

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**Concreto usinado: Análise da variação da resistência à
compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do
caminhão betoneira**

Rafael Mascolo

Porto Alegre
2012

RAFAEL MASCOLO

**CONCRETO USINADO: ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DE PROPRIEDADES
FÍSICAS AO LONGO DA DESCARGA DO CAMINHÃO
BETONEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia

Porto Alegre
2012

RAFAEL MASCOLO

**CONCRETO USINADO: ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E DE PROPRIEDADES
FÍSICAS AO LONGO DA DESCARGA DO CAMINHÃO
BETONEIRA**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 21 de maio de 2012

Prof^ª. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientadora

Prof^ª. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela USP
Orientadora

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra pela UFRGS

Prof. Jairo José de Oliveira Andrade (PUCRS)
Dr pela UFRGS

Prof. Ricardo Leopoldo e Silva França (USP)
Dr pela USP

Aos meus pais,
Garibaldi (em memória) e Roseli.

AGRADECIMENTOS

Esta página, uma das últimas a ser escrita, é sem dúvida alguma uma das mais importantes. Ao escreve-lá ocorre a reflexão sobre tudo que passou no decorrer dessa caminhada e percebe-se a importância das diversas pessoas que de alguma forma contribuíram, direta ou indiretamente, para alcançar mais esse importante objetivo. Assim esse espaço é merecidamente dedicado a todos que participaram dessa etapa.

Primeiramente agradeço a pessoa mais importante, a Sra. Roseli, também conhecida como minha mãe, a qual devo tudo que sou hoje e que esteve sempre presente em todos os momentos, sempre me auxiliando em tudo que esteve ao seu alcance. Muito obrigado.

Agradeço ao Clóvis, popularmente conhecido por “Mano”, grande amigo do meu falecido pai e hoje grande amigo meu, por todo apoio e ensinamentos passados no decorrer desses muitos anos de amizade.

Ao meu irmão Felipe que embora não tenha participado muito desse período, sempre se mostrou disposto a ajudar no que fosse preciso.

Às amigas e orientadoras, Ângela e Denise, que desde a graduação e a fase de bolsista de iniciação científica têm me transmitido valiosos conhecimentos e tornaram possível o desenvolvimento do presente trabalho.

À empresa Maiojama, em especial ao grande amigo do tempo de graduação, eterno bolsista, o colega Léo, que abriu as portas do canteiro de obras do TREND para realização da maior parte da pesquisa e me agüentou por dias a fio ligando para saber quando tinha concreto. Os meus mais sinceros agradecimentos.

À empresa Engenhosul, em especial aos colegas de profissão Ronaldi e Valdair que possibilitaram e auxiliaram na execução de parte da pesquisa na obra do INSCER-PUCRS.

Ao Masuero pelo auxílio no tratamento dos dados.

Aos colegas de NORIE que no decorrer desses dois anos tornaram-se grandes amigos, em especial a Amanda, Fabi, Marcelle, Diana, Marcos, Abrahão e entre outros.

Aos colaboradores do NORIE, em especial aos auxiliares de laboratório Airton e Gilmar.

Ao bolsista e amigo Amarildo pelo grande auxílio prestado nas coletas das amostras.

À Lisiane e Mauricio pelo auxílio na obtenção de normas estrangeiras.

À empresa Engemix, em especial ao amigo Josué, que permitiu a visita da usina de concreto e avaliação dos misturadores dos caminhões.

Ao Fábio da empresa MC Bauchemie e ao Robson e Giovane da empresa Allquímica pela doação dos aditivos necessários no decorrer do trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro que possibilitou dedicação plena à pesquisa.

RESUMO

MASCOLO, R. Concreto Usinado: Análise da variabilidade da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo do caminhão betoneira. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

A crescente utilização do concreto, que é o produto mais fabricado no mundo em termos de volume, somada à pressão do mercado por redução de custos com manutenção das exigências mínimas para segurança do projeto, tem impacto direto na importância e necessidade do controle de qualidade do material. Para concretos usinados, predominantes em grandes centros urbanos, as normas do país preconizam a não utilização dos 15% iniciais e finais do volume total de concreto do caminhão betoneira para fins de ensaio. No entanto, devido a maior facilidade e agilidade, é constatada como prática comum nos canteiros de obra da região a coleta de amostras logo da primeira porção de concreto descarregado. Considerando tal procedimento, fora do padrão preconizado por norma, somado à ausência de normatização para aferição da qualidade do misturador e uniformidade da mistura do concreto e a importância dos ensaios de controle de qualidade dos concretos perante a segurança das estruturas, a presente pesquisa tem como objetivo analisar as variações de resistência à compressão e de propriedades físicas do concreto ao longo da descarga da mistura em caminhão betoneira. A fim de atingir a meta proposta, realizaram-se coletas de amostras em cinco pontos distintos, ao longo da descarga do concreto do caminhão betoneira, para cada um dos 65 lotes (amassadas) avaliados, considerando três diferentes traços de concreto. Para cada ponto de coleta foram avaliados a resistência à compressão, o abatimento de tronco de cone e o teor de agregado graúdo. Estatisticamente, foi constatado que há amassadas em que a variação do ponto de coleta influencia na resistência à compressão, no entanto não se pode afirmar o mesmo considerando critérios da ABECE, adotados como parâmetro de análise na falta de normatização específica para o tema. Não houve a formação de um perfil representativo das variações de resistência conforme o ponto de coleta, diferentemente do teor de agregado graúdo, em que se pode visualizar claramente um perfil em que há concentração de brita nos pontos extremos, início e final da coleta. Em relação à consistência, de modo geral, houve uma redução do ponto inicial ao final, dentro dos limites de indicados por norma.

Palavras-chave: concreto usinado; controle de qualidade do concreto; caminhão betoneira.

ABSTRACT

MASCOLO, R. Ready-mixed Concrete: Analysis of the concrete strength variability against compression and its physical properties along the unloading of the concrete mixer truck. 2012. Dissertation (Master in Engineering) – Post-graduation in Civil Engineering Program, UFRGS, Porto Alegre.

The crescent utilization of concrete which in terms of volume, is the most produced product in the world, added to the pressure of the market to reduce the costs and maintenance of the safety minimum requirements of a project, make a direct impact on the material quality control's importance and necessity. For ready-mixed concrete, mostly seen in large urban centers, the initial and final 15% usage of its total volume is not recommended by the country standards for test purposes. However, due to the ease, it is a common practice in construction sites of the region to collect samples once the first portion of the concrete is unloaded. Taking into account such procedure, which does not meet the standards recommended, added to the lack of standardization to assess the quality of the concrete mixer, the uniformity of the concrete mixture and the importance of the quality control tests of concrete under the safety of structures, the purpose of this research is to analyze the variations of the concrete strength when compressed and its physical properties along the discharge of the mixture made in a mixer truck. In order to achieve the proposed goal, there were sampling carried out at five different points along the discharge from the concrete mixer truck, for each of the 65 lots (batches) analyzed, considering three different types of concrete. Each sampling collected was analyzed by going through a slump test, compression strength and granulometry analysis. Statistically, it was proven that the sample point collection variation of some of the batches influences the compression strength, on the other hand the same cannot be found considering the ABECE criteria, used as analysis parameter in the absence of specific regulations for the subject. No representative profile of resistance variations based on the sample collection point was formed, in contrast to the coarse aggregate content, in which profile can be clearly seen a concentration of gravels at the extreme points, at the commencement and the end of the sample collection. Regarding its consistency, on the whole, there was a reduction from the initial and to the end point, respecting the regulations standards.

Keywords: ready-mixed concrete; concrete quality control; concrete mixer truck.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE QUADROS	12
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA	12
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.3 DELIMITAÇÕES	15
1.4 LIMITAÇÕES.....	16
1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 CONCRETO: O CONTROLE DE QUALIDADE E A SEGURANÇA ESTRUTURAL	18
2.2 PARÂMETROS DE CONTROLE.....	24
2.2.1 Resistência à compressão	24
2.2.1.1 Proporcionamento e materiais constituintes do concreto.....	26
2.2.1.1.1 <i>Relação água/cimento (a/c)</i>	27
2.2.1.1.2 <i>Cimento</i>	28
2.2.1.1.3 <i>Teor de argamassa</i>	29
2.2.1.1.4 <i>Agregados</i>	30
2.2.1.1.5 <i>Aditivos e Adições</i>	31
2.2.1.2 Mistura e transporte.....	31
2.2.1.3 Operações de ensaio e controle.....	38
2.2.1.3.1 <i>Adensamento</i>	39
2.2.1.3.2 <i>Cura</i>	40
2.2.1.3.3 <i>Preparação de topos e ensaio à compressão</i>	41
2.2.1.4 Resumo dos fatores que afetam a resistência.....	43
2.2.2 Abatimento de tronco de cone	45
2.2.3 Teor de agregado graúdo	45
2.2.4 Teor de ar incorporado	46
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO.....	47
3.2 VARIÁVEIS ENVOLVIDAS	47
3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	49
3.3.1 Locais de coleta das amostras.....	49
3.3.1.1 Obra A	50
3.3.1.2 Obra B	50
3.3.2 Propriedades avaliadas – Ensaios	51
3.3.2.1 Determinação da consistência.....	51
3.3.2.2 Resistência à compressão axial.....	52

3.3.2.3	Teor de agregado graúdo	52
3.3.3	Procedimento de retirada, preparação e ensaio das amostras	52
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	57
4.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	57
4.2	VARIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, ABATIMENTO E TEOR DE AGREGADO GRAÚDO.....	61
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	74
4.3.1	Análise de resíduos.....	75
4.3.1.1	Resistência à compressão	75
4.3.1.2	Teor de agregado graúdo	82
4.3.2	Análise de Variância.....	84
4.3.2.1	Resistência à compressão	84
4.3.2.2	Teor de agregado graúdo	89
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
5.1	Conclusões.....	91
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	93
	REFERÊNCIAS	94
	ANEXO A – Dados coletados.....	0
	ANEXO B – Análise múltipla de médias dos pontos de coleta para cada lote.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: curva de Gauss para distribuição de probabilidades	20
Figura 2: distribuição de probabilidade na curva normal com nível de confiança de 95% para f_{ck} . (adaptada da revista Técnica, número 152, novembro de 2009)	21
Figura 3: relação entre resistência de dosagem e de dimensionamento.	24
Figura 4: fatores responsáveis por variações na resistência à compressão	44
Figura 5: variáveis envolvidas no programa experimental	49
Figura 7: resistência á compressão dos corpos de prova da série A – 1 ^o fase	58
Figura 8: resistência á compressão dos corpos de prova da série B	59
Figura 9: resistência á compressão dos corpos de prova da série A – 2 ^o fase	59
Figura 10: Amplitude de variação da resistência à compressão em uma distribuição normal com desvio padrão de 2MPa	61
Figura 11: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1 ^a fase – A1 a A4	62
Figura 12: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1 ^a fase – A5 a A12	63
Figura 13: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1 ^a fase – A13 a A20	64
Figura 14: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1 ^a fase – A21 a A28	65
Figura 15: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1 ^a fase – A29 a A36	66
Figura 16: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1 ^a fase – A37 a A40	67
Figura 18: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série B – B43 a B50	68
Figura 19: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série B – B51 a B52	69
Figura 21: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-2 ^a fase – A57 a A64	70
Figura 22: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-2 ^a fase – A65	71
Figura 23: resíduos de resistência à compressão por lote – série A-1 ^o fase	75
Figura 24: resíduos de resistência à compressão por lote – série B e A-2 ^o fase	76
Figura 25: distribuição de carga nas bases de corpos-de-prova durante ensaio de compressão axial – (a) e (b) concentração de carga e (c) e (d) distribuição homogênea	77
Figura 26: resíduos de resistência à compressão de cada corpo de prova em relação a média do exemplar – série A-1 ^o fase	78
Figura 28: resíduos de resistência à compressão em relação a média dos lotes,	80
Figura 29: resíduos de resistência à compressão em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série B	80
Figura 31: média dos resultados de resistência à compressão de cada ponto de coleta para cada uma das séries.	81
Figura 32: resíduos de teor de agregado graúdo em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série A-1 ^o fase	82
Figura 33: resíduos de teor de agregado graúdo em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série B	83
Figura 34: resíduos de teor de agregado graúdo em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série A-2 ^a fase	83
Figura 35: média dos resultados do teor de agregado graúdo de cada ponto de coleta para cada uma das séries	84
Figura 36: grupos de resistência à compressão conforme limite de decisão (LD) – série A-1 ^o fase	87
Figura 37: grupos de resistência à compressão conforme limite de decisão (LD) – série B (a) retificado e (b) capeado	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais fontes de variação da resistência do concreto (ACI 214, 2002).....	19
Quadro 2: exigências para uniformidade do concreto (ASTM C94/C94M, 2010).....	36
Quadro 3: Principais fatores que influenciam o resultado de resistência à compressão de concreto, medida no ensaio de controle (HELENE, 1980).....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: resumo de variações da resistência à compressão.....	71
Tabela 2: resumo de variações da resistência à compressão em relação a média.....	72
Tabela 3: resumo de variações de consistência	73
Tabela 4: resumo de variações do teor de agregado graúdo	74
Tabela 5: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série A-1ª fase – A1 à A40 – preparação das bases com retífica.	85
Tabela 6: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série B – B41 à B46 – preparação das bases com retífica.	85
Tabela 7: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série B – B47 à B52 – preparação das bases com enxofre.	85
Tabela 8: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série A-2ª fase – A53 à A65 – preparação das bases com enxofre.....	85
Tabela 9: análise de variância (ANOVA) para teor de agregado graúdo — Série A-1ª fase – A1 à A40 – preparação das bases com enxofre.....	89
Tabela 10: análise de variância (ANOVA) para teor de agregado graúdo — Série B – B41 à B52 – preparação das bases com enxofre.	89
Tabela 11: análise de variância (ANOVA) para teor de agregado graúdo — Série A-2ª fase – A53 à A65 – preparação das bases com enxofre.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

O concreto, mistura composta basicamente por cimento Portland, agregados pétreos e água, pode ser considerado como um dos materiais mais importantes da construção civil atual, além de ser o produto mais fabricado no mundo em termos de volume. Tal relevância atingida por esse composto se deve, basicamente, à excelente resistência à água, facilidade de uso com variedade de formas e tamanhos, baixo custo, disponibilidade em todo o mundo (MEHTA e MONTEIRO, 2008) e ao seu potencial de utilização, o qual vem sendo ampliado, ao longo dos anos, com o desenvolvimento tecnológico.

Outro fator que contribuiu muito para a crescente utilização do concreto no mercado mundial, além do desenvolvimento tecnológico, foi a racionalização no processo de produção, que criou uma indústria com as chamadas centrais dosadoras de concreto. Dessa industrialização pode resultar redução de custos e maior capacidade de produção, mantendo o desempenho e a qualidade exigidas do concreto. Hoje, nos grandes centros urbanos mundiais, a maior parte do concreto utilizado é produzido em centrais dosadoras¹ e a tendência é que esse processo se torne cada vez mais predominante, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, visto as suas vantagens frente à produção em obra.

