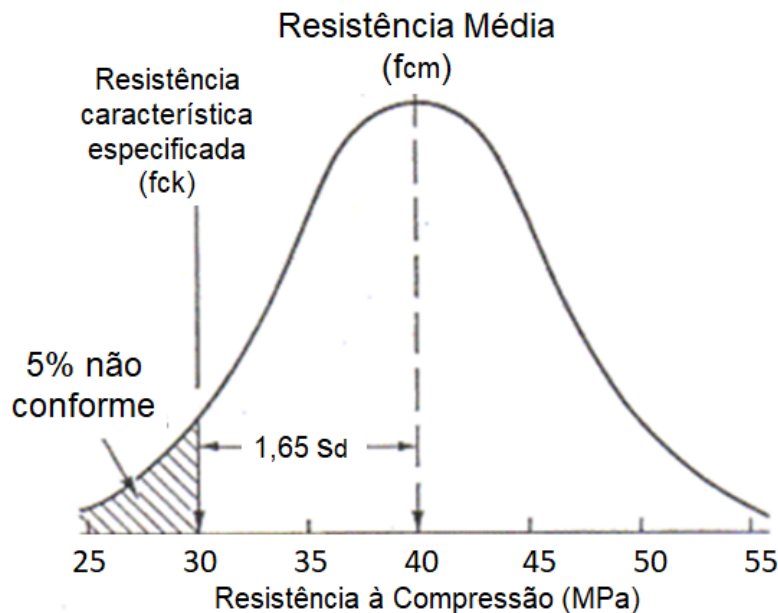


Figura 1 Distribuição de probabilidade com 95% de confiança
(adaptada da revista *Téchne*, número 152, 2009)

A resistência à compressão do concreto é aleatória por natureza, além disso, a variabilidade que ocorre na produção, e que resulta na variabilidade das propriedades finais do concreto, decorre da heterogeneidade dos materiais constituintes, dos equipamentos de produção empregados, dos procedimentos de ensaio e da influência do fator humano (SANTIAGO, 2011).

O desvio padrão (s_d) é o parâmetro que determina a maior ou menor dispersão dos valores em torno da média. A NBR 12655 (ABNT, 2015) determina que quando se trata de uma amostra, como no caso de um lote de concreto (elaborado e aplicado sob condições uniformes), o desvio padrão é denominado s_d e deve ser fixado com no mínimo 20 resultados consecutivos obtidos no intervalo de 30 dias, em período imediatamente anterior. Em nenhum caso o valor de s_d adotado pode ser menor que 2 MPa.

Para circunstâncias em que o desvio padrão do processo de produção é desconhecido, deve-se adotar, para o cálculo da resistência de dosagem, os valores determinados pela NBR 12655 (ABNT, 2015), que leva em consideração as condições de preparo do concreto. Tais condições de preparo são definidas em 3 categorias:

- a) 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;
- b) 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;
- c) 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 NBR NM 67 (ABNT, 1998) ou outro método normalizado.

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

Tabela 1 Desvio padrão (s_d) em função da condição de preparo do concreto
(fonte: NBR 12655, ABNT, 2015)

As disposições normativas variam entre os países, a norma norte-americana que trata da avaliação de conformidade do concreto, ACI 214R (ACI Committee 214R, 2011), determina de uma forma alternativa o cálculo da resistência de dosagem para os casos onde o desvio padrão é desconhecido (Tabela 2).

Resistência característica (fck)	Resistência de dosagem recomendada (fcm)
fck < 21 MPa	fcm = fck + 7,0 MPa
21 MPa ≤ fck ≤ 35 MPa	fcm = fck + 8,0 MPa
fck > 35 MPa	fcm = 1,1 fck + 5,0 MPa

Tabela 2 Resistência de dosagem conforme f_{ck} (fonte: ACI 214R, ACI Committee 214R, 2011)

A Tabela 3, que consta na norma ACI 214R (ACI Committee 214R, 2011), permite a análise do nível de qualidade do controle de produção do concreto. Percebe-se que um desvio padrão de 4 MPa, considerado pela norma brasileira uma base para controle de concreto usinado, se encontra no nível “bom” pelo padrão da norma americana.

Classe de operação	Desvio padrão para diferentes padrões de controle (MPa)				
	Excelente	Muito bom	Bom	Regular	Ruim
Construção em geral	< 2,8	2,8 a 3,4	3,4 a 4,1	4,1 a 4,8	> 4,8
Preparo em laboratório para testes	< 1,4	1,4 a 1,7	1,7 a 2,1	2,1 a 2,4	> 2,4

Tabela 3 Padrões de controle de qualidade para $f_{ck} < 35$ MPa
(fonte: ACI 214R, ACI Committee 214R, 2011)

Cabe-se ressaltar que para os casos em que o desvio padrão é conhecido, a norma americana é mais flexível, permitindo que seja definido pela concreteira o nível de confiança a ser utilizado, recomendando que este seja superior a 90%.

3 Variabilidade da resistência à compressão

Diversos fatores podem afetar a qualidade de um concreto, desde o armazenamento das matérias-primas que o constituem até os ensaios que o caracterizam. Algumas pesquisas buscaram delimitar a influência destes fatores.

O estudo de Mascolo (2012) traz um exemplo de como as operações de amostragem podem influenciar os resultados. Neste trabalho buscou-se determinar se existem variações da resistência à compressão aos 28 dias de amostras coletadas em 5 pontos ao longo da descarga de um mesmo caminhão betoneira. Através deste trabalho, Mascolo constatou que existe elevada variação da resistência à compressão média entre os lotes e um mesmo traço de concreto e observou ainda que em diferentes dias de produção havia diferentes resistências médias para o mesmo traço teórico, demonstrando assim que há fatores externos, não mensurados em sua pesquisa, que influem globalmente nas propriedades da mistura.

Stoffels (2014) contribuiu para o estudo da variabilidade do concreto com a análise de duas obras, atendidas por duas concreteiras diferentes. Nesta pesquisa, constatou-se que a obra I foi atendida por uma concreteira de desvio padrão estimado em 5,5 MPa e cuja média de valores de resistência foi de 41,8 MPa, para um f_{ck} de 30 MPa. Apesar do desvio padrão acima do recomendado pela NBR 12655 (ABNT, 2015), de 4 MPa, a resistência de dosagem 11,8 MPa acima do f_{ck} garantiu a conformidade de 100% dos lotes estudados. No segundo caso, a obra II foi atendida por uma concreteira que, entre as 38 concretagens analisadas, teve resultados com valores médios de 34,0 MPa e desvio padrão de 2,9 MPa. Embora o desvio padrão tenha se mostrado menor que o da Obra I, indicando melhores condições de controle, 2 lotes de concreto se mostraram não conformes.

Os ingredientes de um bom concreto são exatamente os mesmos de um “mau” concreto, e é apenas o conhecimento, com o apoio do entendimento, o responsável pela diferença (NEVILLE, 2015). Entre as falhas que podem ser cometidas em centrais dosadoras pode-se citar: equipamentos de dosagem descalibrados, agregados de má qualidade, cimento de má qualidade, dosagem inadequada, desconhecimento sobre o comportamento dos materiais, excesso ou escassez de aditivos. Além dos erros na etapa de transporte do material, como o uso caminhões com betoneiras inadequadas (pás internas do tanque misturador pequenas demais) e demora no transporte entre central e a obra (TÉCHNE, 2009).

O conjunto de operações a serem realizados e as normas que os descrevem, a fim de garantir a qualidade do concreto, serão aprofundados nos próximos itens.

3.1 Materiais componentes do concreto

A NBR 12655 (ABNT, 2015) determina que os materiais componentes do concreto não podem conter substâncias prejudiciais passíveis de comprometer a durabilidade do concreto. Ainda, conforme a norma, os materiais devem permanecer armazenados na obra ou na central de dosagem, identificados durante o armazenamento, para que seja possível refazer o traço utilizado para ensaios. É essencial que os documentos comprobatórios da origem e característica de cada material permaneçam guardados por no mínimo 5 anos.