O concreto dosado em central pode ser misturado na própria central e transportado com caminhão agitador ou misturado durante o transporte por caminhão betoneira, sendo o segundo caso o predominante no país. Tal escolha se deve, provavelmente, à redução de custos na implantação da central de concreto, sem necessidade de misturador fixo, aumento

¹Em países desenvolvidos, como EUA e Japão, 75 e 71%, respectivamente, do consumo de cimento são utilizados por centrais dosadoras, e em países europeus, como Alemanha, Inglaterra e França, esse percentual fica acima dos 50% (NRMCA, 2011; ERMCO, 2011). No Brasil o consumo atual de cimento ainda é pulverizado com 55% das vendas a pequenos consumidores e apenas 18% destinado à produção de concreto usinado. No entanto é possível constatar que o consumo de cimento pelas concreteiras está em pleno crescimento no país desde 2006, quando somente 13% do consumo de cimento eram destinados aos concretos usinados (SNIC, 2011).

no prazo e distância de transporte e principalmente a questão do tipo de tributação². No entanto, conforme Mehta e Monteiro (2008), o controle de qualidade do concreto misturado em caminhão betoneira não é tão bom quanto do produzido em misturador estacionário.

A crescente utilização do concreto, acompanhada da pressão do mercado de construção civil por redução de custos com manutenção das exigências mínimas para segurança do projeto, aumentou a importância e necessidade do controle tecnológico da mistura. O parâmetro normalmente adotado como padrão para verificação do atendimento aos requisitos mínimos de projeto é a resistência à compressão do concreto endurecido, visto que a propriedade é de fácil mensuração, é capaz de expor as alterações na qualidade do material e tem relação com diversas outras propriedades do concreto (NEVILLE, 1997; HELENE e TERZIAN, 1992).

O controle das propriedades mecânicas é realizado em corpos-de-prova padronizados, moldados e curados conforme prescrições de norma, sendo o ensaio de resistência mecânica executado, em geral, aos 28 dias de idade do concreto. A partir do resultado é verificado o atendimento às exigências mínimas de resistência de projeto e segurança da estrutura executada.

Os corpos-de-prova devem ser moldados com amostras do concreto coletadas durante a descarga do caminhão betoneira, conforme recomendações da NBR 7212 (ABNT, 2008) e NBR NM 33 (ABNT, 1998), que preconizam a não utilização, para fins de ensaio, dos 15% iniciais e finais do volume total de concreto da betoneira. Todavia a prática atual, em grande parte dos canteiros de obra, é a retirada da amostra logo da primeira porção de concreto descarregada. Tal procedimento se deve à dificuldade em retirar concreto ao longo da descarga, muitas vezes em locais de difícil acesso, e a maior facilidade e agilidade que se tem de coletar uma única amostra, para o ensaio de abatimento de tronco de cone (Slump test) e moldagem dos corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão, em local acessível. A NBR 7212 (ABNT, 2008) admite a mistura de concreto de uma mesma amassada em

²Ao misturar os constituintes do concreto (cimento, agregados, água e eventualmente aditivos e adições) em caminhão betoneira ao longo do trajeto entre a central de dosagem e o local de prestação de serviço, as empresas de concretagem são enquadradas como prestadoras de serviço e assim sujeitas apenas à incidência do ISS (Imposto sobre serviço), enquanto que ao realizar a mistura em equipamento estacionário dentro da central de dosagem, ou seja, fora do local de prestação de serviço, o concreto passa a ser tratado como uma mercadoria e então há incidência de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços). Para as empresas de concretagem a alíquota do ISS na cidade de Porto Alegre é de 4% sobre o valor da nota fiscal, enquanto o ICMS é de 17% (Imposto estadual com alíquota base para o Rio Grande do Sul), o que corrobora a preferência das concreteiras (BRASIL - Lei complementas n 116, 2003; SEFAZ-RS, 2011).

determinada betoneira como homogênea para efeito de ensaio e controle sem, no entanto, especificar parâmetros e testes que permitam assegurar a eficiência do misturador quanto a sua função primordial: produzir um concreto uniforme. Além disso, sabe-se que os misturadores de concreto têm desgaste de seus componentes, conforme o uso, e por isso podem perder a eficiência de modo a não cumprir satisfatoriamente a sua função. Países como EUA e Inglaterra têm normas com diretrizes para avaliação do desempenho das betoneiras, tais como a ASTM C94/C94M (ASTM, 2010) e BS 3963 (BSI, 1974), entre outras, o que limita a variabilidade da mistura e garante maior uniformidade dos concretos produzidos.

A NBR 12655 (ABNT, 2006) recomenda submeter as betoneiras à comprovação de uniformidade da mistura, sempre que apresentar sinais de heterogeneidade de composição ou consistência durante a descarga, sem maiores especificações. A ASTM C94/C94M (ASTM, 2010) apresenta exigências rígidas e específicas para o controle regular da qualidade das betoneiras através da comparação de resistências entre dois pontos de coleta: o primeiro logo após descarga de 15 do volume total e o segundo após 85% da descarga. São avaliados seis propriedades, entre elas a resistência à compressão, a qual não deve diferir mais de 7,5% entre os pontos para resistência medida aos 7 dias de idade.

No país não se tem normatização específica para avaliação e controle de qualidade de misturadores, não havendo assim garantia da representatividade das amostras de concreto, mesmo que retiradas dentro dos 70% intermediários do volume total, como recomendado. Essa falta de garantias para uniformidade dos concretos usinados somada à prática comum de coleta de amostras fora dos padrões recomendados pode afetar a credibilidade do controle de qualidade, gerando incertezas sobre as avaliações dos lotes e até da segurança das estruturas.

Visto a prática comum de coleta de amostras diferir da preconizada por norma, da falta de recomendações para aferição da qualidade do misturador e da importância dos ensaios de controle de qualidade dos concretos para atestar a segurança das estruturas, o presente trabalho tem como meta analisar a uniformidade de misturas de concreto em caminhões betoneira, durante a descarga do material, de forma a determinar se há variação significativa nas resistências à compressão. A investigação desse tema contribui com os estudos sobre controle de qualidade do concreto e destaca a necessidade de complementação na normatização vigente, a fim de elevar a confiança sobre a qualidade e segurança das estruturas de concreto.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal da pesquisa consiste em avaliar a resistência à compressão e propriedades físicas de concretos usinados ao longo da descarga do material, de modo a determinar se há variações significativas entre diferentes pontos de coleta de uma mesma amassada.

Dentre os objetivos secundários, pretende-se:

- a) analisar a variação de resistência à compressão média entre lotes de concreto de mesmo traço;
- b) analisar a variação de consistência e o do teor de agregado graúdo de concretos usinados ao longo da descarga do caminhão betoneira;
- c) verificar a existência de correlação entre as variações de resistência à compressão e a variação da consistência e teor de agregado graúdo;
- d) apontar, se possível, um perfil padrão de variações da resistência à compressão e das propriedades físicas ao longo da descarga do concreto em caminhão betoneira;
- e) avaliar e validar as recomendações da NBR NM 33 (1998) e NBR 7212 (ABNT, 1984) com relação ao ponto de coleta de amostra de concreto em caminhão betoneira para efeito de ensaio de controle de qualidade.

1.3 DELIMITAÇÕES

A pesquisa ficou restrita aos traços de concreto usinado utilizados nas obras disponíveis no momento da realização do programa experimental.

Devido ao número de pontos de coleta, o local pouco apropriado e o tempo, normalmente escasso entre a coleta e ensaios do concreto antes do seu endurecimento e perda das características do estado fresco, foi possível realizar apenas ensaio de abatimento de tronco de cone, moldagem de corpos-de-prova para ensaio de resistência à compressão e preparação de amostras para posterior determinação do teor de agregado graúdo.

Não foi possível avaliar a influencia do nível de desgaste dos componentes que auxiliam na mistura do concreto em caminhão betoneira visto que a grande maioria não apresentava

desgaste (estado de novo) e alguns poucos tinham apenas um desgaste moderado, o que inviabilizou a avaliação de tal parâmetro.

1.4 LIMITAÇÕES

Em virtude do foco principal da pesquisa, estudo das propriedades de concretos usinados ao longo da descarga do material, as coletas de amostras, moldagem, ensaio de consistência e cura inicial (primeiras 24 horas) dos corpos-de-prova foram realizados em obra. Assim não se teve controle sobre as condições ambientais, visto que os processos citados foram realizados em ambiente aberto. Apenas foram registrados os dados sobre temperatura e umidade relativa durante os ensaios.

Devido à dependência de diversos fatores externos à obra, como trânsito, e internos, como preparação dos locais para descarga, os concretos eram descarregados com os mais variados tempos de mistura, bem como número de rotações do tambor. Dessa forma não houve controle sobre número de rotações e tempo de mistura, sendo então registrado o tempo decorrente entre a mistura dos materiais na usina, conforme dados fornecidos na nota fiscal, e o início da descarga em obra.

Em função da impossibilidade de determinar com precisão os volumes realmente descarregados e os volumes restantes de concreto dentro do balão, os cinco pontos de amostragem por amassada (lote) foram realizados por estimativas baseadas na experiência do responsável pela coleta.

1.5 ESTRUTURA DA PESQUISA

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo contém a apresentação do tema com justificativa da pesquisa, os objetivos, as delimitações, as limitações e a estrutura do trabalho. No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica com abordagem do controle de qualidade do concreto e a segurança estrutural e dos parâmetros de controle do concreto, em especial a resistência à compressão. No terceiro capítulo descreve-se o programa experimental com os materiais e métodos utilizados na pesquisa. A apresentação e análise dos

resultados são contempladas no quarto capítulo. Por fim, no quinto capítulo estão as considerações finais sobre a pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir são abordados a relação entre o controle de qualidade e a segurança de estruturas de concreto, bem como os parâmetros normalmente adotados para controle e especificação das propriedades requeridas em projeto.

2.1 CONCRETO: O CONTROLE DE QUALIDADE E A SEGURANÇA ESTRUTURAL

Ao medir duas ou mais vezes o abatimento de uma amostra representativa de uma amassada de concreto, utilizando os mesmos equipamentos e mão-de-obra, é muito improvável que se obtenha pares de valores idênticos para os resultados, ou mesmo que a média de pares de resultados de diferentes amostras seja igual. O mesmo ocorre no caso de alterar equipamentos e mão-de-obra no processo de ensaio e ao testar diferentes amassadas de concretos com mesmo traço, que teoricamente deveriam ser idênticas (DEWAR e ANDERSON, 1992).

As variações ocorrerão, de forma similar, no caso de outros ensaios como de resistência à compressão, resistência à tração, teor de ar incorporado, massa unitária, entre outros.

Essas variações do produto e nos resultados são decorrentes de dois principais fatores: variação inerente ao processo de ensaio, devido às diversas etapas e à influência do fator humano, e variação real do produto, devido a possíveis variações nas propriedades de diferentes amassadas de concreto, mesmo que de igual traço, como será discutido adiante, nos próximos capítulos. No quadro 1 são listadas as principais fontes de variação da resistência em concretos (ARIOZ et al., 2007; CAZACLIU e VENTURA, 2010).

Variações inerentes às propriedades do concreto	Variações devidas aos métodos de ensaios
<p>Variações na relação a/c causadas por:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Controle de água deficiente -Excessiva variação de umidade do agregado ou variação da medição da umidade -Redosagem de água <p>Variações na quantidade de água requerida causada por:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alteração em propriedades dos agregados como granulometria, forma e absorção -Alteração nas propriedades dos cimentos e adições -Alteração na quantidade de ar aprisionado -Variação do tempo de entrega e temperatura <p>Variações nas características e proporções dos materiais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agregados - Materiais cimentícios - Adições <p>Variações na mistura, transporte e adensamento</p> <p>Variações na temperatura do concreto e cura</p>	<p>Procedimento de amostragem inapropriado</p> <p>Variações devidas às técnicas de ensaio e controle</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manuseio, armazenamento e cura dos exemplares recém moldados - Moldes danificados <p>Alterações durante a cura</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variação de temperatura - Variação do controle de umidade - Atraso ao encaminhar os exemplares para laboratório - Atraso no início da cura padronizada <p>Processo de teste ruim</p> <ul style="list-style-type: none"> - Preparação das amostras - Procedimento de ensaio - Equipamentos de ensaio descalibrado

Quadro 1 – Principais fontes de variação da resistência do concreto (ACI 214, 2002)

Normalmente a precisão de um resultado não pode ser assegurada por um único teste, sendo então recomendado um número maior de resultados para fins de conformidade e segurança nos dados (DEWAR e ANDERSON, 1992).

A variação nos resultados de resistência à compressão de corpos-de-prova semelhantes evidencia que se devem interpretar os resultados em termos estatísticos, baseados em conceitos de probabilidade. O simples fato de alguns resultados com valores diferentes entre si não significa que a diferença seja necessariamente significativa e não apenas consequência da possível variabilidade natural dos valores de uma mesma origem (NEVILLE, 1997).

Atualmente sabe-se que os resultados de resistência do concreto, produzido sob condições usuais e constantes, obedecem a uma distribuição de probabilidade considerada distribuição normal ou de Gauss, a qual é descrita por dois parâmetros estatísticos: a média (μ) e o desvio-padrão (σ) (HELENE e TERZIAN, 1992).

A distribuição gaussiana é simétrica em relação ao ponto central, determinado pela média (μ) dos valores analisados, e possui formato característico do perfil de um sino. O desvio-padrão (σ) determina a largura da distribuição, assim quanto mais dispersos os valores em relação à

média, mais achatado será o gráfico e do contrário, acentuada concentração de valores próximos à média, mais estreita será a figura e com maior pico de frequência.

A área sob a curva da distribuição normal corresponde à probabilidade de ocorrência de determinado valor ou faixa de valores, cuja soma total é igual a 1, ou seja, 100%. Para a distribuição normal, a proporção de resultados dentro da faixa de ± 1 , ± 2 ou ± 3 desvios-padrão é de aproximadamente 68,2%, 95,4% e 99,7%, respectivamente, como mostrado na figura 1.

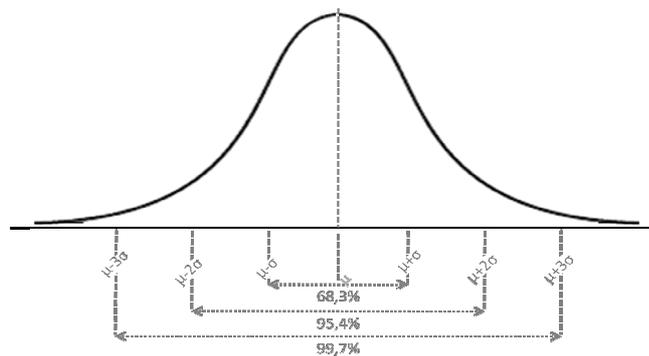


Figura 1: curva de Gauss para distribuição de probabilidades

Vários são os fatores que intervêm nas propriedades dos concretos: desde a heterogeneidade dos materiais até o transporte, adensamento e cura do concreto. Para evitar, ou pelo menos reduzir ao máximo, a influência dos diversos procedimentos de ensaio e controle na determinação da resistência dos corpos-de-prova de concreto, normalizou-se um padrão de condições ótimas para amostragem, moldagem, cura e ensaio das amostras, conforme NBR 12655 (ABNT, 2006), NBR 5738 (ABNT, 2003) e NBR 5739 (ABNT, 2007), de modo a obter a máxima resistência que o determinado concreto em questão possa alcançar a certa idade, denominada resistência potencial.