Em relação ao armazenamento dos materiais, a NBR 12655 (ABNT, 2015) fornece as seguintes disposições:

- O cimento a granel deve ser estocado em silo estanque com respiradouro com filtro e cada silo de conter identificação de tipo, classe e marca de cimento.
- Os agregados devem ser armazenados separadamente em função de sua granulometria, conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009). Não pode haver contato direto entre as diferentes graduações. Além disso, tal depósito deve ser construído de forma a evitar o contato com o solo e impedir a contaminação do material.
- A água deve ser armazenada em caixas estanques e tampadas, de modo a evitar a contaminação por substâncias estranhas.
- Os aditivos líquidos devem ser armazenados em suas embalagens originais ou em local que atenda às especificações do fabricante.

3.2 Dosagem dos materiais

Outro fator que afeta a qualidade do concreto é o proporcionamento dos materiais de acordo com o traço. A NBR 7212 (ABNT, 2012) determina o método de medição e a máxima variação aceitável por componente. Os agregados devem ser dosados em massa, e a maior variação aceitável deve ser 3% do valor nominal da massa ou 1% da capacidade da balança. Para o cimento, o desvio máximo é igual à 1% da capacidade da balança. A norma determina também que o cimento nunca pode ser dosado em conjunto

com os agregados e pode ser em sacos, desde que as quantidades estejam dentro das tolerâncias dispostas. Quanto à água o desvio máximo tolerável é de 3% em relação à quantidade nominal, considerando ainda a umidade dos agregados e a água utilizada para dissolução dos aditivos.

A fim de manter um bom nível de precisão na dosagem, a NBR 7212 (ABNT, 2012) determina prazos para aferição dos equipamentos: para centrais com célula de carga a calibração deve ser feita a cada 6 meses, para centrais com transmissão mecânica, a calibração deve ser feita a cada 3 meses e em obras especiais a periodicidade deve ser estabelecida em intervalos conforme acordo entre as partes.

3.3 Mistura do concreto

Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), os componentes do concreto devem ser misturados até formar uma massa homogênea, sendo que essa operação pode ser executada na obra, na central de concreto ou em caminhão betoneira.

Quando a mistura se dá em centrais misturadoras, conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012) estas possuem um equipamento estacionário, no qual os materiais são colocados e misturados até formarem uma mistura homogênea, sendo então descarregados em veículos para o transporte até a obra, sendo as especificações quanto ao tempo de mistura, velocidade, número de rotações e capacidade volumétrica fornecidas pelo fornecedor.

Ainda, conforme a norma, quando a mistura se dá nas centrais dosadoras, os materiais são dosados na usina e sua mistura é feita durante o transporte, no caminhão betoneira. Os materiais devem ser colocados no caminhão betoneira na ordem e nas quantidades totais tecnicamente determinadas. Conforme afirma Guimarães (2006), ainda outros pontos podem influenciar na qualidade de preparo do concreto, conforme abaixo:

- O amassamento do concreto deve ser realizado até que o mesmo apresente cor e consistência uniformes;
- As betoneiras não devem ser carregadas além de sua capacidade, uma vez que, quando sobrecarregadas, elas apresentam tensões e deformações excessivas do equipamento, bem como uma mistura do concreto não uniforme;
- As velocidades de operação das betoneiras devem seguir as recomendações dos fabricantes e passarem por constantes aferições;
- A performance da betoneira é reduzida quando as suas pás e paredes estão com incrustações de concreto, sendo de extrema importância a limpeza das mesmas ao término de cada período de maseiras;
- A manutenção dos equipamentos deve ser periódica, uma vez que os desgastes propiciam redução da eficiência;
- O transporte deve ser realizado de forma a evitar a segregação e/ou a perda de argamassa de cimento.

3.4 Transporte e lançamento do concreto

Por determinação da NBR 7212 (ABNT, 2012), o veículo a efetuar o transporte pode ou não ser dotado de dispositivo de agitação, mas é necessário que tenha estanqueidade, além de fundo e paredes revestidos de material não absorvente. O tempo de transporte deve ser fixado de forma que o fim do adensamento não ocorra após o início da pega do concreto, de forma a evitar a formação de juntas frias, além disso, deve ser inferior a 90 minutos para o caso de caminhão betoneira e inferior a 40 minutos para o caso de veículo sem agitação. Ainda, conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012), o período de lançamento e adensamento deve ser iniciado no máximo após 30 minutos da chegada do caminhão na obra e ser concluído em até 150 minutos a partir do início da mistura.

Além disso, a mesma norma define o intervalo normal de temperatura para lançamento do concreto, entre 5°C e 30° C Quando a concretagem se dá fora deste intervalo, cuidados especiais devem ser tomados a fim de evitar a fissuração de origem térmica. Além disso, qualquer outra condição especial, como temperatura e umidade relativa do ambiente, propriedades do cimento e dos materiais e peculiaridades da obra devem ser consideradas e os intervalos de tempo citados acima devem ser alterados de forma a garantir as condições previstas em norma.

3.5 Recebimento e aceitação do concreto em obra

De acordo com a NBR 12655 (ABNT, 2015), a avaliação do concreto fresco compreende a verificação da consistência através do ensaio de abatimento de tronco de cone, que deve ser executado conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), ou de espalhamento, em função do concreto especificado no pedido e a comprovação da dimensão máxima característica de agregado gráúdo solicitada.

Além disso, para o recebimento do concreto em obra, este deve ser acompanhado por um documento de entrega, conforme a NBR 7212 (ABNT, 2012). Tal documento deve conter algumas características, como: volume de concreto, hora de início da mistura, classe de consistência ou classe de espalhamento no início da descarga, dimensão máxima característica do agregado gráúdo, resistência do concreto à compressão e código de identificação do traço usado na dosagem do concreto. Todos os documentos do recebimento, bem como mapeamentos e ensaios de resistência devem estar disponíveis pelo prazo de 5 anos, sendo que sua disponibilidade deve ser assegurada pelo responsável técnico da obra. Feita a conferência da nota e verificação da consistência, caso alguma divergência seja constatada, o concreto não deve ser aceito.

3.6 Operações de ensaio e controle

Como forma de controle e determinação da resistência dos concretos, o ensaio de compressão dos corpos de prova moldados com amostra do concreto a ser analisado é mundialmente utilizado, dada a facilidade de execução do ensaio e a representatividade dos resultados fornecidos por ele.

Diversos procedimentos são necessários para a realização do ensaio, inicialmente a coleta de uma amostra representativa do lote, pegando a amostra do terço médio do caminhão, conforme as prescrições da NBR 7212 (ABNT, 2012). Para o concreto usinado, partindo-se para o preenchimento das fôrmas e adensamento, para o caso de corpos de prova de 10x20cm, o preenchimento é executado em duas camadas, com cada camada recebendo 12 golpes - conforme recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Após a moldagem, os corpos de prova devem permanecer em local protegido da incidência direta de sol, calor e vibrações por um período de aproximadamente 24 horas para hidratação e ganho de resistência. Assim que o concreto atingir essa resistência inicial ele pode ser transportado até um laboratório de ensaios para desmoldagem e cura. Com a retirada das fôrmas, as amostras são encaminhadas para a cura em um tanque de água ou em câmara climatizada, conforme prescrições da norma. As amostras permanecem em cura até um dia antes do ensaio de resistência, quando são retiradas e é realizada a preparação das bases (faces superiores e inferiores do cilindro). Na idade determinada para rompimento, os corpos de prova são submetidos à forças de compressão com aplicação de carga, conforme as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2018), até a ruptura.

Para cada ponto de coleta – em casos de amostragem total – para cada caminhão betoneira devem-se retirar pelo menos dois corpos de prova, e admitindo-se que a mistura é homogênea e que todos os procedimentos foram executados de forma semelhante, espera-se encontrar resultados numericamente iguais. Entretanto, isso não

ocorre devido à variabilidade inerente à produção do concreto e originada pelas operações de transporte, ensaio e controle, inevitáveis.

Além disso, há alguns fatores além dos descritos acima que podem gerar variabilidade no concreto, como equipamentos não calibrados, fôrmas fora das especificações da norma, falhas na moldagem e adensamento, amostragem fora do terço médio do caminhão, movimentação dos corpos de prova antes das 24 horas da concretagem, falta de cura ou cura ineficiente dos corpos de prova e falhas no capeamento e correção de topos dos corpos de prova (CARROMEU et al., 2012).

Dispersões em quaisquer etapas de ensaio resultam em variações na resistência que não correspondem à variação no concreto, fazendo com que deva-se tentar ao máximo manter a constância nas operações de forma a não prejudicar a avaliação da variabilidade real do processo de produção do concreto (HELENE; TERZIAN, 1992).

4 Programa de pesquisa

O estudo em questão foi realizado com base em dados históricos provenientes de uma empresa especializada em controle de concreto que atua na região de Porto Alegre. A Figura 2 mostra as etapas que foram seguidas no desenvolvimento da pesquisa.

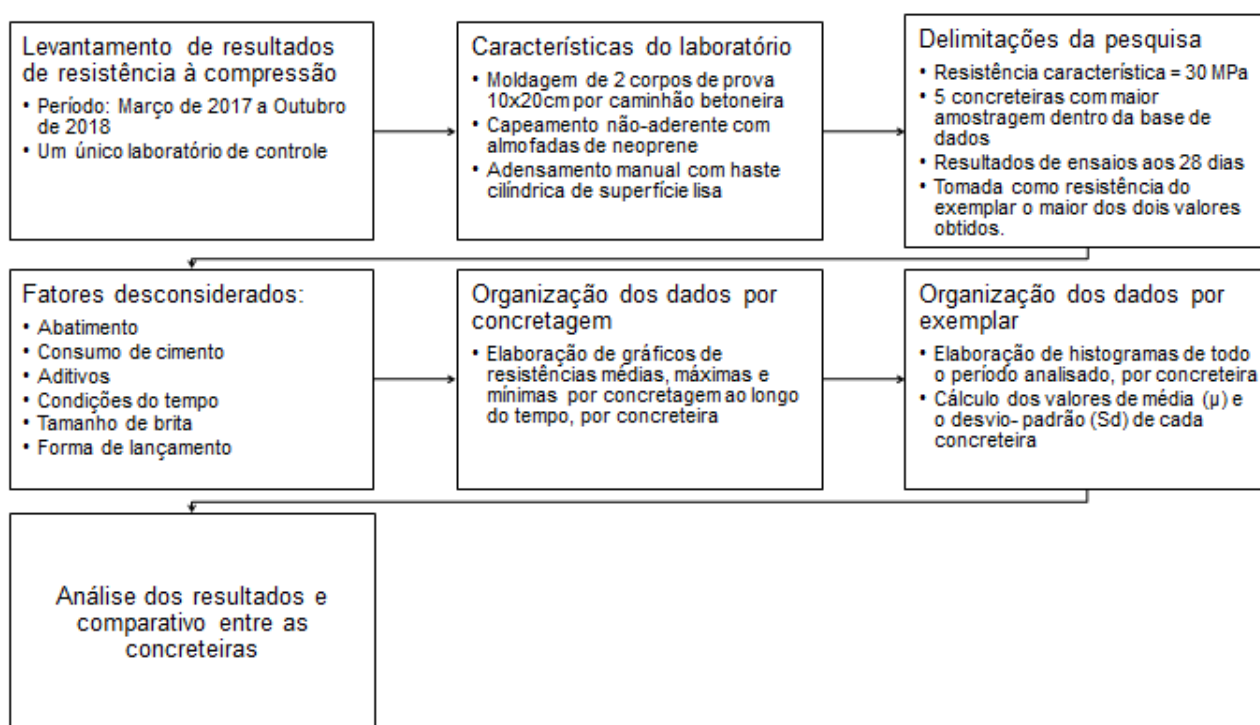


Figura 2 Fluxograma das etapas da pesquisa

Foram coletados dados de resistência à compressão de 39 obras, cujo concreto foi fornecido por 5 diferentes concreteiras, conforme Tabela 4. Dados referentes a concreteiras com amostragem pouco relevante não foram considerados. A identificação de cada concreteira foi suprimida. O levantamento de dados abrange o período desde março de 2017 até outubro de 2018.

Para cada concretagem submetida ao controle de concreto, foram registradas as seguintes informações: Concreteira responsável, obra atendida, data de moldagem, resistência característica e os valores de resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados.

Todas as obras atendidas foram submetidas à amostragem total, com moldagem de corpos de prova para análise de cada caminhão betoneira. A quantidade de exemplares

por caminhão depende do número de idades para ensaio, que varia conforme especificidades de cada obra. A resistência à compressão na idade de 28 dias é o principal valor de referência para avaliação da conformidade do concreto, desta forma, o presente estudo fará a comparação apenas nessa idade. Considerando que 2 corpos de prova formavam cada exemplar, conforme recomendação da NBR 12655 (ABNT, 2015), foi tomada como resistência do exemplar o maior dos dois valores obtidos no ensaio de resistência à compressão.

Para delimitar a análise, foram selecionados apenas lotes de concreto cuja resistência característica fosse de 30 MPa. Outros fatores como: abatimento, consumo de cimento, aditivos, condições do tempo, tamanho de brita, forma de lançamento do concreto não foram levados em consideração.

Concreteira	Nº de Concretagens	Nº de Exemplares	Nº de Obras
Concreteira 1	532	3112	15
Concreteira 2	130	383	10
Concreteira 3	182	1080	9
Concreteira 4	26	74	3
Concreteira 5	77	205	4
TOTAL	947	4854	39

Tabela 4 Quantitativo da amostragem por concreteira

A moldagem dos corpos de prova foi realizada conforme procedimentos definidos na NBR 5738 (ABNT, 2015), com moldes cilíndricos de 10x20cm. O adensamento foi realizado manualmente, com haste cilíndrica de superfície lisa.

No laboratório em questão, o procedimento de preparo dos topos utilizado é uso de capeamento não aderente, com almofadas confinadas de neoprene. Este método não é regulamentado pela normalização brasileira, mas vem sendo utilizado cada vez mais nos laboratórios do país. A NBR 5738 (ABNT, 2015) faz alusão à realização de outros métodos para regularização dos topos, desde que estes sejam submetidos à avaliação prévia por comparação estatística, com resultados obtidos de corpos de prova capeados por processo tradicional, e os resultados obtidos apresentem-se compatíveis. Os trabalhos desenvolvidos por Jerônimo et al. (2011) e Chies (2011) demonstram que o neoprene apresenta resultados similares aos da retificação para concretos convencionais. Concluído o levantamento da base de dados e aplicadas as limitações de concreteira, idade e f_{ck} , foi calculada a resistência média por concretagem. Além disso, definidos os maiores e menores exemplares para realizar uma comparação e estimar a amplitude da resistência em uma mesma concretagem. Para cada concreteira foi plotado um gráfico que apresenta a variação da resistência ao longo do tempo, demonstrando também os valores máximos e mínimos. Em um segundo momento, os dados foram listados por exemplar, a fim permitir a plotagem do histograma dos resultados de todo o período analisado para cada concreteira, além do cálculo da média (μ) e o desvio-padrão (s_d) de cada empresa, permitindo a elaboração de um comparativo.

5 Resultados e discussões

Para início das análises, os valores de cada exemplar, independente da concretagem, foram listados em ordem cronológica, a fim de calcular a média e o desvio padrão de cada concreteira no período de estudo.

5.1 Concreteira 1

A Concreteira 1 possui a maior quantidade de dados para análise, totalizando 3117 exemplares, moldados ao longo de 532 concretagens. Para permitir a visualização e devido à grande quantidade de informações, os valores médios de resistência à compressão e os respectivos valores máximos e mínimos para cada concretagem apresentados na Figura 3.