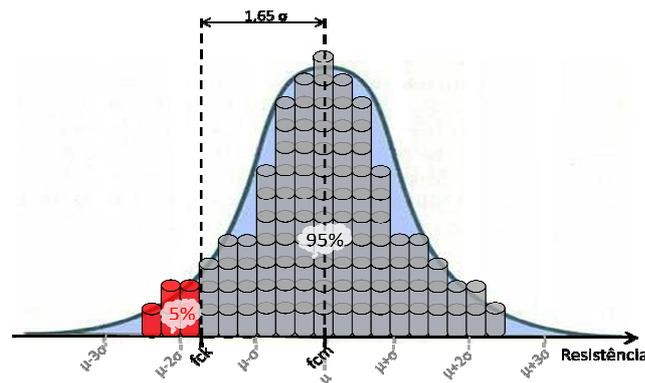
O valor da resistência potencial é o valor de referência para dimensionamento da estrutura, e deve ser um valor único e bem definido, a fim de permitir a ligação entre as etapas de projeto e execução das estruturas (HELENE e TERZIAN, 1992).

Sabendo que os resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova de concreto não têm um único valor específico e sim uma população de valores, com dispersão variável dependente das condições de produção e controle, que podem ser explicados por uma curva normal de probabilidades, é inadequado adotar simplesmente a média dos resultados como representativo da resistência do concreto. Nesse caso teria-se, provavelmente, metade dos

valores inferiores à resistência média e não se saberia o quão disperso da média estão estes resultados, gerando maiores incertezas.

É necessário, então, considerar a dispersão dos resultados e determinar um nível de confiança requerido para definir um valor que represente a propriedade do concreto com segurança. Assim, foi adotado o conceito de resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) que é uma medida estatística que engloba a média e a dispersão dos resultados e permite definir e qualificar um concreto através de apenas um único valor característico, com determinada probabilidade de ocorrência ou nível de confiança (HELENE e TERZIAN, 1992).

A partir da curva normal de probabilidade associa-se um determinado nível de confiança requerido para a resistência do concreto, normalmente de 95%, e então se define o valor do f_{ck} (resistência característica do concreto à compressão). Isso equivale dizer que há uma probabilidade de 5% de não atingir o valor característico de resistência à compressão, ou ainda que 5% dos resultados ensaiados de uma amostra podem conter valores abaixo do f_{ck} . Níveis de confiança superiores tendem a ser antieconômicos e por isso normalmente adota-se 95%, que oferece um risco aceitável de não conformidade, considerado nos critérios de projeto estrutural, a um custo acessível (DEWAR e ANDERSON, 1992). Na figura 2 está a representação gráfica da curva normal com nível de confiança de 95% para determinação do f_{ck} .



f_{ck} – resistência característica à compressão (para nível de confiança de 95%), é o valor referência adotado para o projeto;
 f_{cm} ou f_{cj} – resistência média do lote, também utilizada como resistência de dosagem a “j” dias de idade, normalmente 28 dias.

Figura 2: distribuição de probabilidade na curva normal com nível de confiança de 95% para f_{ck} . (adaptada da revista *Téchne*, número 152, novembro de 2009)

A NBR 6118 (2007), referente a projeto de estruturas de concreto, define os valores característicos das resistências como os que, em um mesmo lote, têm apenas 5% de probabilidade de serem ultrapassados, no sentido desfavorável para a segurança, ou seja, de não serem atingidos. Portanto, considerando uma distribuição normal de probabilidade com um valor médio de resistência à compressão (f_{cm} ou f_{cj}) e determinado desvio padrão (σ), tem-se que o valor mínimo de resistência característica (f_{ck}) com 5% de probabilidade de não ser atingido é determinado pela equação 1:

$$f_{ck}=f_{cj} - 1,65\sigma \text{ (equação 1)}$$

Para caracterização da resistência dos concretos são formados lotes, de volume definido conforme condições de norma, compostos por certa quantidade de amassadas consideradas iguais, ou seja, fabricadas sob as mesmas condições com os mesmos tipos de insumos e com características iguais. De cada lote deve ser retirada uma amostra com número específico de exemplares, de acordo com as recomendações de norma, os quais devem ser constituídos, normalmente, por dois corpos-de-prova de uma mesma amassada (NBR 12655, 2006).

Os corpos-de-prova que formam um exemplar devem ser moldados no mesmo ato, sob condições de igualdade que devem ser mantidas em todas as etapas do processo de ensaio e controle, a citar: moldagem, adensamento, transporte, desmoldagem, cura, preparação e ensaio de resistência.

Considerando a inexistência de desvios e mantida a igualdade nas operações de ensaio e controle, é de se esperar, em teoria, que os corpos-de-prova irmãos (formadores de um exemplar, de uma mesma amassada) tenham resultados iguais nos ensaios, no entanto isso não é o que ocorre normalmente.

A diferença entre as resistências individuais de corpos-de-prova irmãos é relacionada a possíveis falhas, não intencionais, nas operações de ensaio e controle. Assim tem-se que o valor mais alto foi o menos afetado negativamente durante o processo, e por isso cada exemplar deve ser representado pela maior resistência (resistência potencial), devendo desprezar o(s) valor(es) inferior(es) de um mesmo exemplar.

O concreto aplicado na construção de estruturas não tem as mesmas condições e cuidados que os corpos-de-prova para ensaio e controle, e por isso tem um valor de resistência diferente da potencial, denominada resistência efetiva do concreto ($f_{ck,ef}$). A correspondência entre a

resistência potencial e a resistência efetiva do concreto deve ser garantida através das operações de controle de qualidade dos serviços envolvidos na aplicação do concreto (HELENE e TERZIAN, 1992).

Para efeito de dimensionamento da estrutura é empregado um coeficiente de minoração da resistência do concreto (γ_c), o qual engloba os desconhecimentos das variáveis que afetam a correspondência entre a resistência característica (f_{ck}) e a resistência de dimensionamento (f_{cd}). O uso de γ_c equivale dizer que a resistência à compressão do concreto da estrutura será sempre inferior, na mesma idade e condições, que a resistência à compressão obtida dos corpos-de-prova de controle. Embora na maioria dos casos isso seja verdade, há casos em que o concreto da estrutura atinge resistências iguais ou até mesmo superiores às obtidas dos corpos-de-prova de controle (HELENE e TERZIAN, 1992).

O coeficiente de minoração (γ_c) tem seu valor composto por três parcelas (γ_{m1} , γ_{m2} , γ_{m3}) discriminadas, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2007) e Cremonini (2004), a seguir:

γ_{m1} – 1,07 a 1,32 - considera a variabilidade da resistência dos materiais envolvidos;

γ_{m2} – 1,10 - considera a diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura;

γ_{m3} – 1,10 - considera os desvios gerados na construção e as aproximações feitas em projeto do ponto de vista das resistências.

O produto destas parcelas é variável entre 1,3 e 1,6, sendo usualmente adotado o valor de 1,4 para o dimensionamento das estruturas. Para facilitar o entendimento da ligação que há entre o controle de qualidade do concreto e a segurança das estruturas, é representado na figura 3 um resumo do controle de qualidade sobre o concreto para garantir o f_{ck} e do coeficiente de segurança adotado em projeto para correlacionar o f_{ck} com o f_{cd} .

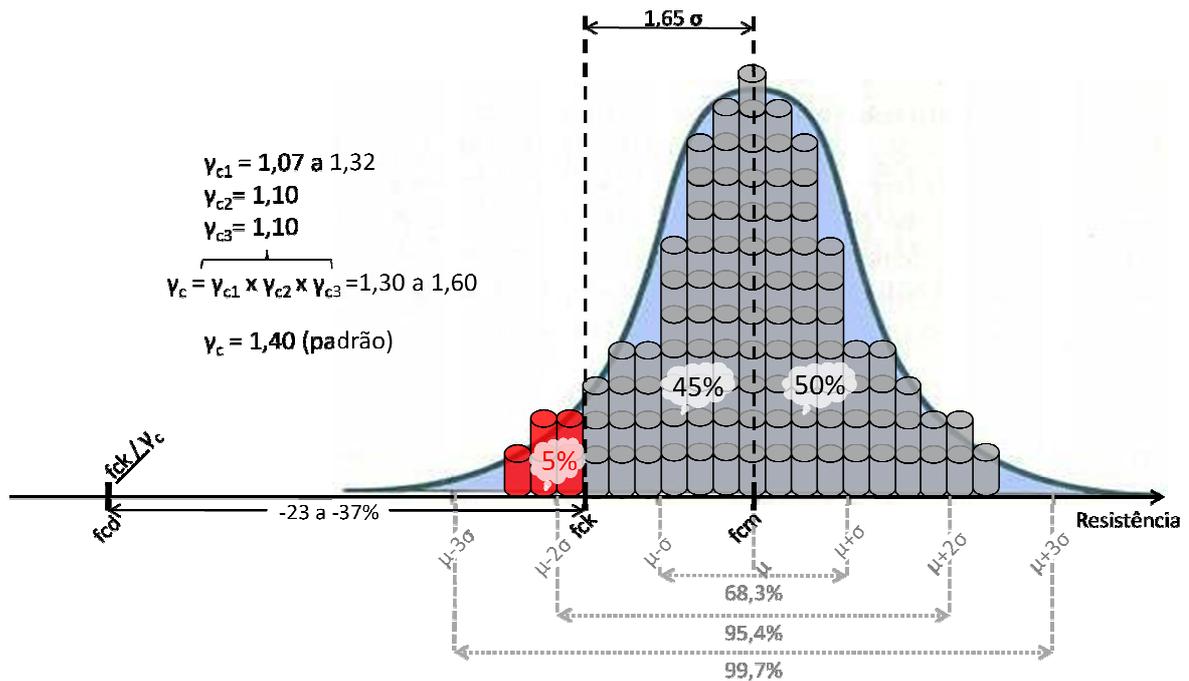


Figura 3: relação entre resistência de dosagem e de dimensionamento.

O controle da resistência à compressão do concreto visa obter um valor potencial, único e característico para resistência de um determinado volume de concreto, a fim de comparar o valor especificado em projeto, tomado como referência para o dimensionamento estrutural, com o valor estimado a partir do controle de qualidade realizado (HELENE e TERZIAN, 1992; RECENA, 2002).

2.2 PARÂMETROS DE CONTROLE

A seguir são apresentados parâmetros de controle utilizados para mensurar algumas propriedades dos concretos, com ênfase para resistência à compressão e os fatores que causam variabilidade nas características do material.

2.2.1 Resistência à compressão

Inicialmente pode-se definir a resistência como a medida da quantidade de tensão necessária para que um determinado material se rompa. No caso do concreto sabe-se que sua maior

capacidade resistente é aos esforços de compressão, que é muito superior à sua resistência à tração e à flexão, as quais, tipicamente, para concretos convencionais, são da ordem de 10% e 15%, respectivamente, da resistência à compressão (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A maior aplicação do concreto é para construção de estruturas e para esse fim as propriedades de maior importância são resistência à compressão, durabilidade e deformabilidade. Desses parâmetros a resistência à compressão é, sem dúvida alguma, a característica mais valorizada do material, sendo adotada para o dimensionamento da estrutura e, tradicionalmente, utilizada como parâmetro de dosagem e controle de qualidade dos concretos.

O ensaio de resistência à compressão é de fácil execução, com procedimento simples de moldagem dos corpos-de-prova que pode ser realizado em qualquer canteiro de obra sem dificuldades, e com baixo custo. Além disso, “A resistência à compressão é uma propriedade muito sensível, capaz de indicar com presteza as variações da “qualidade” de um concreto” (HELENE e TERZIAN, 1992) e tem relação com outras características do material, como porosidade, permeabilidade, módulo de elasticidade e entre outras.

O concreto é essencialmente formado por agregados, tidos como inertes, unidos pelos produtos da reação do cimento Portland com água. As reações químicas na pasta de água e cimento resultam nos produtos de hidratação, que têm propriedades ligantes e, com o transcorrer do tempo, dão origem a uma massa firme e resistente capaz de manter os agregados e pasta aglomerados (MEHTA e MONTEIRO, 2008; NEVILLE, 1997).

Inicialmente as reações de hidratação dos compostos que formam o cimento Portland ocorrem a uma elevada taxa que decresce continuamente com o passar do tempo até atingir velocidades de hidratação tão baixas a ponto de serem consideradas nulas. O desenvolvimento da resistência à compressão é proporcional à velocidade de hidratação, assim as taxas de incremento de resistência também tendem a zero com o passar do tempo. O decréscimo da taxa de hidratação até zero depende de fatores como tipo de cimento, cura e relação a/c.

Como padrão adotou-se a idade de 28 dias (quatro semanas) para caracterização da resistência à compressão, e conseqüentemente de outras propriedades do concreto. Conforme Neville (1997):

“Não existe um significado científico para escolha da idade de 28 dias; isso se deve simplesmente ao fato de que a evolução da resistência do concreto é lenta e era necessário se referir à resistência de um concreto no qual já se tivesse processado uma hidratação significativa do cimento. A escolha específica de um múltiplo de uma semana, como tudo parece indicar, foi feita para que o dia do ensaio caísse no mesmo dia útil da semana da concretagem.”

Diversos são os fatores que influem na variação de resistência à compressão do concreto, a citar: variabilidade do cimento, dos agregados, da água, dos aditivos e da proporção relativa desses materiais; qualidade e operação dos equipamentos de dosagem e mistura; eficiência das operações de ensaio e controle (HELENE e TERZIAN, 1992). Para ensaio de resistência à compressão de concreto devem ser seguidos os procedimentos padronizados por norma a fim de reduzir possíveis influências por variações nos processos de ensaio e controle, principalmente.

A seguir são discutidos os principais fatores que causam variações na resistência à compressão dos concretos, principalmente os produzidos em centrais dosadoras.

2.2.1.1 Proporcionamento e materiais constituintes do concreto

A produção do concreto tem início na central de dosagem, onde os insumos da mistura são pesados, conforme o traço especificado, e então encaminhados à betoneira para mistura e transporte. O traço do concreto é resultado do estudo de dosagem, o qual busca obter, a partir do proporcionamento adequado dos materiais disponíveis (cimentos, agregados, água, adições e aditivos), a combinação com a melhor relação custo/benefício e que alcance os resultados especificados. As características a serem atendidas normalmente são relacionadas à trabalhabilidade, no estado fresco, e à resistência à compressão, no estado endurecido, podendo haver ainda outras exigências como módulo de elasticidade, durabilidade, permeabilidade, entre outras.

Conforme o ACI 304R (2000), um importante objetivo na produção dos concretos é ter uma boa capacidade de reprodutibilidade, sem variações expressivas nas misturas. Para tal, deve-se tomar as precauções necessárias durante o processo de mistura a fim de obter uniformidade e homogeneidade em amassadas individuais e sucessivas de um mesmo traço.

A seguir são citados alguns fatores relevantes, que demandam cuidados especiais durante a dosagem, para garantir a qualidade dos concretos.

2.2.1.1.1 *Relação água/cimento (a/c)*

Na prática da engenharia considera-se que a resistência do concreto, e conseqüentemente outras propriedades relacionadas a essa característica, a uma determinada idade, curado em água e à temperatura estabelecida, depende especialmente de dois fatores: a relação água/cimento (a/c) e o grau de adensamento (NEVILLE, 1997). Tais considerações se baseiam na teoria de que esses dois fatores influem no volume de vazios do concreto, seja pela formação de poros capilares conforme a relação a/c, seja pelo teor de ar na mistura não expulso durante o adensamento, ou combinação dos dois.

De uma forma simplificada, o concreto obedece a teoria dos sólidos que diz que a resistência de um sólido é inversamente proporcional a sua porosidade: em outras palavras, quanto mais poroso o concreto menor será sua resistência, para uma determinada idade e cura específica. Aspectos sobre adensamento serão tratados posteriormente, no item 2.2.3.1.