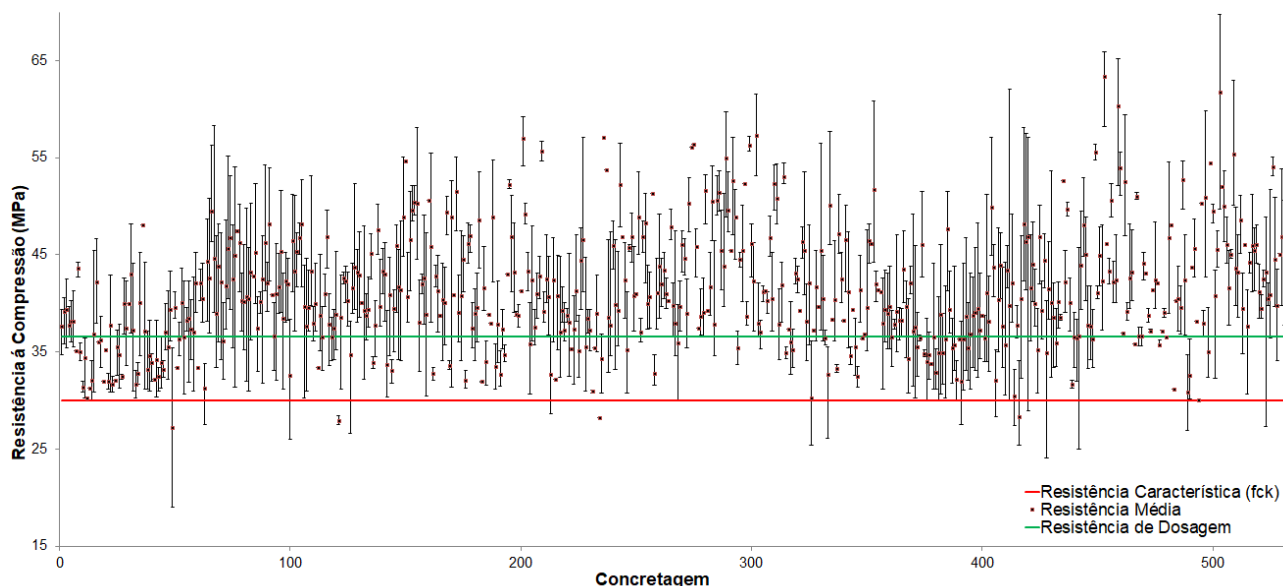


Figura 3 Dados de resistência à compressão da Concreteira 1

Com esse gráfico, pode-se notar que há uma grande variação entre os valores médios de cada concretagem, além disso há uma expressiva variação entre as séries de uma mesma concretagem. As possíveis causas para as grandes variações em uma mesma concretagem são discutidas no item 3. Na Figura 4 segue um histograma com os dados da Concreteira 1.

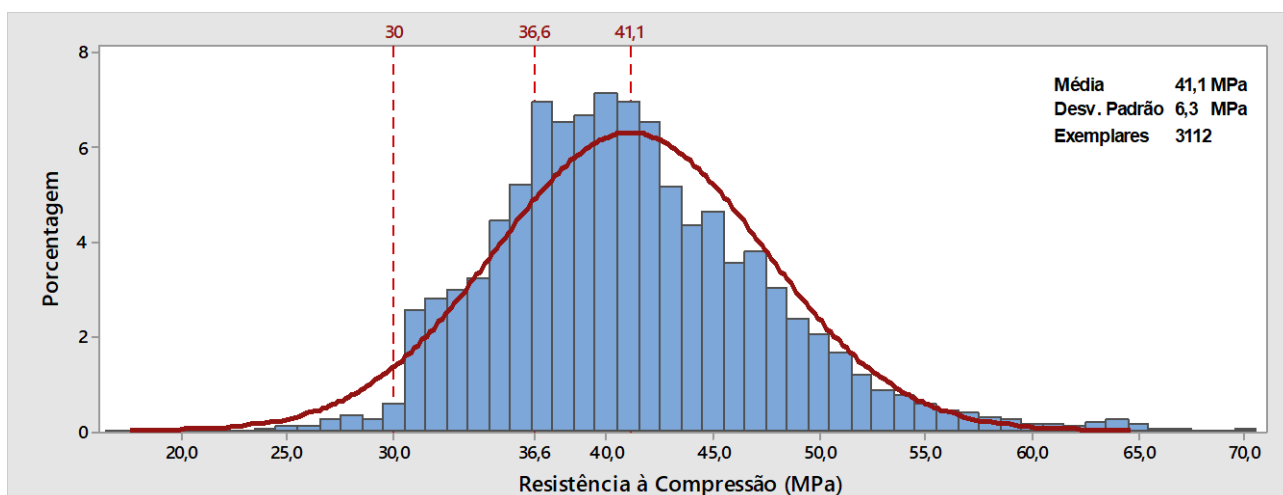


Figura 4 Histograma da resistência à compressão da Concreteira 1

É importante analisar que os valores médios da concreiteira – logo, a resistência de dosagem estimada da empresa – são superiores à resistência de dosagem sugerida pela NBR 12655 (ABNT, 2015) para um concreto produzido em central. Também percebe-se que o desvio padrão, calculado com base em todo o período de análise, é muito maior que o estimado para a Condição A – classificação que engloba as concreiteiras – aproximando-se de um desvio de Condição C. Para a Condição C apenas o cimento é

medido em massa e os demais agregados são medidos em volume, sendo permitida apenas para preparo de concretos de f_{ck} 10 ou 15, considerando o controle precário da dosagem.

Ainda assim, apenas 1% dos resultados da concreteira encontram-se abaixo da resistência característica solicitada pelo cliente, mas isso se deve à superdosagem, não devido aos padrões de controle da concreteira, tendo em vista que, para um f_{ck} de 30, a concreteira em uma ocasião entregou um concreto que atingiu a resistência de 69,8 MPa aos 28 dias.

5.2 Concreteira 2

Para a concreteira 2, a base de dados foi um pouco menor, com 383 exemplares, provenientes de 130 concretagens distintas. Assim como para a Concreteira 1, a resistência média e seus respectivos máximos e mínimos foram plotados ao longo do tempo, conforme gráfico da Figura 5.

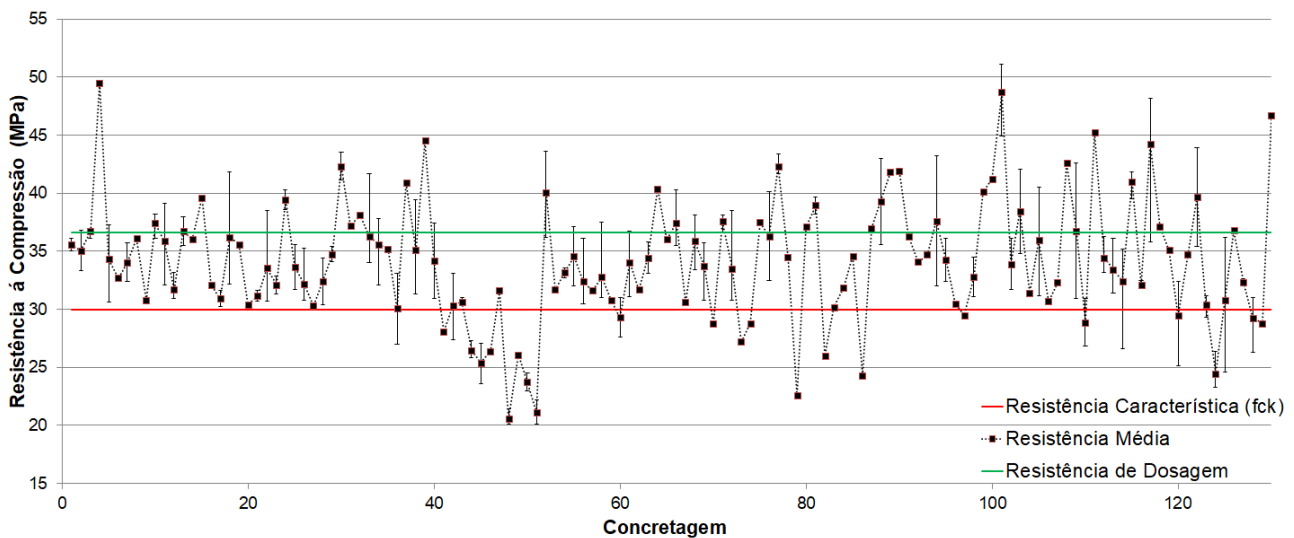


Figura 5 Dados de resistência à compressão da Concreteira 2

Um ponto que inicialmente pode-se ressaltar na análise dos gráficos é que a variação dos valores de resistência em uma mesma concretagem são menores do que os da Concreteira 1, mas percebe-se também que a Concreteira 2 apresenta mais valores abaixo do f_{ck} solicitado. A Figura 6 mostra uma aproximação da curva normal para a Concreteira 2.

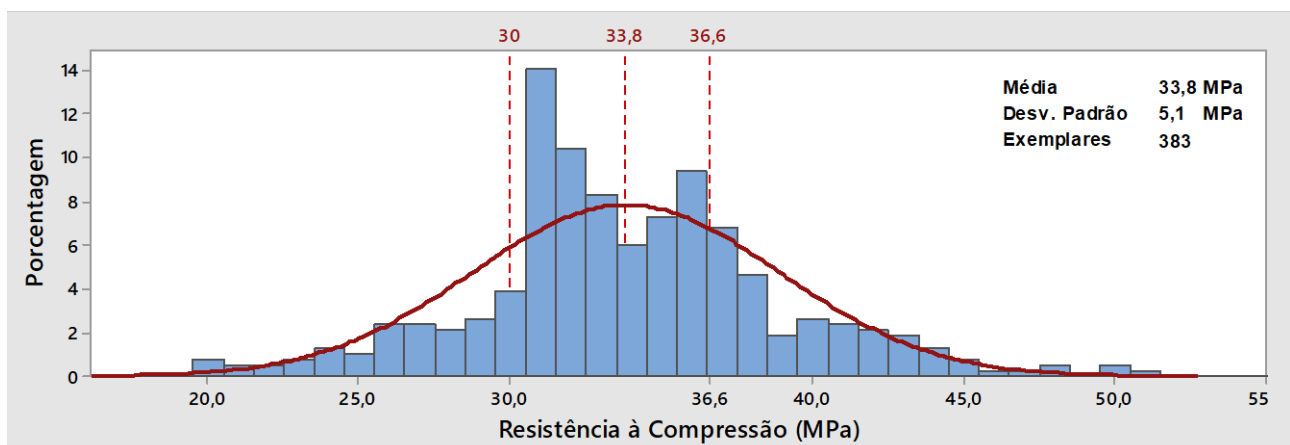


Figura 6 Histograma da resistência à compressão da Concreteira 2

Percebe-se que desvio padrão da Concreteira 2 ($s_d=5,1\text{MPa}$) é de fato menor que o desvio da Concreteira 1 ($s_d=6,3\text{MPa}$), mas ainda assim encontra-se acima do sugerido pela norma como o máximo para a Condição A de preparo do concreto ($s_d=4\text{MPa}$). Sendo assim, a sua resistência de dosagem pode ser estimada em $33,8\text{ MPa}$, o que seria aceitável caso a concreteira tivesse um desvio padrão de $2,3\text{ MPa}$, menos da metade do desvio real da concreteira e próximo ao mínimo permitido, de 2 MPa . A média baixa de resistência, associada ao desvio padrão ainda elevado, colaboram para que a empresa apresente resultados inferiores aos exigidos em $14,6\%$ dos exemplares avaliados.

5.3 Concreteira 3

Para a Concreteira 3 tem-se resultados de 182 concretagens, com algumas séries de 20 a 30 exemplares, totalizando 1080 caminhões. O resultado das resistências por concretagem segue na Figura 7.

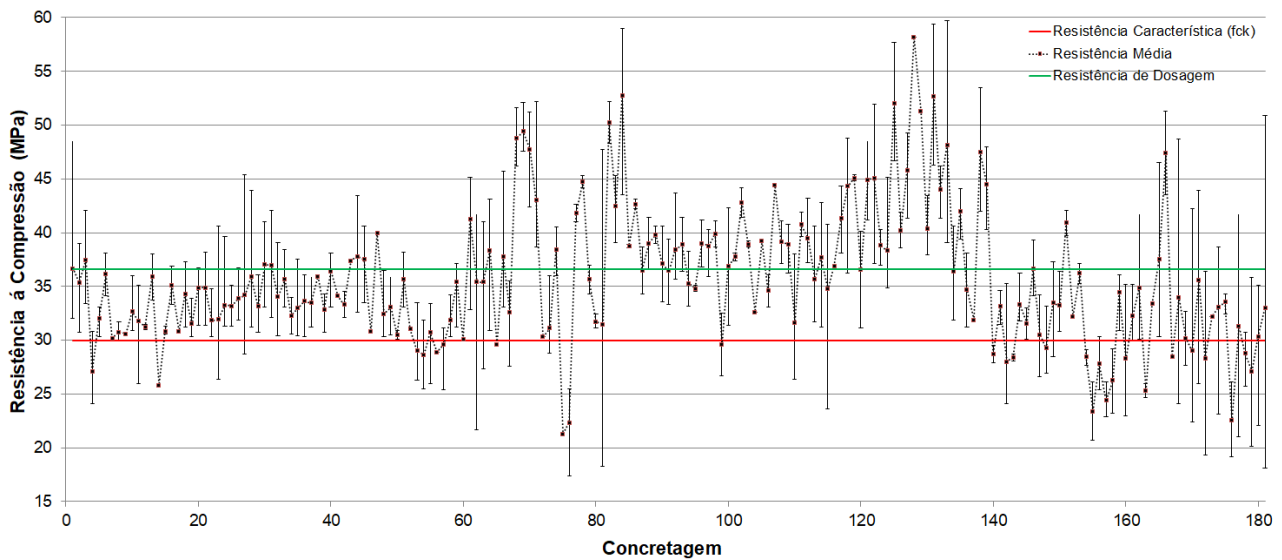


Figura 7 Dados de resistência à compressão da Concreteira 3

Como consequência de algumas concretagens de grandes volumes, a amplitude de valores de resistência para uma mesma concretagem foram bastante expressivos. Ainda, percebe-se que a Concreteira 3 apresenta vários resultados abaixo do f_{ck} . A Figura 8 apresenta o histograma gerado a partir dos dados de todo o período analisado para a Concreteira 3.

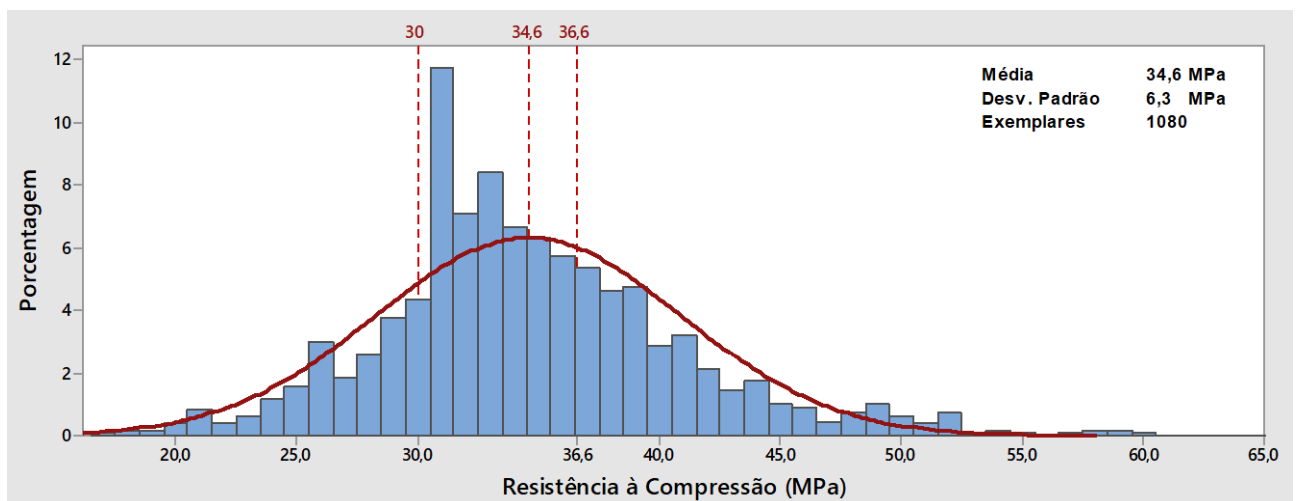


Figura 8 Histograma da resistência à compressão da Concreteira 3

Pode-se perceber que a variabilidade da Concreteira 3 tem valor próximo ao da Concreteira 1, ambas com aproximadamente 6,3 MPa de desvio padrão. Tal variabilidade pode ser considerada alta em relação à referência de 4 MPa da NBR 12655 (ABNT, 2015). Ao contrário da Concreteira 1, a Concreteira 3 não tem o cuidado de fazer uma dosagem para resistências médias mais elevadas para compensar seu alto desvio, sendo que sua resistência de dosagem é de 34,6 MPa, até mesmo inferior ao sugerido pela norma. O alto desvio padrão, aliado à baixa média de resultados, tem como consequência um índice de não conformidade de 17,7%, sendo o pior resultado dentro do presente estudo.