Abrams (1919) enfatizou em seus trabalhos experimentais a importância da água na mistura do concreto e mostrou que a relação água/cimento (a/c) é, de fato, o componente mais importante de modo que pequenas variações no teor de a/c causam alterações mais significativas na resistência e em outras propriedades do concreto do que variações semelhantes na quantidade de outros ingredientes da mistura, desde que não se alterem os materiais.

A partir dos resultados de suas pesquisas, Abrams (1919) determinou a existência de relação inversamente proporcional entre a resistência e a relação água/cimento nos concretos, plenamente adensados, conforme uma função logarítmica, denominada curva de Abrams. Os resultados dessa função são válidos para concretos trabalháveis, ou seja, que não tenham tão baixa umidade que impossibilitem a mínima fluidez e correto adensamento e nem excesso de água a ponto de causar segregação.

Conforme Taylor (1990), para pastas de cimentos com relação a/c menor que 0,38 não há hidratação de todos compostos de cimento e nem há formação dos poros capilares. Já para relações acima desse valor a pasta de cimento passa a ser composta por produtos de hidratação e poros capilares para saída da água em excesso. Por estequiometria tem-se que é necessário um teor de água em torno de 0,2 sobre a massa de cimento para completa

hidratação, no entanto durante as reações há a formação de um “gel” composto por cristais de hidratação com água adsorvida na proporção de cerca de 0,2 em relação ao aglomerante. Assim, somando ambas as parcelas de água mínima necessária, chega-se a uma relação a/c da ordem de 0,40, valor esse muito próximo ao indicado por Taylor para obter total hidratação dos grãos de cimento.

Alterações, mesmo que pequenas, na relação a/c podem causar significativas variações nas propriedades finais do concreto em relação ao resultado esperado. Assim deve-se ter um cuidado especial com a quantidade de água no processo de dosagem, principalmente com o excesso visto que o contrário não causa danos e sim tende a melhorar as propriedades.

Os agregados correspondem de 70 a 80% do volume do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 2008; NETO, 2005) e desse total de 30 a 50% é agregado miúdo (areia), o qual pode ter expressivos teores de umidade, valores extremos até acima de 10% (NEVILLE, 1997) e em média de 4,2% na região de Porto Alegre (PETRUCCI, 1998). A umidade dos agregados deve ser considerada e descontada da quantidade de água da mistura no momento da dosagem a fim de evitar água acima do determinado no traço. Além disso, os agregados podem causar variações na relação a/c da mistura devido à absorção de água, quando em estado não saturado, nesse caso de forma positiva, reduzindo a relação a/c, mas alterando a consistência.

Outras variações no teor de água da mistura podem ocorrer por evaporação, principalmente em dias quentes e secos, durante a mistura e transporte e por adição de água pouco antes da descarga para recuperar o abatimento da mistura.

2.2.1.1.2 *Cimento*

Variações entre amassadas de concreto podem ser ocasionadas, também, por diferentes lotes de cimentos que, embora sejam produzidos sob processo industrializado e controlado, podem sofrer pequenas alterações, às vezes pré-estabelecidas, das propriedades entre os lotes. As variações nas características podem ser físicas, como mudança da finura devido ao processo de moagem do clínquer, e químicas, devido ao proporcionamento dos constituintes do clínquer e das adições minerais.

Normalmente as adições minerais dos cimentos são subprodutos industriais com potencial pozolânico ou cimentante e são utilizados devido a ganhos ambientais e principalmente econômicos (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Tais subprodutos são provenientes de termoelétricas e alto-fornos metalúrgicos, assim suas propriedades e volumes produzidos são suscetíveis às variações na produção e demanda, respectivamente.

Conforme a disponibilidade de determinadas adições minerais, da variação de temperatura ambiente em diferentes épocas do ano (verão e inverno), e variações no consumo de cimento, são adicionados maiores ou menores teores de material pozolânico ou cimentante em substituição ao clínquer, dentro das especificações permitidas em norma, para compor o cimento e atender a demanda do mercado, gerando assim alterações entre os lotes.

O aquecimento da economia nacional tem contribuído para o contínuo aumento no consumo de cimento no país desde 2004 e já coloca o Brasil como o 4º maior consumidor de cimento no mundo, atrás apenas de China, Índia e EUA (INTERNATIONAL CEMENT REVIEW, 2011). No país, de 2007 até 2010 a taxa de exportação de cimento caiu mais de 97%, enquanto a importação fez o caminho inverso, aumentando mais de 300% em três anos (SNIC, 2011). Tais dados são um forte indício que a demanda interna está crescendo a uma velocidade maior do que a capacidade de produção da indústria cimenteira, a qual parece estar próxima do seu limite, o que propicia utilização ao máximo possível de adições minerais para tentar suprir o mercado até que novas indústrias entrem em funcionamento.

2.2.1.1.3 *Teor de argamassa*

A falta de atenção em relação à umidade do agregado miúdo pode causar erros, também, na dosagem do material, devido à alteração da massa unitária dos agregados, principalmente da areia, e conseqüentemente no teor de argamassa.

A função da argamassa no concreto é de preencher os espaços vazios deixados pelo agregado graúdo, facilitar a movimentação relativa dos grãos de brita e permitir o acabamento final, assim, o teor de argamassa tem influencia direta nas propriedades em estado fresco, como fluidez, coesão, trabalhabilidade e conseqüentemente no adensamento, e no estado endurecido, como porosidade e acabamento. Cada traço de concreto tem um determinado teor

de argamassa ótimo, normalmente na faixa de 50 a 55% da massa da mistura para concretos convencionais na região, que varia conforme as características dos agregados utilizados.

Teores de argamassa menores que o ideal, ou seja, insuficiente, prejudicam a trabalhabilidade e acabamento final da estrutura, além de propiciar a ocorrência de falhas de concretagem e aumento da porosidade, afetando a resistência. Já teores de argamassa elevados aumentam o custo do metro cúbico de concreto, a retração e o calor de hidratação, favorecendo a ocorrência de manifestações patológicas como a fissuração (TUTIKIAN, 2004).

Além das variações do teor de argamassa entre diferentes amassadas devidas a falhas na dosagem, pode haver variações da quantidade de argamassa dentro de uma mesma mistura, dependendo do tipo de misturador, em função das diferenças de massa específica dos constituintes. Em concretos produzidos em betoneiras de eixo inclinado percebe-se maior teor de agregado graúdo no início da descarga e maior teor de argamassa no final, como afirmado por Helene e Terzian (1992) e Recena (2007).

2.2.1.1.4 Agregados

As características físicas dos agregados, como textura, forma, tamanho e granulometria influem na quantidade de pasta (água e cimento) necessária, por conseqüência no teor de argamassa e nas propriedades do concreto no estado fresco. Variações significativas nas propriedades dos agregados de diferentes lotes não costumam ocorrer desde que mantido o mesmo local de extração e equipamento utilizado (com manutenção em dia), com exceção das areias de rios que podem sofrer influência nos seus depósitos em função das variações impostas aos rios conforme o ciclo de chuvas.

Outra possível fonte de variação entre amassadas de concreto devido aos agregados pode ocorrer em função da descarga dos materiais, após transporte da jazida até depósito, com a formação de pilhas de material segregado. Então conforme a porção retirada da pilha pode haver uma granulometria não uniforme e diferente da utilizada para dosagem experimental, que conseqüentemente altera as propriedades do concreto.

2.2.1.1.5 Aditivos e Adições

A adição de determinados materiais a mistura de concreto, além dos constituintes convencionais: cimento, água e agregados, são capazes de modificar as propriedades da mistura, nos dois estados, fresco e endurecido. Tais materiais, classificados como adições e aditivos, são utilizados cada vez mais a fim de potencializar e melhorar determinadas características dos concretos, tais como aumento da plasticidade sem aumento do consumo de água e cimento, alteração do tempo de pega e da velocidade de desenvolvimento da resistência, redução da exsudação e segregação, entre outros (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Conforme a NBR 11768 (ABNT 2011), aditivos são produtos que adicionados em pequenas quantidades, modificam algumas das propriedades do concreto, no sentido de melhorá-las em determinadas condições, já a NBR 12653 (ABNT, 1992), define adições como materiais silicosos ou silicoaluminosos que, por si só, possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente dividido e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades aglomerantes”. As adições conferem ao concreto propriedades que ele originalmente não tinha, enquanto os aditivos modificam momentaneamente as características da mistura.

Variações nas quantidades de aditivos e adições aplicadas a mistura podem causar efeitos colaterais, no estado fresco e endurecido, se utilizados em excesso, que podem influenciar as propriedades finais do produto, tais como segregação, atraso ou mesmo inibição da pega e endurecimento, variação da porosidade, redução de resistência, entre outras. Outro aspecto importante a salientar o cuidado que se deve ter na compatibilidade de determinados aditivos e composição de cimentos específicos (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.2.1.2 Mistura e transporte

A função primordial do misturador é promover o contato entre todos os materiais constituintes do concreto de modo a distribuí-los uniformemente em toda a mistura, sem favorecer um ou outro material e sem formação de grumos (pelotas de cimento e areia úmidas externamente e secas no seu interior), garantindo assim que todos os grãos de agregados estejam revestidos

por pasta de cimento, formando uma massa homogênea visualmente (em macro-escala). É dever do misturador, também, manter a homogeneidade do concreto durante a descarga do mesmo (CHARONNATL e BEITZEL, 1997; RECENA, 2007; TANGO, 2005).

A eficiência dos misturadores é afetada pela ordem de colocação dos materiais no misturador, tipo de misturador, energia de mistura (potência e tempo de mistura) utilizada, coesão do concreto e volume misturado em cada operação (FERRARIS 2001; RECENA, 2007).

Os misturadores de concreto ou betoneiras têm diversos tamanhos, modelos e princípios de funcionamento. Normalmente são classificados a partir da inclinação do eixo principal do balão que pode ser horizontal, vertical ou inclinado, sendo este último o mais utilizado (RECENA, 2007; TANGO, 2005).

A mistura e homogeneização dos materiais são proporcionadas pela movimentação relativa entre as palhetas, recipiente e o material, com ou sem auxílio da gravidade. Assim há diferenciação dos misturadores que tem participação da gravidade na mistura (normalmente de eixo inclinado) e os que não têm esse auxílio, chamados de misturadores forçados (eixo vertical). As betoneiras forçadas são utilizadas para concretos secos, de baixa trabalhabilidade, enquanto os misturadores por gravidade são recomendados para misturas plásticas, que são a grande maioria utilizada no mercado atual. Além dos misturadores apresentados anteriormente, todos intermitentes (uma amassada de determinado volume por vez), há as betoneiras contínuas, as quais têm um fluxo sem interrupções de entrada de materiais e saída de concreto (NEVILLE, 1997; TANGO, 2005).

O concreto executado pelas empresas prestadoras de serviços de concretagem (concreteiras) pode ser classificado em três categorias principais quanto ao modo de preparo: a primeira, denominada concreto misturado em central, onde a dosagem e a mistura completa dos materiais é realizada na central de produção, em misturador estacionário, e transportado por caminhão dotado ou não de agitação, conforme a necessidade. A segunda categoria – concreto misturado em caminhão betoneira – tem o proporcionamento realizado na central e a mistura, como diz o nome, realizado em caminhão betoneira durante o transporte ou em obra imediatamente antes da descarga. Há ainda um meio termo entre os dois métodos citados, no qual o concreto é parcialmente misturado na central e tem a mistura complementada em caminhão betoneira durante o transporte ou imediatamente antes da descarga (NEVILLE, 1997; NBR 7212, ABNT 1984).

No Brasil o método mais comumente utilizado é o de mistura no transporte, em caminhão betoneira, que embora possa ter um controle de qualidade inferior ao misturado em central, conforme Mehta e Monteiro (2008), e tenha capacidade útil do balão reduzida, tem a vantagem de menor capital investido (sem necessidade de misturador), maior prazo para entrega com possibilidade de cobrir maiores distâncias e menor tributação. Conforme a ASTM C94/C94M (2010), a capacidade útil do balão do caminhão betoneira é menor que a do agitador, sendo que o volume de concreto não deve exceder 63% e 80% do volume total da betoneira para caminhão misturador e agitador, respectivamente.

O caminhão agitador difere do tipo betoneira apenas pelo número de rotações/minuto (velocidade de rotação), sendo maior no caminhão misturador. A rotação tem influência sobre a velocidade de enrijecimento, ao passo que o número total de revoluções controla a uniformidade da mistura (NEVILLE, 1997).

Durante o transporte viário por caminhão betoneira o concreto é submetido a vibrações devidas ao próprio funcionamento do veículo e à rodagem que gera atrito com a via, tendendo a ocorrer segregação do concreto com separação do agregado graúdo da argamassa e, em misturas fluidas, exsudação. A tendência de separação dos materiais é tanto maior quanto maior a intensidade e tempo de vibração e menor a coesão da mistura. Para evitar segregação a mistura deve ser submetida a uma determinada agitação que proporcione o movimento relativo entre as partículas capaz de compensar a tendência de segregação (TANGO, 2005).

Sobre o tempo de mistura, velocidade e número de rotações para se obter uma mistura homogênea de concreto, não há uma definição. A NBR 12655 (ABNT, 2006), assim como a ASTM C94/C94M (2010), recomendam apenas tempo mínimo de mistura para betoneiras estacionárias e no caso de caminhões betoneiras a NBR 7212 (ABNT, 1984) preconiza o atendimento das especificações do fabricante do equipamento no que diz respeito ao tempo de mistura, velocidade e número de rotações.

Para caminhão betoneira a ASTM C94/C94M (2010) recomenda a faixa de 70 a 100 revoluções na velocidade de rotação designada pelo produtor do misturador para produzir um concreto uniforme conforme os parâmetros indicados na norma. Referente a tempo e número máximo de rotações não há indicação de limites, com exceção de concretos compostos por agregados frágeis, sujeitos à trituração.

Para Neville (1997), a rigor não é o tempo de mistura que determina um critério para homogeneidade adequada, mas sim o número de revoluções que ao ser aplicado na velocidade ótima de mistura, determinada pelo fabricante, relaciona o tempo com o número de rotações.

Em manuais de instruções entregues junto ao caminhão betoneira não são encontradas recomendações quanto a tempo mínimo de mistura, velocidade e número de rotações, apenas dados técnicos com aspectos funcionais dos equipamentos.

A partir de contato com serviço de atendimento ao cliente de uma das principais fabricantes de betoneiras hidráulicas (caminhões betoneira) no país e no mundo, questionou-se sobre as especificações de mistura para os seus equipamentos. O representante do corpo técnico da empresa informou que as opiniões das concreteiras sobre esse tema variam, sendo que normalmente cada empresa opta por utilizar os conhecimentos sobre mistura que obteve na prática durante as operações no dia-a-dia. A respeito do mercado nacional é citada a existência de três teorias sobre os aspectos que influenciam na qualidade da mistura, sendo a primeira relacionada à velocidade da mistura, em que acredita-se que quanto mais rápido o tambor da betoneira gira (dentro dos limites técnicos do misturador), melhor a mistura. A segunda idéia diz que o concreto se mistura até determinado número de rotações do tambor e após esse limite não há mais melhora na homogeneidade, assim determinadas concreteiras realizam o controle de rotações a partir de contadores de giro, instalados sob encomenda. E por último, outra premissa aceita, utilizada e dita comprovada em campo pelo fabricante de betoneiras, é que a qualidade da mistura está relacionada ao espaço vazio no interior do tambor e ao tempo de trabalho do misturador (tempo girando), ou seja, quanto menor a ocupação do volume do balão e maior tempo trabalhando, melhor será a mistura (ZURITA, 2011). A velocidade ideal de trabalho da betoneira não foi especificada.