5.4 Concreteira 4

A Concreteira 4 é a que possui menor número de resultados para análise, sendo possivelmente a amostragem menos representativa, com apenas 74 exemplares, agrupados em 26 concretagens. O gráfico da concreiteira segue na Figura 9.

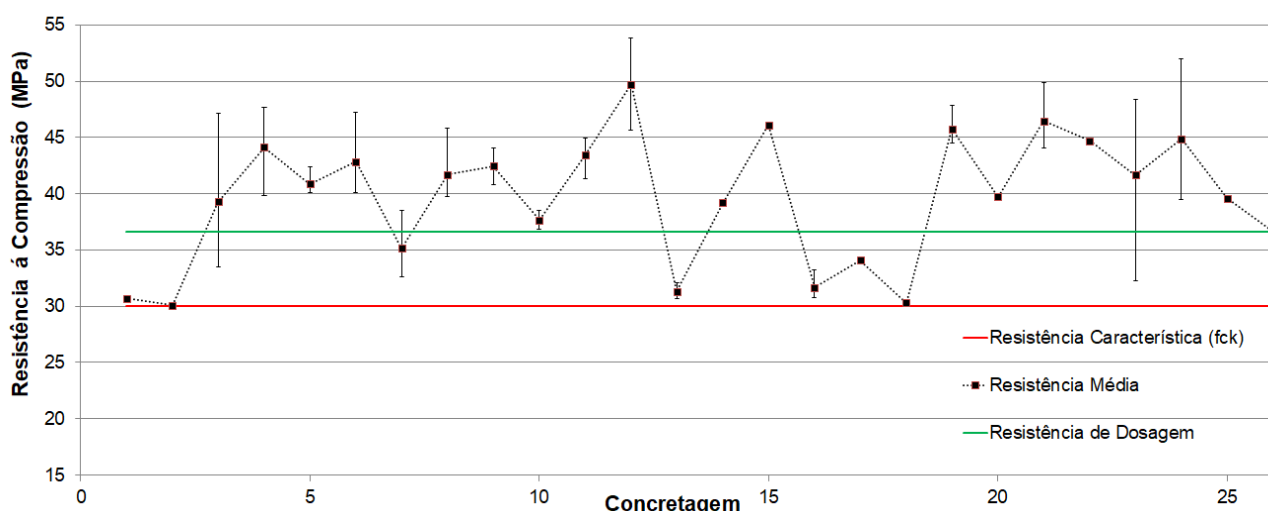


Figura 9 Dados de resistência à compressão da Concreteira 4

Pode-se perceber que todos os valores encontram-se acima do f_{ck} e que a maioria encontra-se também acima da resistência de dosagem sugerida pela norma. O histograma para a Concreteira 4 fornece os demais dados para a análise (Figura 10).

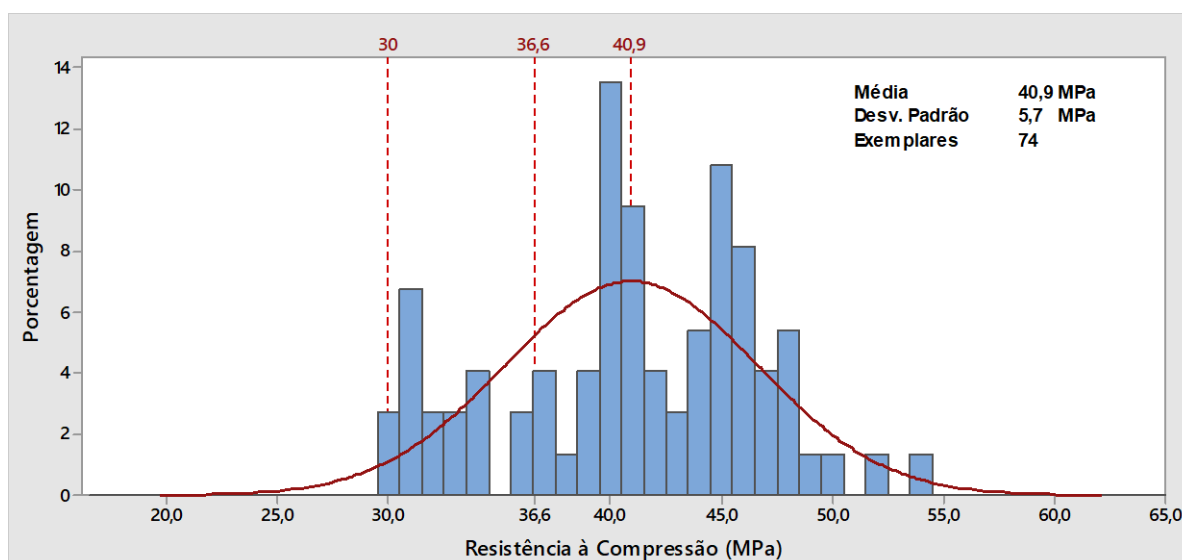


Figura 10 Histograma da resistência à compressão da Concreteira 4

Através da análise do histograma vê-se que a curva de probabilidade não se aproxima tanto da curva normal, o que pode ser justificado pela pequena amostragem. Percebe-se que a média dos resultados é de 40,9 MPa, muito acima da resistência de dosagem recomendada pela NBR 12655 (ABNT, 2015), mas que o desvio também apresenta um valor superior ao indicado, situando-se entre as condições B e C de dosagem, ainda que esteja em uma condição um pouco melhor do que o das concreteiras 1 e 3. Uma vez que a resistência média – que aqui se considera como a resistência de dosagem da concreteira – é bem alta, nenhum dos seus corpos de prova ficaram abaixo do f_{ck} .

5.5 Concreteira 5

A análise da Concreteira 5 será baseada em 205 exemplares moldados ao longo de 77 concretagens. Os dados de resistência média da concretagem, bem como os valores de máximo e mínimo das resistências, podem ser vistos no gráfico da Figura 11.

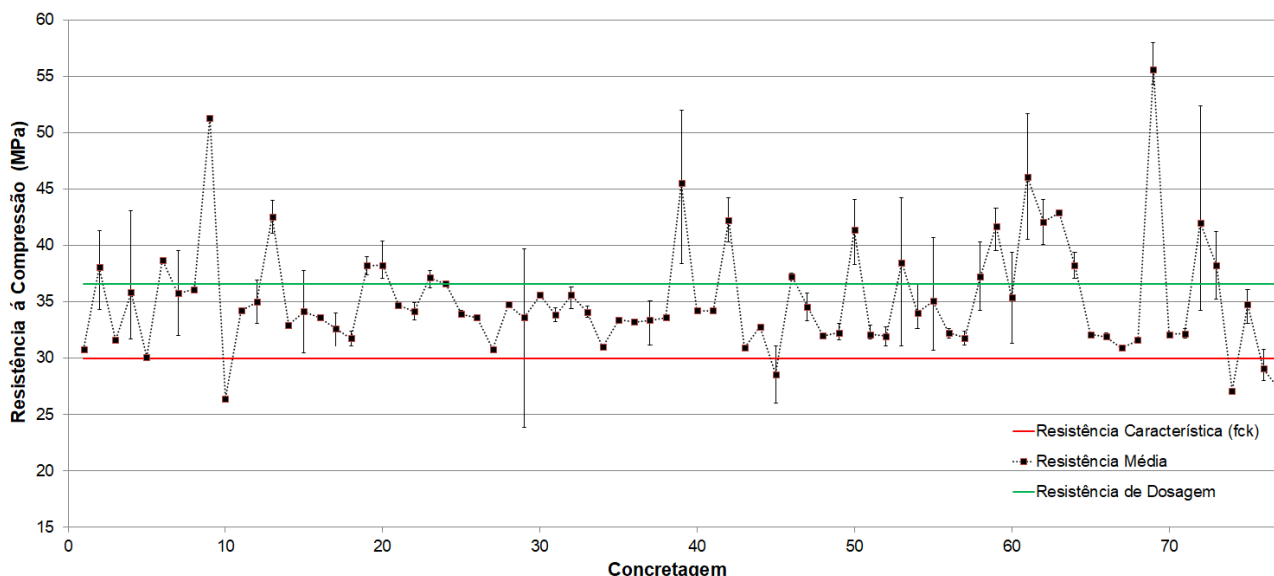


Figura 11 Dados de resistência à compressão da Concreteira 5

O gráfico de aproximação normal (Figura 12) fornece mais parâmetros para a análise dos resultados.