Faz-se uma ressalva sobre a afirmação anterior, posto que, conforme Recena (2002), misturadores de gravidade e eixo inclinado quando colocados a misturar volumes muito inferiores à sua capacidade nominal, ou sobrecarregados, tendem a apresentar baixa eficiência. A partir das afirmações citadas sobre a relação espaço vazio no balão e a qualidade da mistura, espera-se haver um limite mínimo de ocupação do balão, bem como um máximo, formando uma faixa ótima de ocupação para a mistura.

Essa premissa sobre a quantidade de volume vazio que favorece a mistura pode ser a explicação para as limitações da ASTM C94/C94M (2010), que estabelece em 63% a

utilização máxima do volume do balão para concretos misturados no caminhão e 80% quando a mistura é realizada em central e só transportada por caminhão agitador.

Ao que parece os fabricantes de misturadores optam por não especificar um determinado número de rotações, velocidade e tempo de mistura para se obter um concreto homogêneo visto que essa característica depende das propriedades de cada concreto e das características do equipamento. A aptidão do caminhão betoneira em fornecer uma mistura uniforme pode ser monitorada a partir da avaliação de amostras de concreto de diferentes pontos do balão. De certa forma esses ensaios avaliam a eficiência dos misturadores.

A homogeneidade do concreto pode ser medida através de propriedades macroscópicas, tais como trabalhabilidade, densidade, teor de ar incorporado e resistência à compressão medida em diferentes pontos. No entanto não está claro se a variação em tais parâmetros é suficientemente sensível para as alterações na composição e falta de uniformidade da mistura. Portanto, uma medida possivelmente mais confiável seria com a determinação direta da composição do concreto a partir de ensaios para determinação da quantidade dos constituintes sólidos, tais como agregado miúdo e graúdo, por lavagem e peneiramento de amostras (FERRARIS 2001).

No Brasil não há norma específica que regulamente a avaliação de desempenho dos misturadores. Há apenas uma nota na NBR 12655 (ABNT, 2006) que diz que “As betoneiras devem ser submetidas à comprovação da uniformidade, sempre que apresentarem, durante a descarga, sinais de heterogeneidade de composição ou consistência, em amostras de concreto coletadas durante os primeiros 20 minutos de descarga”. A recomendação é um tanto vaga e incompleta na medida em que não indica nem norma, mesmo que estrangeira, e nem algum procedimento para avaliar a homogeneidade das misturas e desempenho das betoneiras.

No ano passado a ABECE (2011) chegou a publicar em seu manual a seguinte nota:

“a qualidade das betoneiras dos caminhões de entrega deve ser controlada regularmente. Recomenda-se que o controle seja feito ensaiando-se uma amostra retirada após a descarga de apenas 15% do volume total, outra amostra retirada do trecho médio da descarga e uma terceira amostra retirada após 85% de descarga. A diferença entre a maior e a menor resistência assim obtidas não poderá ser maior que 15% da resistência da amostra retirada do trecho médio da descarga”

Essa recomendação, pouco mais específica que a da NBR 12655 (ABNT, 2006), e que parece ser baseada em normas estrangeiras, como a americana ASTM C94/C94M (2010) e a inglesa

BS EN 206-1 (2001), foi revista no ano seguinte e passou a não ser mais reconhecida pela associação.

A ASTM C94/C94M (2010) estabelece diretrizes rígidas para aferir a uniformidade das misturas e a eficiência dos caminhões betoneira através da coleta de duas amostras aproximadamente a 1/6 e 5/6 (≈ 15 e 85%) do volume de concreto na betoneira. A diferença entre as duas amostras, para cada uma das seis propriedades avaliadas, não deve exceder o limite em pelo menos cinco dos seis requisitos de uniformidade limites dos testes apresentados no quadro 2.

Ensaio	Exigências, expressa como a diferença máxima admissível no resultado de testes de amostras tomadas a partir de duas localizações no lote de concreto
Massa específica do concreto [kg/m^3]	± 16
Teor de ar incorporado [%]	± 1
Abatimento (abatimento médio até 100 mm) [mm]	± 25
Abatimento (abatimento médio entre 100 mm e 150 mm) [mm]	± 40
Fração de agregado retido na peneira #4 (4,75 mm) [%]	± 6
Densidade da argamassa sem ar [%]	$\pm 1,6$
Resistência à compressão média aos 7 dias para cada amostra [%]	$\pm 7,5$

Quadro 2: exigências para uniformidade do concreto (ASTM C94/C94M, 2010)

No Reino Unido a norma (BS 3963, BSI 1974) estabelece traços específicos para ensaio de uniformidade, conforme o tipo de betoneira, e a coleta de quatro pontos amostrais (um em cada quarto da carga). A avaliação da uniformidade é realizada a partir da comparação do teor de água, teor de cimento, percentual de agregado miúdo e relação a/c entre as amostras.

Quando atendidos os requisitos de norma, as betoneiras e seus componentes podem ser considerados com desempenho satisfatório, caso contrário devem ser realizadas as manutenções necessárias a fim de atender às especificações de eficiência do misturador. No país, a manutenção dos caminhões betoneira é realizada a partir de inspeção visual do estado das palhetas helicoidais (popularmente denominadas facas) que auxiliam na mistura e na avaliação visual da uniformidade da mistura. Tal inspeção costuma ser realizada em períodos pré-determinados ou pode ser desencadeada em função da ocorrência de inconformidades acima do normal em determinado misturador. Essas avaliações são qualitativas, dependentes da experiência do avaliador bem como suscetíveis à influência do fator humano.

A falta de manutenção das facas das betoneiras com desgaste excessivo pode causar problemas nas misturas devido a não uniformidade, o que pode trazer sérios prejuízos à qualidade do concreto devido a correções de consistência mal realizadas (TANGO, 2005).

Para efeito de controle de qualidade da mistura de concreto admite-se que a menor unidade homogênea de uma mistura é uma amassada, independente do tipo de betoneira intermitente (estacionária ou caminhão betoneira) e da sua capacidade (0,3 m³ a 12 m³). Para se verificar tal situação é necessário que o equipamento seja operado adequadamente, respeitando o tempo de mistura e número de giros recomendados, e esteja em bom estado de conservação e em perfeitas condições de funcionamento. Conforme a norma NBR 11562:1990 - Fabricação e Transporte de Concreto para Estruturas de Centrais Nucleoelétricas (baseada numa antiga recomendação do Bureau of Reclamation, USA), cancelada desde 2010 pela ABNT, nenhum resultado de resistência à compressão dentro de um mesmo caminhão betoneira (mesma betonada) poderia diferir $\pm 7,5\% * f_{cm}$ (resistência média da amassada). Isso equivale dizer que a máxima variabilidade de resistência (variabilidade do concreto somada à variabilidade das operações de ensaio) tolerada num volume de concreto de um caminhão betoneira, expressa pelo coeficiente de variação da curva normal de Gauss, é da ordem de apenas $cv < 2,5\%$ (cv =coeficiente de variação do processo de produção e ensaio do concreto). Por ser um valor tão baixo o cv torna-se desprezível diante de outras variáveis muito mais importantes (HELENE, 2011).

A fase de mistura dos materiais é uma das mais importantes etapas da produção do concreto e tem influência direta na qualidade e propriedades do concreto no estado fresco e endurecido, mas ao analisar essa etapa percebe-se um nível de conhecimento aquém do necessário. Não há um consenso sobre o procedimento de mistura mais adequado para garantir a homogeneidade dos concretos e no país não há nem uma normatização para controle da eficiência dos misturadores.

2.2.1.3 Operações de ensaio e controle

Para controle e determinação da resistência dos concretos é mundialmente utilizado e aceito o ensaio de compressão axial de corpos-de-prova moldados com amostra do concreto a ser analisado.

Diversos são os procedimentos necessários para realização do ensaio, a começar pela coleta de uma amostra representativa do lote, que no caso de concreto usinado deve seguir as prescrições da NBR 7212 (ABNT, 1984), para então realizar o preenchimento das fôrmas e adensamento conforme recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003). Após a moldagem os corpos-de-prova devem permanecer, preferencialmente, em local protegido da incidência direta de sol e calor e de vibrações por um período de mais ou menos 24h para endurecimento e ganho de resistência, de modo a permitir a realização da etapa seguinte; transporte até o local para desmoldagem e cura. Depois da retirada das fôrmas, as amostras de concreto são encaminhadas para cura, conforme prescrições de norma e lá permanecem até um dia antes do ensaio de resistência, quando então é realizada a preparação das bases, ou topos (faces superior e inferior, perpendiculares ao eixo longitudinal do cilindro), dos corpos-de-prova. Na idade determinada para a avaliação da resistência à compressão do concreto, normalmente 28 dias, os corpos-de-prova são submetidos a forças de compressão com aplicação de carga, conforme as recomendações da NBR 5739 (ABNT, 2007), até a ruptura.

Para cada ponto de coleta são moldados pelo menos dois corpos-de-prova e como se admite que para uma mesma amostra de concreto a mistura é homogênea, espera-se, ao realizar todas as operações de ensaio e controle citadas anteriormente de forma igual, encontrar resultados numericamente iguais ao ensaiar os corpos-de-prova. No entanto isso não ocorre devido à variabilidade inerente à produção do concreto e a originada pelas operações de ensaio e controle, que são inevitáveis.

Dispersões em qualquer uma dessas etapas de ensaio e controle resultam em variações na resistência que não correspondem a variações no concreto, por isso deve-se tentar ao máximo manter a constância nas operações para não prejudicar a avaliação da variabilidade real do processo de produção do concreto (HELENE e TERZIAN, 1992).

Os procedimentos de moldagem e adensamento, cura, capeamento e ensaio são as etapas do processo de controle de qualidade com maior possibilidade de variabilidade e influência sobre

as propriedades das amostras. Assim esses procedimentos serão discutidos com maior atenção a seguir.

2.2.1.3.1 Adensamento

O adensamento tem por finalidade acomodar os constituintes do concreto de forma mais compacta possível, ao mesmo tempo em que expulsa o ar aprisionado na mistura, através da aplicação de uma determinada energia, a qual depende da trabalhabilidade da mistura, para reduzir o atrito entre as partículas e facilitar sua acomodação (NEVILLE, 1997; RECENA, 2002). Misturas mais trabalháveis necessitam menor energia para um mesmo grau de adensamento que misturas menos trabalháveis.

A trabalhabilidade é uma propriedade da mistura composta por dois fatores: consistência e coesão. A consistência é uma estimativa da umidade da mistura de concreto capaz de avaliar a fluidez do material, ou seja, a sua mobilidade relativa, e a coesão é uma medida qualitativa, avaliada visualmente, que determina a capacidade da mistura em reter água (oposto à exsudação) e evitar a segregação (separação dos materiais) (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A proporção dos materiais, bem como suas características, tais como forma e textura dos agregados e finura do cimento, é que definem a trabalhabilidade da mistura. Há também influencia devido ao efeito do tempo e temperatura: conforme passa o tempo após a mistura inicial dos componentes com água, pode haver perdas, mais ou menos acentuadas, conforme fatores climáticos externos (temperatura e U.R.), na trabalhabilidade devido à absorção de água da mistura pelo agregado (se não está saturado), perda por evaporação e devido às próprias reações iniciais do cimento (NEVILLE, 1997; DEWAR e ANDERSON, 1992).

Para medir a trabalhabilidade não há nenhum método específico, sendo normalmente utilizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, o qual mede, na realidade, a consistência do concreto.

Deve-se atentar para o fato de que o excesso de adensamento, principalmente em misturas mais trabalháveis, pode provocar segregação dos constituintes do concreto, causando assim redução na qualidade do material e heterogeneidade na mistura, conseqüentemente queda na

resistência à compressão. Sendo assim há uma faixa de adensamento ideal, a qual deve expulsar o máximo de ar aprisionado sem segregar o concreto.

No concreto a porosidade é dependente diretamente de três fatores principais: a relação a/c, discutida anteriormente, grau de compactação (depende do adensamento) e o grau de hidratação do cimento, o qual varia com a idade do concreto e o tipo de cura e tipo de aglomerante.

O concreto não é um sólido homogêneo devido às microfissuras na zona de transição, na interface entre agregado graúdo e a matriz cimentícia, e é considerado um material complexo demais para correlacionar com exatidão a resistência e a porosidade. Mesmo assim o concreto respeita a relação inversamente proporcional entre porosidade e resistência dos sólidos. Então tem-se que concretos iguais terão maior resistência quanto maior sua densidade, ou seja, menor quantidade de vazios (defeitos) (RECENA, 2002).

A necessidade de um correto adensamento se torna evidente a partir de um estudo da relação entre grau de adensamento e a resistência resultante, o qual evidencia que a presença de vazios diminui muito a resistência à compressão: 5% de vazios podem reduzir a resistência de até 30%, e mesmo 2% de vazios podem resultar em uma perda de 10% de resistência (NEVILLE, 1997). O ACI 214R (2002) cita a redução em torno de 7% para cada percentual de ar aprisionado na mistura devido ao adensamento insuficiente.

2.2.1.3.2 *Cura*

Inicialmente deve-se definir o que é propriamente o processo de cura do concreto. O aglomerante (cimento hidráulico + água) responsável por dar liga aos componentes da mistura que forma o concreto (capaz de unir fragmentos de materiais sólidos e uma massa compacta), sofre reações químicas tão logo entra em contato com a água, ocorrendo assim a denominada hidratação do cimento, a qual resulta em produtos com capacidade cimentantes e de endurecimento (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

As reações dos diversos compostos anidros do cimento com a água têm velocidades diferentes e só cessam na ausência de contato entre os compostos anidros e a água. Assim, o objetivo da cura é proporcionar a máxima hidratação do cimento até o prazo pré-definido e para isso

deve-se manter o concreto saturado, ou o mais próximo disso, com os poros preenchidos de água, para que o processo só cesse devido à ausência de compostos anidros, ainda reativos. A cura envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, como tempo, temperatura e umidade, consideradas logo depois do lançamento da mistura na fôrma.

Para umidade relativa abaixo de 80% no interior dos poros capilares do concreto há uma expressiva redução das reações de hidratação (NEVILLE, 1997; MEHTA e MONTEIRO, 2008).

A fim de se atingir o máximo potencial de hidratação para a idade de ensaio prevista e reduzir possíveis influências de fatores como temperatura e U.R., há uma padronização do processo de cura para efeito do controle de qualidade dos concretos. Normalmente são adotados parâmetros para os fatores influentes na cura (temperatura, umidade e tempo) conforme recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003), sendo determinadas temperaturas e umidades relativas específicas, enquanto o tempo de cura, que depende da idade definida para ensaio, é variável conforme necessidade do controle de qualidade.

2.2.1.3.3 Preparação de topos e ensaio à compressão

Ao moldar o corpo-de-prova, a superfície superior e inferior não tem a planicidade ideal que permita a plena transferência de carga, distribuída igualmente sobre toda superfície. Para evitar possíveis concentrações de carga em determinados pontos, devido a irregularidades superficiais, e conseqüente ruptura prematura, com cargas inferiores à real capacidade do concreto ensaiado, é fundamental garantir que as bases estejam limpas, planas, paralelas entre si e ortogonais ao eixo longitudinal do corpo-de-prova. A adequação das bases, normalmente, é realizada por retificação, que consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado, ou por capeamento, que é o revestimento dos topos dos corpos-de-prova com uma fina camada de material apropriado. A NBR 5738 (ABNT, 2003) permite desvios de planicidade máximos da ordem de 0,05 mm nas superfícies.

O material utilizado para o capeamento deve ter algumas características específicas para não prejudicar o ensaio de resistência à compressão, tais como aderência ao corpo-de-prova,

compatibilidade química com o concreto, fluidez adequada no momento de sua aplicação, resistência e propriedades elásticas comparáveis às do corpo-de-prova e acabamento liso e plano após endurecimento. O material normalmente utilizado é uma mistura composta predominantemente por enxofre, a qual atende adequadamente as exigências para concretos com resistências usuais atualmente (NBR 5738, 2003; NEVILLE, 1997).

Durante o capeamento deve-se evitar camadas muito espessas (máximo 3 mm), o que pode influenciar na resistência devido à contenção das deformações transversais próximas à interface, e utilizar gabarito perfeitamente alinhado e moldes com superfícies lisas e planas.

A retificação é um processo abrasivo executado por máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade e deve ser feita de modo a garantir a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida e proporcionar uma superfície lisa, livre de saliências e ondulações (NBR 5738, 2003). A qualidade do processo também depende da velocidade de execução e espessura das camadas removidas, assim deve-se determinar um procedimento adequado à máquina utilizada, de forma a regular o processo de retificação e evitar possíveis influências de fator humano sobre a qualidade da retificação.

Falhas durante o desbaste do corpo-de-prova podem gerar superfícies côncavas ou convexas, ou mesmo não perpendiculares ao eixo longitudinal, que ao serem submetidas a forças de compressão têm concentração de carga e menor capacidade resistente do corpo-de-prova.

No ensaio de compressão propriamente dito, quando é aplicado um carregamento sobre o corpo-de-prova até a sua ruptura, a velocidade de aplicação da carga tem considerável influência sobre a capacidade resistente do corpo-de-prova. Quanto menor a taxa de incremento de carga sobre o corpo-de-prova, menor a resistência de ruptura. Isso se deve, provavelmente, ao aumento da deformação devido à fluência (deformação ao longo do tempo sob tensão constante) e quando a deformação limite é atingida, ocorre a ruptura (NEVILLE, 1997). A velocidade de aplicação de carga durante o ensaio à compressão deve ser mantida constante e dentro do intervalo recomendado por norma sob pena de introduzir mais variáveis na determinação da resistência do concreto.

2.2.1.4 Resumo dos fatores que afetam a resistência

No quadro 3 são apresentados diversos fatores responsáveis pela variabilidade da resistência à compressão com a respectiva quantificação da sua máxima variação sobre a propriedade mecânica do concreto.

Causas de Variação		Efeito máximo no resultado
Materiais	variabilidade da resistência do cimento	± 12%
	variabilidade da quantidade total de água	± 15%
	variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	± 8%
Mão-de-obra	variabilidade do tempo e procedimento de mistura	-30%
Equipamento	ausência de aferição de balanças	-15%
	mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias, etc.	-10%
Procedimento de ensaio	coleta imprecisa	-10%
	adensamento inadequado	-50%
	cura (efeito considerado a 28 dias ou mais)	± 10%
	remate inadequado dos topos (concavidade)	-30%
	remate inadequado dos topos (convexidade)	-50%
	ruptura (velocidade de carregamento)	± 5%

Quadro 3: Principais fatores que influenciam o resultado de resistência à compressão de concreto, medida no ensaio de controle (HELENE, 1980)

Dewar e Anderson (1992) exemplificam, a partir de gráficos, a gama de variações possíveis para ensaio de resistência à compressão de cubos de concreto devido a diferentes fatores. Conforme os autores um erro de amostragem pode causar uma variação de $\pm 10\%$ na resistência, mesmo percentual para cura em temperatura fora do recomendado. Para cura inadequada a redução de resistência pode atingir 35%, enquanto para falhas na compactação a redução é da ordem de até 20% da resistência. Na figura 4 é apresentado um fluxograma com os fatores responsáveis por variações na resistência à compressão.

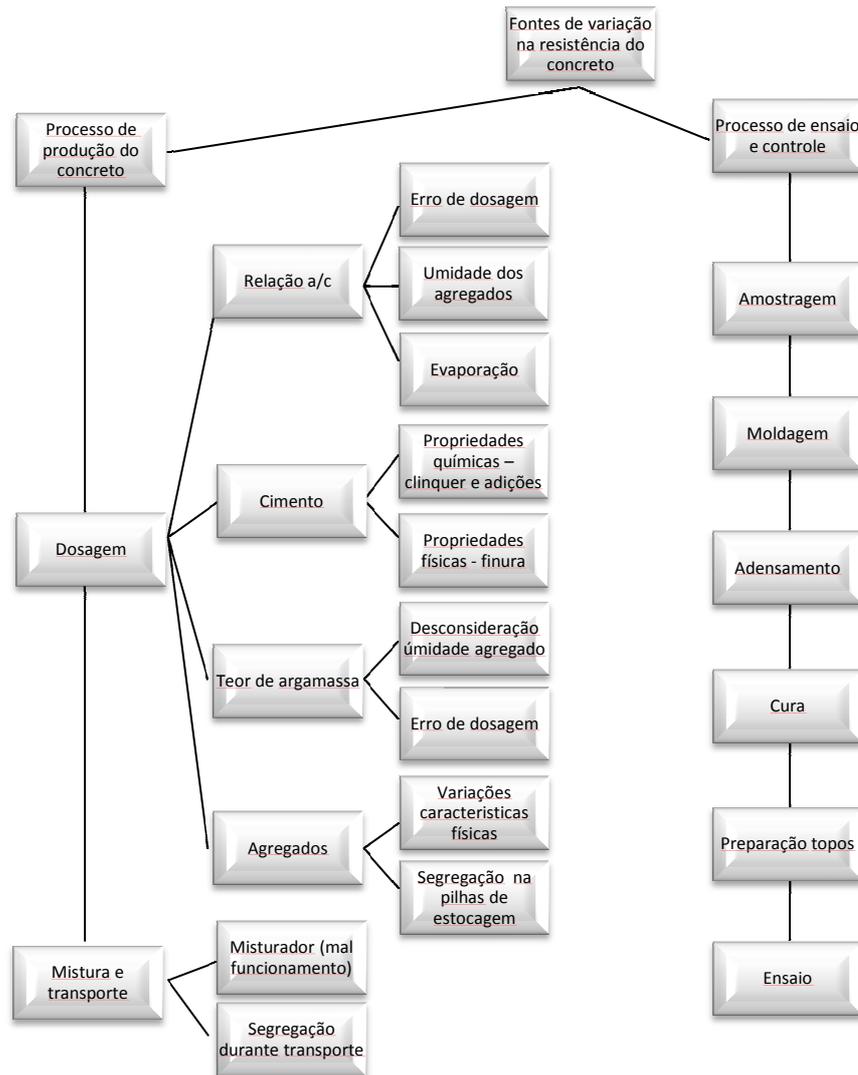


Figura 4: fatores responsáveis por variações na resistência à compressão

A fim de controlar o processo de produção do concreto a partir dos fatores que intervêm na qualidade do produto final, adota-se a resistência à compressão como parâmetro de controle, visto que essa característica engloba indiretamente as demais, tais como durabilidade, resistência mecânica, homogeneidade, deformabilidade, impermeabilidade e outras, como discutido anteriormente (HELENE, 1980). O controle de produção mais utilizado é o de cartas de controle, recomendado pelo ACI 214R (2002), o qual permite, a partir da representação gráfica dos dados, controlar a uniformidade e eficiência do processo de produção do concreto e diagnosticar alterações no processo a fim de corrigi-las.

Um controle de produção eficiente necessita de uma retro-alimentação ágil para se tomar medidas corretivas a tempo. Nesse caso específico a resistência à compressão aos 28 dias de

idade não é interessante para o controle do processo de produção, sendo mais recomendado a utilização de resistências a baixas idades, tais como 3 dias (HELENE, 1980).

2.2.2 Abatimento de tronco de cone

Há vários ensaios que dão uma noção de trabalhabilidade do concreto, mas nenhum que determine diretamente a propriedade conforme sua definição. Diversas são as tentativas para correlacionar a trabalhabilidade com alguma medida física possível de ser mensurada, mas nenhuma é plenamente satisfatória. Entre os vários ensaios existentes, que proporcionam informações úteis sobre a variação de trabalhabilidade, o ensaio de abatimento de tronco de cone é o mais utilizado (GUIMARÃES, 2005; MEHTA e MONTEIRO, 2008).

De fácil aplicação e baixo custo, o ensaio de abatimento de tronco de cone é utilizado em laboratórios e canteiros de obras em todo o mundo para determinação da consistência de concretos nem muito secos e nem muito fluidos. O ensaio é muito útil para determinação de variações de uniformidade entre amassadas e entre pontos dentro de uma mesma mistura.

2.2.3 Teor de agregado graúdo

Uma forma de medir a uniformidade de uma mistura, como o concreto, é separar os seus constituintes, determinando os teores de cada material, para amostras de diferentes pontos e compará-las. Nessa linha de raciocínio, para misturas de concreto, há o ensaio de determinação do teor de agregado graúdo, conforme recomendações da ASTM C94/C94M (ASTM, 2010), que visa comparar a quantidade de brita em diferentes pontos de coleta durante a descarga do concreto da betoneira. Por norma a diferença máxima no teor de agregado graúdo entre dois pontos é de 6%.

O ensaio deve ser realizado com concreto ainda fresco a partir da pesagem de uma amostra, seguido da lavagem, com água corrente, da amostra sobre peneira de #4,8mm a fim de separar o agregado graúdo do restante da mistura. Por razão entre a massa do material retido e massa inicial da amostra tem-se o teor brita.

2.2.4 Teor de ar incorporado

O volume de vazios preenchidos por ar dentro do concreto, expresso em porcentagem do volume total de concreto fresco adensado, é denominado teor de ar incorporado e podem estar presentes de duas formas: através de vazios de ar aprisionado, de até 3mm, ou bolhas de ar incorporado, que variam entre 50 e 200 μ m (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

As bolhas de ar incorporado podem ser de origem natural, devido a pequenas quantidades de ar incorporadas durante a mistura da massa de concreto, e de origem forçada, através do uso de aditivos incorporadores de ar, utilizados para modificar propriedades do concreto, no estado fresco e endurecido conforme requisitos exigidos na utilização do concreto. O ar incorporado de origem natural advém de fatores como finura dos aglomerantes e agregados miúdos, proporção/dosagem dos materiais, tempo de mistura, e trabalhabilidade (NEVILLE, 1997). Concretos convencionais normalmente contêm em seu interior de 1% a 3% do seu volume em vazios de ar.

O ensaio de teor de ar incorporado possibilita a comparação entre diferentes remessas de concretos de igual traço para controle de uniformidade entre as misturas e também entre diferentes pontos de uma mesma amassada. Um concreto com grande variação no percentual de ar incorporado em relação a amassadas anteriores indica uma possível alteração na mistura e dependendo do teor medido pode haver prejuízo ao desempenho mecânico do material.

A partir da análise dos possíveis parâmetros de controle a serem adotados para avaliação da uniformidade de misturas de concreto, bem como dos fatores que causam variações nas propriedades avaliadas, definiu-se os ensaios a serem utilizados no programa experimental a fim de atingir os objetivos da pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Buscando atingir os objetivos propostos neste trabalho, foi desenvolvido o método de pesquisa experimental, com definição das variáveis envolvidas e ensaios necessários, para análise das propriedades mecânicas, físicas e de trabalhabilidade de concretos usinados, misturados e entregues em caminhão betoneira.

3.1 PLANEJAMENTO DO EXPERIMENTO

A realização do projeto de experimentos faz-se necessária no desenvolvimento da pesquisa na medida em que, por análise estatística, possibilita o uso mais racional dos recursos para alcançar os objetivos da pesquisa, com a definição de uma sequência de ensaios econômica, eficiente, com menor dispêndio de energia e que mantém a qualidade e confiabilidade dos resultados. No planejamento experimental são determinados os parâmetros envolvidos, bem como os ensaios necessários para o entendimento das relações de causa e efeito sobre o problema estudado (RIBEIRO e CATEN, 2001).

3.2 VARIÁVEIS ENVOLVIDAS

As variáveis de resposta (dependentes) medem os efeitos de fatores experimentais sobre determinadas propriedades avaliadas. Visando analisar a uniformidade das misturas de concreto usinado definiram-se as variáveis dependentes de interesse para a pesquisa:

- a) resistência à compressão axial;
- b) consistência;
- c) teor de agregado graúdo.

A resistência à compressão foi definida como variável de resposta visto que representa a característica mais valorizada do concreto, tem ligação direta com diversas outras

propriedades e é sensível a alterações na composição da mistura. A consistência e o teor de agregado graúdo foram utilizados como variáveis dependentes para controle da homogeneidade da mistura em estado fresco.

Fixadas as variáveis de resposta, foram definidas as variáveis controláveis (independentes), as quais têm seus parâmetros alterados durante a pesquisa para avaliar a existência ou não de efeitos sobre as variáveis dependentes. Seguem as variáveis selecionadas para o estudo:

- a) ponto de coleta das amostras ao longo da descarga do material – 5 níveis;
- b) traço de dosagem teórico – 3 níveis.

Foram definidos cinco pontos de coleta a fim de formar um perfil das variações de propriedades ao longo da descarga da mistura e para que houvesse dois pontos fora dos 15% preconizados em norma, o ponto inicial e final, e três pontos dentro da porção central (70% recomendado por norma), permitindo assim validar as recomendações. O fator controlável traço de dosagem foi definido conforme o concreto utilizado nas obras disponíveis no momento da pesquisa.

Têm-se ainda as variáveis não controláveis (intervenientes) que, como sugere o próprio nome, são fatores que não se pode ter controle durante a pesquisa, acarretando um erro inerente ao experimento. Em virtude da proposta do trabalho, que visa analisar misturas de concreto em caminhão betoneira, não se tem controle sobre os aspectos meteorológicos, como temperatura e umidade relativa, pois a coleta das amostras é realizada fora do ambiente de laboratório e com veículos em serviço normal. Também não se tem controle sobre o tempo de mistura e número de rotações do balão, pois o tempo entre a dosagem e descarga é variável conforme o caminho utilizado, trânsito, espera na obra, entre outros.

A seguir, na figura 5, é apresentada uma visão global das variáveis envolvidas no programa experimental da pesquisa.