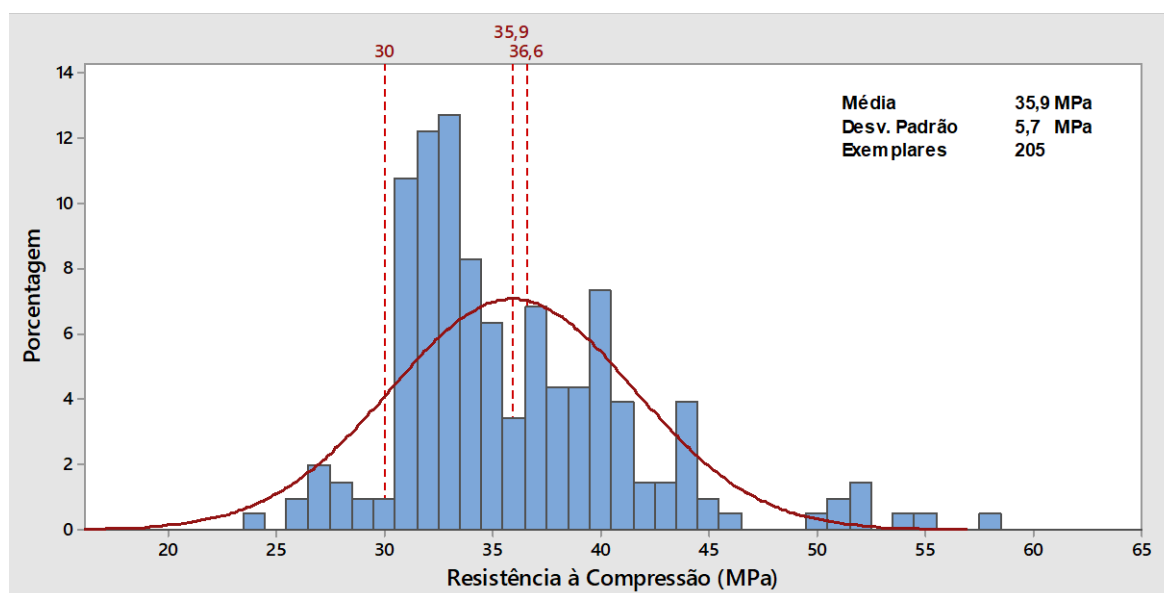


Figura 12 Histograma da resistência à compressão da Concreteira 5

Pode-se perceber no histograma uma concentração de valores entre o f_{ck} e a resistência de dosagem proposta pela norma, o que cria a expectativa de um desvio padrão inferior ao das demais concreteiras. Apesar de inicialmente as condições de controle da Concreteira 5 aparentarem ser superiores, uma análise mais profunda permite perceber que alguns resultados se afastam da média, aumentando muito o desvio padrão. O desvio padrão apresentado pela empresa é de 5,7 MPa, um desvio próximo ao da condição B, equivalente ao cimento medido em massa, água medida em volume e agregados medidos em massa combinada com volume, preparo que seria adequado para concretos de até 20 MPa. Ainda, pode-se perceber que a média da resistência é de 35,9 MPa, que seria adequada para um processo com desvio padrão de 3,6 MPa. Neste caso, o índice de não conformidade foi de 5,9%, um pouco superior aos 5% teoricamente tolerados.

5.6 Comparativo entre as concreteiras

A seguir, na Figura 13, tem-se um gráfico comparativo, mostrando os resultados de médias e desvios padrão de todas as concreteiras.

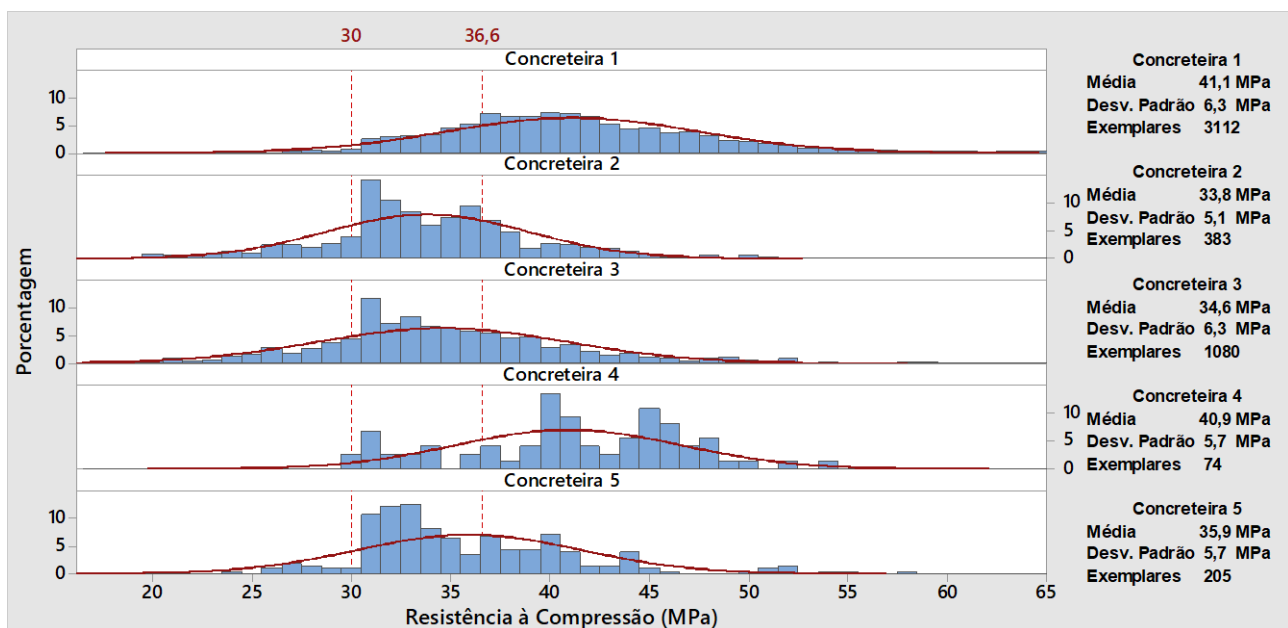


Figura 13 Histograma da resistência à compressão por concreteira

Através da análise dos dados apresentados, pode-se perceber que as Concreteiras 1 e 4 possuem os maiores valores médios de resistência, com resultados mais deslocados à direita. As Concreteiras 2 e 3 possuem valores de média semelhantes e inferiores ao valor de dosagem sugerido pela NBR 12655 (ABNT, 2015). A Concreteira 5, por sua vez, trabalha com uma média muito próxima ao indicado na norma para a Condição A de mistura, ficando apenas 0,6 MPa abaixo do recomendado. A Tabela 5 apresenta um resumo de todos os resultados obtidos das 5 concreteiras avaliadas.

Concreteira		Concreteira 1	Concreteira 2	Concreteira 3	Concreteira 4	Concreteira 5	TOTAL
Nº de Exemplares		3112	383	1080	74	205	4854
Superior ao f_{ck}	Exemplares	3080	327	889	74	193	4563
	%	99,0%	85,4%	82,3%	100,0%	94,1%	94,0%
Inferior ao f_{ck}	Exemplares	32	56	191	0	12	291
	%	1,0%	14,6%	17,7%	0,0%	5,9%	6,0%
Maior Exemplar (MPa)		69,8	51,1	59,7	53,8	58,0	
Menor Exemplar (MPa)		19,0	20,1	17,4	30,1	23,9	
Resistência Média (MPa)		41,1	33,8	34,6	40,9	35,9	
Diferença em relação à resistência de dosagem recomendada ($f_{cm} = 36,6$ MPa)	MPa	4,5	-2,8	-2,0	4,3	-0,7	
	%	12,4%	-7,6%	-5,5%	11,8%	-1,8%	
Desvio Padrão (MPa)		6,3	5,1	6,3	5,7	5,7	
Diferença em relação à Condição A de preparo (Desv. Padrão = 4MPa)	MPa	2,3	1,1	2,3	1,7	1,7	
	%	58,2%	27,0%	57,8%	42,5%	42,5%	

Tabela 5 Resultados comparativos das 5 concreteiras

Destaca-se que os valores das Concreteiras 1, 2 e 3 são os mais representativos, devido à maior amostragem, e são os que mais se aproximam de distribuições normais. Cabe ressaltar que os desvios padrão de todas as centrais estão muito superiores aos indicados como Condição A de preparo, o que demonstra um deficiente controle de qualidade das empresas analisadas ou ainda de seus fornecedores, principalmente levando em conta que as normas brasileiras tendem a apresentar valores conservadores como referência. Por outro lado, a norma brasileira parece afastada da realidade atual das concreteiras, pelo menos para a região de Porto Alegre, pois nenhuma das empresas analisadas cumpriu simultaneamente todos os parâmetros estabelecidos, principalmente em relação à variabilidade. A norma americana ACI 214 (ACI Committee 214R, 2011), por exemplo, estabelece um desvio padrão a ser tomado como referência de 4,8 MPa, ainda inferior, porém mais próximo dos valores encontrados no presente trabalho.

A variação encontrada nas diferentes empresas pode ter sua causa em diversos fatores, como a variação dos materiais - principalmente do cimento - ou à falta de calibração nas balanças de medição ou ainda de procedimentos de ensaio e controle inadequados. Algumas concreteiras contornam o problema utilizando uma resistência de dosagem superior à recomendada pela norma, o que gera mais custos à empresa e a seus clientes, além de maiores danos ambientais pelo consumo excessivo de cimento.

As outras 3 empresas analisadas, talvez por não considerarem efetivamente a variabilidade de seu processo, utilizam uma resistência de dosagem inferior à recomendada, fabricando concretos que não alcançam a resistência característica para a qual foram projetados, podendo causar riscos à segurança das edificações onde foram aplicados.

O trabalho de Stoffels (2014), abordado brevemente no item 3, reforça a necessidade de melhores condições de preparo e atenção à adequada resistência de dosagem, tendo em vista que as obras estudadas apresentaram problemas semelhantes aos aqui discutidos.

6 Considerações Finais

Baseado na análise dos resultados obtidos a partir do levantamento de dados desenvolvido na pesquisa, onde se avaliou os resultados de resistência à compressão de 39 obras, atendidas por 5 concreteiras, com moldagem de 4859 exemplares, distribuídos ao longo de 947 concretagens, são apresentadas as conclusões alcançadas.

Após a análise proposta, pode-se concluir que apesar dos avanços tecnológicos na área, a não-conformidade do concreto parece persistir como um problema a ser solucionado. Têm-se valores de desvio padrão muito superiores aos aceitáveis conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015) para concretos com f_{ck} acima de 20 MPa, em todas as concreteiras.

Considerando que o valor de referência da norma é um desvio de 4 MPa, as concreteiras apresentam variabilidade de 27% a 58,2% maior que o esperado. É importante destacar que uma parcela da variabilidade encontrada pode não depender apenas das concreteiras envolvidas, podendo ser atribuída às variações do cimento ou ainda dos procedimentos de ensaio adotados pelo laboratório de controle.

Entre as 5 concreteiras avaliadas, apenas duas atenderam à tolerância de 5% de exemplares não conformes, sendo que no pior dos casos, 17,7% dos exemplares ensaiados se mostraram inferiores à resistência característica especificada. Em relação à resistência de dosagem estimada para cada empresa, percebe-se que apenas duas trabalham com valores suficientemente altos, capazes de compensar a elevada variabilidade e garantir a conformidade do concreto. As outras 3 concreteiras apresentaram médias de resistência até 7,6% abaixo do esperado para atendimento de uma resistência característica de 30 MPa, o que se reflete no grau de confiança do processo.

A grande variabilidade constatada no presente estudo causa diversos problemas aos concretos utilizados em obra, uma vez que, em algumas concreteiras ocorre superdosagem para suprir o desvio padrão elevado, elevando os custos, aumentando a emissão de CO₂, e prejudicando a aderência de revestimentos. Enquanto em outras, a falta de controle chega ao cliente final, com diversos resultados abaixo do especificado pelo cliente, o que pode gerar mais custos como a necessidade de reforços estruturais e compromete inclusive a vida útil da estrutura.

7 Agradecimentos

Agradeço à Engemat e em especial ao Eng. Peralta pelo fornecimento dos dados que permitiram a realização deste trabalho.

8 Referências bibliográficas

ABESC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM - ABESC. 2011. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br>>. Acesso em: 26 de agosto de 2018.

ACI Committee 214R. **ACI 214R-11: Guide to evaluation of strength test results of concrete**. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan/USA, 2011. Disponível em: <<http://www.concrete.org/general/home.asp>>. Acesso em 14 de novembro de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação** NBR 7211. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **Concreto - Amostragem de concreto fresco** NBR NM 33. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

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

_____. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos** NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova** NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento** NBR 12655. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **Execução de concreto dosado em central - Procedimento** NBR 7212. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BECKER, F. A.; ANDRADE, J. J. O. **Avaliação da influência do substrato de concreto na resistência de aderência à tração de diferentes tipos de chapisco.** revista Matéria, v.22, n.4, 2017.

CARROMEU, C. C.; DE OLIVEIRA, K. C.; HELENE P.; NETO, E. H.; BILESKY, P.; PACHECO, J. **A importância da acreditação laboratorial e da certificação de mão de obra no controle de aceitação do concreto.** 54º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Maceió/AL, 2012.

CHIES, J. A. **Corpos de prova submetidos à compressão: influência do tipo de preparação das faces para diferentes níveis de resistência do concreto.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Porto Alegre, 2011.

CREMONINI, R. A. **Análise de estruturas acabadas: Contribuição para a determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto.** São Paulo: USP, 1994. Tese (Doutorado em Engenharia), Departamento de Engenharia de Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994

CSI – Cement Sustainability Initiative – GNR Project Reporting CO₂ 2016. Disponível em: < <https://www.wbcdcement.org/index.php/key-issues/climate-protection/gnr-database>>. Acesso em 24 de dezembro de 2018.

GUIMARÃES, Cristiano Oliveira. **Avaliação do uso da água magnetizada na produção de concretos em centrais.** 2006. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto.** Brasília: Pini, 1992.

JERÔNIMO, V. L.; SOUZA, L. A. A.; VALE SILVA, B.; MARQUES, G. G.; SILVA FILHO, L. C. P. **Análise da influência da regularização dos topos de corpos de prova cilíndricos sobre a resistência à compressão do concreto.** 53º Congresso Brasileiro do Concreto, IBRACON, Florianópolis/SC, 2011.

LIMA, J. A. R. de. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MASCOLO, R. **Concreto usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira.** Conclusão (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia. Porto Alegre, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Ibracon, 2014.

NEVILLE A. M. **Propriedades do concreto.** Porto Alegre: Bookman, 2015

SANTIAGO, W. C. **Estudo da (Não-)conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVA FILHO, L. C. P.; HELENE, P. **Análise de Estruturas de Concreto com problemas de resistência e fissuração.** In: ISAIA, G. C. (Ed). Concreto: ciência e tecnologia. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2, p. 1129-1174.

STOFFELS, E. N. **Estudo sobre a variabilidade da resistência à compressão do concreto usinado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Porto Alegre, 2014.

TÉCHNE - Revista do engenheiro civil. **Concreto não conforme**. São Paulo, ed.152, p.42-54, 2009.