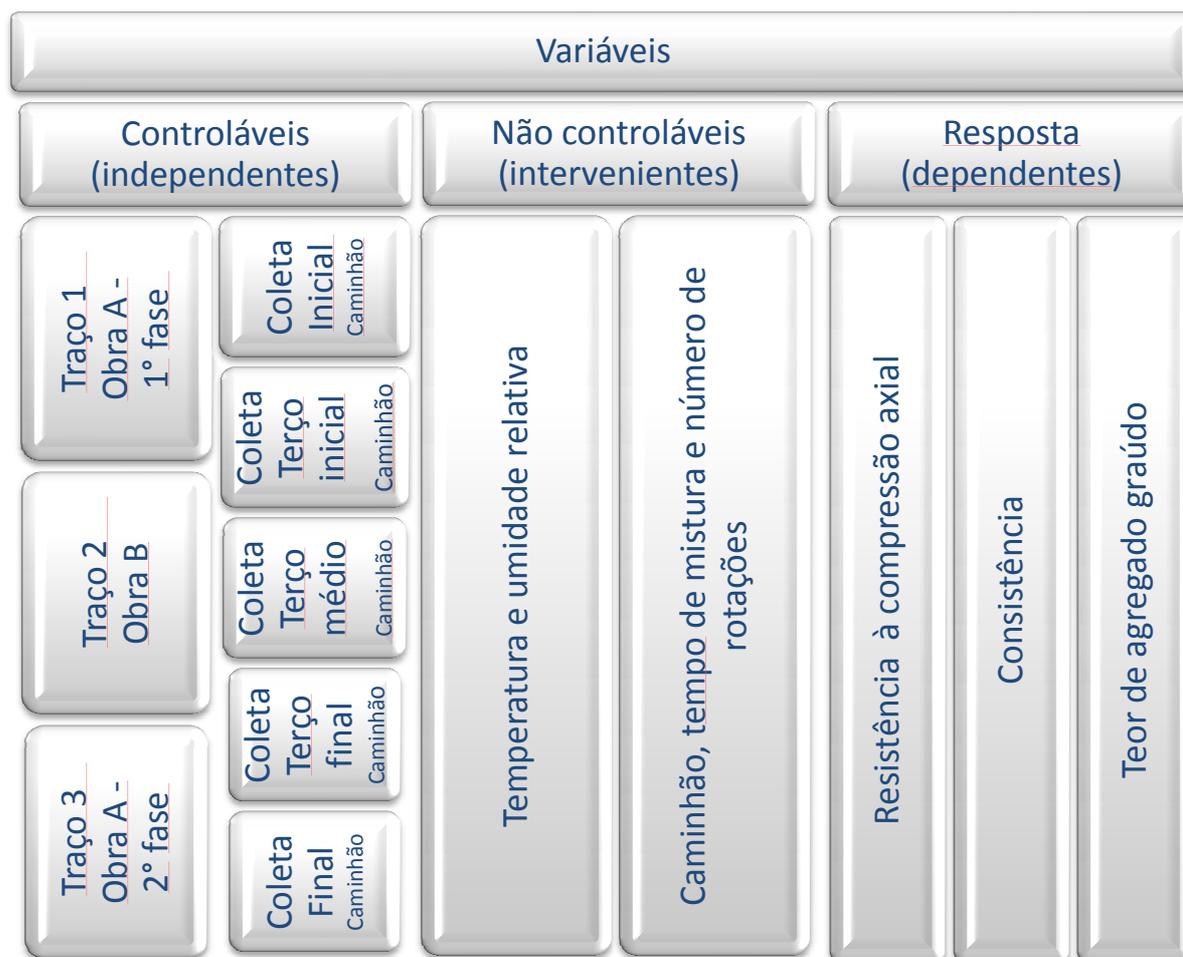


Figura 5: variáveis envolvidas no programa experimental

3.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

A seguir são apresentadas as etapas da fase experimental, iniciando com a coleta das amostras, seguido dos ensaios propostos.

3.3.1 Locais de coleta das amostras

As coletas de amostras foram realizadas em construções nas quais a empresa construtora se dispôs a auxiliar na pesquisa e que atendiam aos requisitos do programa experimental da pesquisa, ou seja, utilizavam concreto convencional usinado com considerável volume de modo a permitir coletas de diversos lotes de um mesmo traço para efeito de comparação.

3.3.1.1 Obra A

O empreendimento em construção localiza-se na região central de Porto Alegre/RS e é composto por três torres de 23 andares e quatro subsolos.

A obra foi escolhida em função da disposição da empresa construtora em participar da pesquisa e do alto volume de concreto utilizado no período das coletas. As coletas ocorreram em dois períodos distintos em diferentes fases da construção do empreendimento: a 1ª fase engloba a execução de cortinas e estacas de fundação, enquanto a 2ª fase a execução de blocos de fundação.

A especificação de projeto para o concreto das fundações e cortinas diafragmas (1ª fase) exigiam teor de cimento de 400 kg/m³, consistência de 220±30 mm e brita 0. O traço fornecido pela concreteira em nota fiscal (NF), para 8 m³, foi: CII Z - 32RS - 3200kg, AREIA FINA - 2352kg, AREIA NATURAL - 3496 kg, BRITA 0 - 7608 kg, ÁGUA - 1840 l, ADITIVO POLIFUNCIONAL - 12,80 kg. Em proporção unitária, na ordem cimento, areia, brita e relação a/c, o traço é: 1:1,8:2,4:0,57.

O concreto dos blocos de fundação (2ª fase) tinha traço especificado com resistência característica de 35 MPa para idade de 28 dias, consistência de 120±20 mm e brita 0. O traço fornecido pela concreteira em nota fiscal (NF), para 8 m³, foi: CPV-ARI RS - 2600 kg, POZOLANA - 468 kg, AREIA FINA - 1472 kg, AREIA MÉDIA - 4552 kg, BRITA 0 - 8648 kg, ÁGUA - 1520 l, ADITIVO POLIFUNCIONAL - 26,00 kg. Em proporção unitária, na ordem aglomerante, areia, brita e relação a/c, o traço é: 1:1,9:2,8:0,49.

As coletas na 1ª fase foram realizadas no período de quatro semanas seguidas, de segunda a sexta-feira, entre os meses de janeiro e fevereiro de 2011, portanto no verão. A 2ª fase ocorreu no período de quatro semanas entre os meses de novembro e dezembro de 2011 (primavera), com coletas uma vez a cada semana.

3.3.1.2 Obra B

O prédio em construção localiza-se na região leste da cidade de Porto Alegre e abrigará um novo instituto para tratamento e investigação de doenças neurológicas. O instituto conta com

um espaço especial com paredes de concreto com aproximadamente 1,5 m de espessura, o que exigiu grande volume de concreto em cada uma das 5 etapas de concretagem (mais de 60 m³ por etapa), possibilitando assim a coleta de um número razoável de amostras.

Em função da grande massa de concreto da estrutura, houve a preparação de um traço especial visando o correto adensamento do concreto para a densa armadura existente e principalmente a redução do calor de hidratação para evitar fissuração da estrutura.

O traço especificado para estrutura tinha resistência característica de 30 MPa para idade de 63 dias, consistência de 180±30 mm e brita 1. O traço fornecido em nota fiscal, para 8 m³, foi o seguinte: CPIV - RS – 2648 kg, AREIA MÉDIA – 4888 kg, AREIA FINA – 2096 kg, BRITA 0 – 3312 kg, BRITA 1 – 4968 kg, ÁGUA - 1400lts, ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE 1059 – 8 l, PLASTIFICANTE - 14,58 l. Em proporção unitária, na ordem cimento, areia, brita e relação a/c, o traço é: 1:2,6:3,1:0,53.

As coletas foram realizadas entre o final de março e início de maio, já no outono, com temperaturas mais amenas. O aditivo superplastificante era colocado na mistura pouco antes da descarga, com caminhão na obra.

3.3.2 Propriedades avaliadas – Ensaios

São apresentados os ensaios realizados para avaliação das variáveis de resposta.

3.3.2.1 Determinação da consistência

Previamente à moldagem dos corpos-de-prova, é realizado o ensaio de abatimento pelo tronco de cone, seguindo as especificações da NBR NM 67 (ABNT, 1998), para cada um dos cinco pontos de coleta por amassada (lote).

3.3.2.2 Resistência à compressão axial

A avaliação da principal variável de resposta da pesquisa é dada pela verificação da resistência mecânica dos concretos estudados, especificamente resistência à compressão axial. Os três corpos-de-prova que compõem o exemplar de cada ponto de coleta foram submetidos ao ensaio de compressão axial aos 28 dias de idade, seguindo as prescrições da NBR 5739 (ABNT, 2007).

3.3.2.3 Teor de agregado graúdo

A partir de normas internacionais, tal como a ASTM C94/C94M (ASTM, 2010) foi inserido o ensaio para determinação do teor de agregado graúdo para cada um dos pontos de coleta. O ensaio consiste basicamente em pesar uma amostra de concreto fresco, realizar a lavagem dessa amostra sobre peneira de #4,8mm e ao final pesar o material retido, definido como agregado graúdo, para então determinar, por razão entre a massa de material retido e a total, o teor de agregado graúdo. Para realização do ensaio foi adicionado retardador de pega em cada uma das amostras e então as mesmas foram encaminhadas para laboratório, onde foi feita a pesagem e lavagem do material.

3.3.3 Procedimento de retirada, preparação e ensaio das amostras

Considerando que o objetivo principal da pesquisa é verificar a variabilidade da resistência à compressão e de propriedades físicas de concretos usinados dentro de um mesmo lote, tem-se na coleta das amostras de diversas amassadas uma das etapas fundamentais para o desenvolvimento do trabalho. Na pesquisa, cada lote é definido como o volume de concreto de uma mesma amassada, assim os lotes tem entre 7 e 8 m³, que é a capacidade máxima dos caminhões betoneiras utilizados na região.

Para realização dos ensaios foram retiradas cinco amostras de concreto fresco em cada lote: uma logo no início da descarga (ponto 1), outra no terço inicial (ponto 2), a terceira no terço

médio (ponto 3), a penúltima no terço final (ponto 4) e a última próximo ao final da descarga (ponto 5). Em termos percentuais, os pontos amostrais descritos anteriormente foram coletados, aproximadamente, após a descarga de 5%, 25%, 50%, 75% e 95% do volume total do caminhão betoneira.

Durante a descarga do concreto não se tinha precisamente o real volume descarregado, então os pontos de coleta foram determinados a partir da experiência do responsável pela operação de amostragem. Assim os pontos reais de coleta variam em torno dos percentuais citados anteriormente. Estima-se que a variação deva ser da ordem de no máximo $\pm 0,5 \text{ m}^3$.

Primeiramente, pouco antes do início dos trabalhos, foi realizado um teste, na obra A, para verificar possíveis problemas e dificuldades no decorrer das coletas e ensaios em estado fresco. A proposta inicial era executar o ensaio de abatimento de tronco de cone, teor de ar incorporado, moldagem dos corpos-de-prova e separar amostras de concreto fresco (teor de agregado graúdo) para cada um dos cinco pontos de coleta por caminhão. Na coleta teste foi verificada a impossibilidade de por em prática todos estes procedimentos em tempo hábil antes do endurecimento do concreto, então se optou por não realizar o ensaio de ar incorporado, visto o considerável tempo necessário para sua realização.

A coleta das amostras de concreto foi efetuada no canteiro de obras, diretamente no local de descarga, em baldes de 20 l sem interrupção do fluxo de descarga do material. No caso da obra A - 1ª fase, o concreto era coletado direto da calha, enquanto na obra A - 2ª fase e obra B utilizou-se de uma pá para auxiliar na coleta devido à impossibilidade de deslocar a calha.

Tão logo o término das coletas, as amostras, devidamente armazenadas, cobertas e identificadas, eram encaminhadas para o local de ensaio, moldagem e preparação das amostras, dentro do canteiro de obras. Inicialmente, na primeira porção coletada do ponto em questão, era realizado ensaio de abatimento de tronco de cone, moldagem dos corpos-de-prova e preparação de amostras para posterior lavagem fora do canteiro de obras. Os mesmos procedimentos ocorriam para as porções dos pontos seguintes, obedecendo a ordem de coleta. Assim o ponto inicial era ensaiado primeiro, seguido do segundo, terceiro, quarto e do último, que por consequência permanecia um maior tempo armazenado.

Cada exemplar, representativo de um ponto de coleta, era composto por três corpos-de-prova, ou seja, um a mais que o preconizado pela NBR 12655 (ABNT, 2006), e normalmente

realizado em controle de qualidade. Essa escolha sobre o número de corpos-de-prova foi adotada visando obter maior segurança para os resultados e para avaliação da uniformidade e eficiência das operações de ensaio e controle.

Para a determinação do teor de agregado graúdo coletou-se uma amostra por ponto com volume em torno de 2 l, no qual se adicionava retardador de pega para que a mistura permanecesse em estado fresco por longo período, até o seu transporte para o laboratório.

A lavagem das amostras de concreto fresco, para determinação do teor de agregado graúdo, era realizada em laboratório devido à necessidade de equipamentos indisponíveis no canteiro de obras, como a balança de precisão. Para determinação do teor de agregado graúdo, a amostra era pesada integralmente e então encaminhada para lavagem com água corrente sob a peneira de malha 4,8mm. Após, o material retido permanecia na peneira até perder todo excesso de água e posteriormente era pesado, ainda saturado com superfície seca, conforme recomendação da ASTM C94/C94M (ASTM, 2010).

A moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos, de dimensões 9,5 x 19 cm, foi realizada com adensamento manual com haste metálica, conforme as recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003).

Os exemplares permaneciam por um período de 24 horas no canteiro de obras, protegidos da exposição direta aos raios solares pelo cobrimento com chapa de madeira compensada, sendo então transportados para laboratório, onde eram desmoldados e identificados. Após essas etapas os corpos-de-prova eram encaminhados para cura submersa em água saturada com cal, dentro de câmara úmida com temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Um dia antes da data de ruptura os exemplares eram retirados da cura para preparação das bases antes do ensaio à compressão. As rupturas foram realizadas aos 28 dias para a maioria dos lotes, no entanto, devido a feriados prolongados, alguns lotes foram ensaiados com idades pouco superiores (até 30 dias). Os corpos-de-prova de uma mesma amassada eram sempre desmoldados, colocados e retirados da cura, preparados para ensaio de resistência à compressão, e ensaiados em curtos períodos de tempo para reduzir qualquer possível influência de outros fatores. Na figura 6 é apresentado o fluxograma com os procedimentos realizados desde o momento da coleta das amostras até o final dos ensaios.

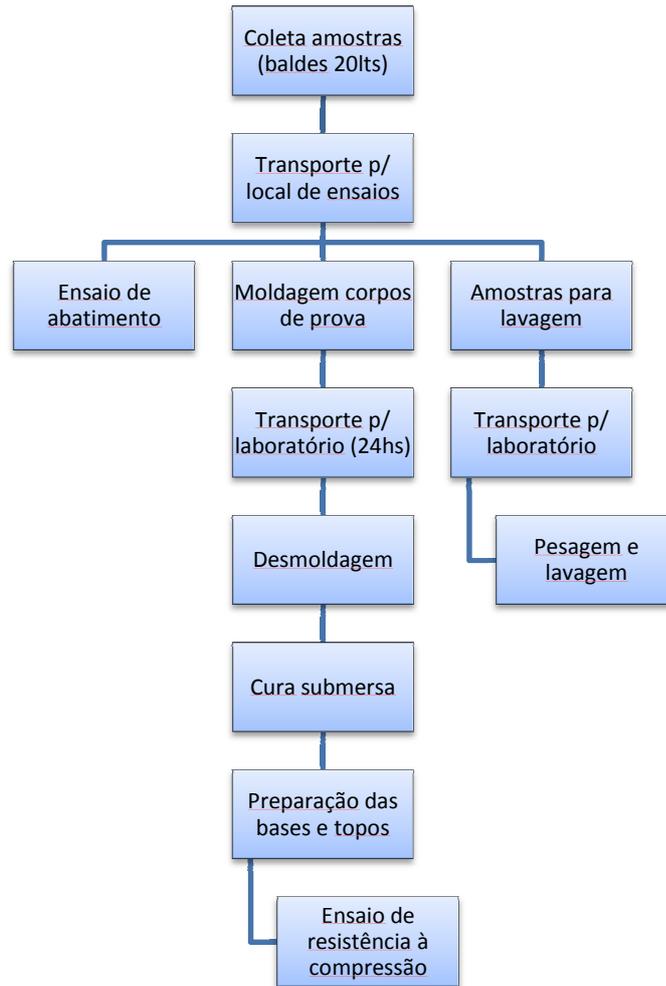


Figura 6: fluxograma dos procedimentos de coleta ao ensaio

Para o preparo das bases dos corpos-de-prova inicialmente foi definido o processo de retificação dos mesmos, visto sua maior praticidade e resultados satisfatórios, em estudos preliminares, realizados no laboratório NORIE/UFRGS, quando comparado ao processo de capeamento com enxofre. Para toda a série de coletas da obra A - 1ª fase foi utilizado o processo de retífica para adequação das bases. No entanto, ao final dos ensaios de resistência à compressão, notou-se uma variabilidade alta entre os corpos-de-prova irmãos (de um mesmo exemplar), como será visto no capítulo 4, a seguir.

Visto que o foco da pesquisa é avaliar a variação de propriedades do concreto, é de grande interesse uma baixa variabilidade devido aos procedimentos de ensaio e controle. Assim buscou-se respostas para a variabilidade incomum. Passou-se a utilizar papel carbono sob as bases dos corpos-de-prova, agora já nos lotes da obra B, para averiguar a suspeita de possíveis

concentrações de carga. A partir dos resultados obtidos em papel carbono, foi constatada a concentração de cargas em alguns corpos-de-prova da primeira metade da série, evidenciando assim a ocorrência de falhas no processo de retificação.

Visando comprovar os problemas no processo, a segunda metade das amostras da Obra B receberam tratamento diferente nas bases, sendo realizado o processo de retífica com novo operador e posteriormente utilizado capeamento com enxofre. Obteve-se uma variabilidade menor entre os corpos-de-prova irmãos, como será discutido no capítulo 4, reforçando assim a suspeita que a variabilidade alta foi fruto de inadequado processo de retificação.

Na primeira série de coletas realizada na Obra A - 1º fase, foram obtidas amostras de 40 amassadas (denominadas de A1 a A40), na Obra B, segunda série, foram realizadas coletas em 12 amassadas (nomeadas de B41 a B52) e na terceira série de coletas, Obra A - 2º fase foram ensaiados amostras de 13 amassadas (denominadas de A53 a A65).

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas a análise e discussão dos resultados obtidos a partir do programa experimental, descrito no capítulo 3. Inicialmente apresentam-se os resultados de resistência à compressão de cada um dos pontos avaliados, seguidos de comparativos das variações entre pontos de mesmo lote para resistência à compressão, teor de agregado graúdo e consistência. Por último avaliam-se as variações entre os pontos a partir de análise estatística dos dados.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos de prova da obra A – 1ª fase (A1 a A40), obra B (B41 a B52) e obra A - 2ª fase (C53 a C65) são apresentados nas figuras 7, 8 e 9, respectivamente. Cada linha de pontos, nas figuras, representa os resultados dos três corpos-de-prova que compõem os exemplares de cada lote, sendo nas extremidades superior e inferior a resistência mais alta e mais baixa, respectivamente, e no ponto central o valor intermediário dos corpos-de-prova irmãos.

Os resultados da obra A - 1ª fase demonstram haver uma grande variação entre os lotes com valores médios de resistência³ variando entre 24,6 MPa (A14) e 41,6 MPa (A17), no decorrer de quatro semanas seguidas de produção, o que resulta em um amplitude de 17,0 MPa. Destacam-se as variações de resistência média dos lotes conforme o dia de coleta da amostra, como no caso das amostras A14 e A15 (coletadas em um mesmo dia) que tem resistência consideravelmente inferior às coletas realizadas imediatamente antes e depois. Tal ocorrência pode estar ligada a variações na produção como alteração da umidade dos agregados, variações na quantidade dos materiais e na qualidade dos diferentes lotes, principalmente em relação ao cimento, visto que na usina que fornecia concreto para obra A volume do silo de cimento durava em torno de um dia e meio, ou seja, era constantemente alterado o lote de fabricação do cimento.

³ Valores médios calculados a partir da resistência potencial de cada exemplar, ou seja, maior valor de cada um dos cinco pontos que compõem o lote.

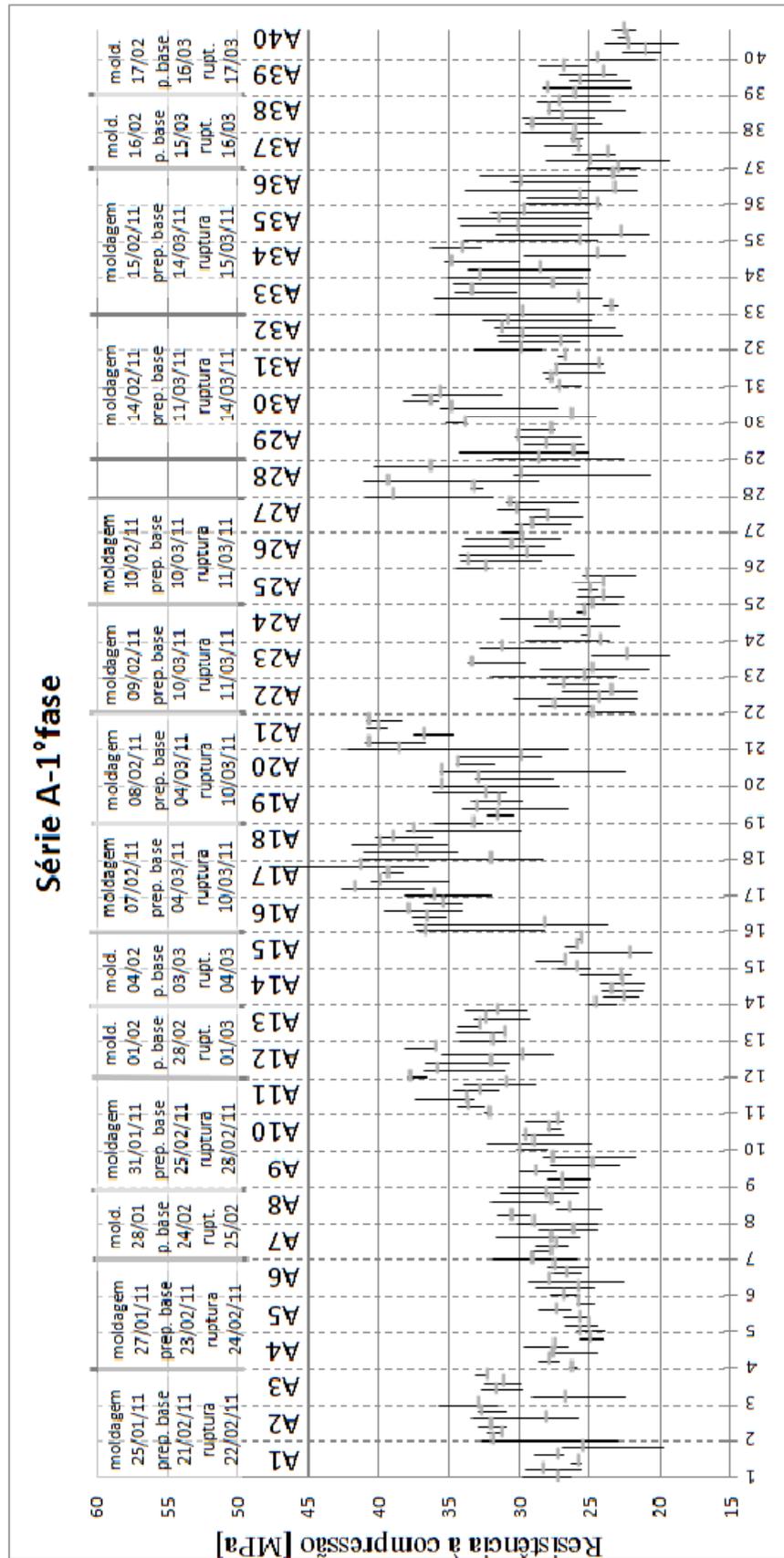


Figura 7: resistência á compressão dos corpos de prova da série A – 1ª fase

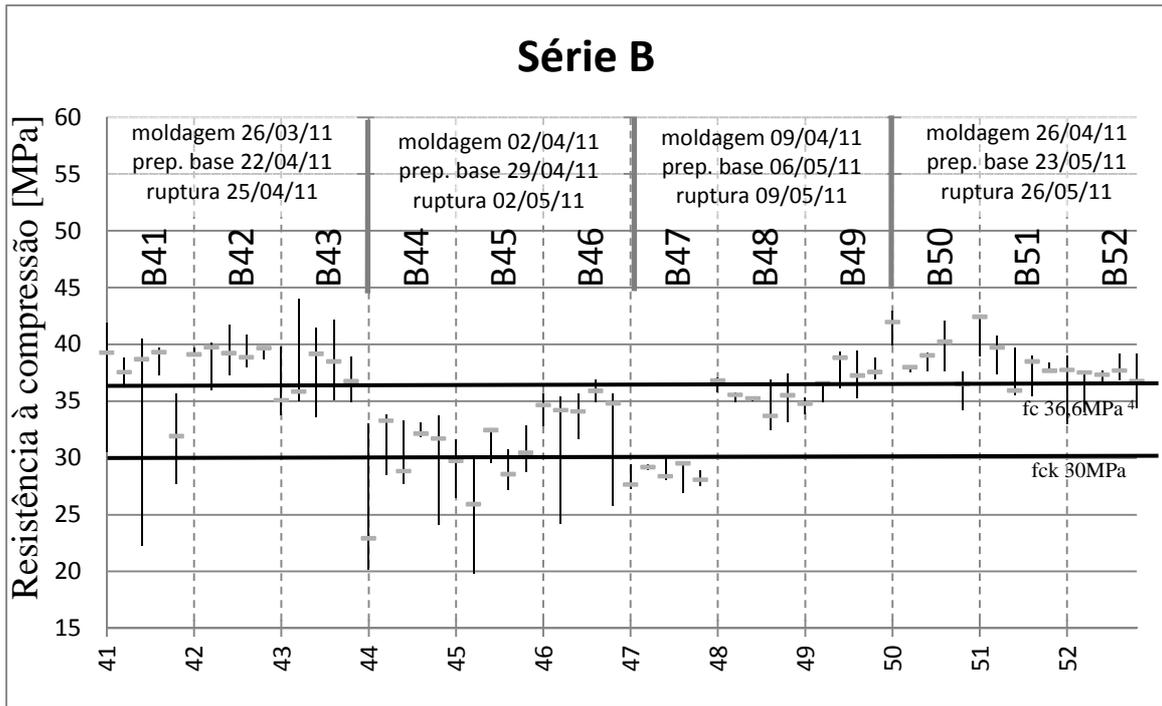


Figura 8: resistência à compressão dos corpos de prova da série B

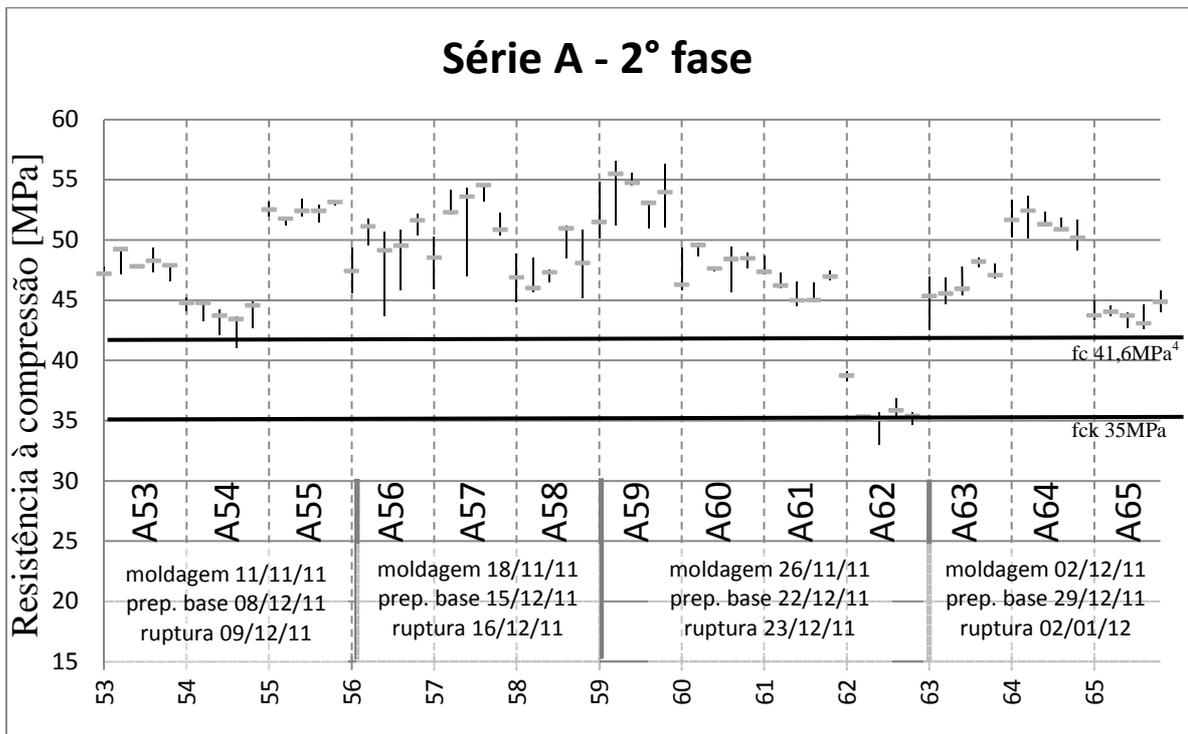


Figura 9: resistência à compressão dos corpos de prova da série A – 2ª fase

⁴ Resistência de dosagem calculada com desvio padrão (sd) de 4MPa, conforme recomendação da NBR 12655 (ABNT, 2006) para condição de preparo A e desvio padrão desconhecido.

Ainda na figura 7 e 8 percebe-se que em diversos lotes as linhas que representam as resistências à compressão dos três corpos-de-prova irmãos são longas, o que indica que há grande variabilidade dentro dos exemplares, que é relacionado a operações de ensaio e controle. Nos resultados da série B a variabilidade permanece alta até a primeira metade dos lotes avaliados (B41 a B46) e é visivelmente reduzida na segunda metade das coletas (B47 a B52), permanecendo assim para todos os lotes seguintes da série A - 2ª fase, como se pode visualizar nas figuras 8 e 9.

A redução da variabilidade dentro dos exemplares está ligada à melhora do controle nas operações de ensaio e controle, principalmente na etapa de preparação das bases e topos dos corpos-de-prova, como será discutido mais adiante no item 4.3.

Na figura 9, o lote com valor médio menor atingiu 36,7 MPa (A62), enquanto o maior 55,3 MPa (A59), o que representa uma amplitude de 18,6 MPa. Avaliando os resultados da série B, percebe-se uma menor amplitude, 11,8 MPa, entre o valor mínimo, 29,5 MPa (B47), e máximo, 41,3 MPa (B43), de resistência média dos lotes⁵ quando comparados aos resultados da série A. Salienta-se que os concretos da série A são fornecidos por uma determinada empresa enquanto os da série B por outra, aparentemente com melhor controle de produção.

Tal amplitude de resultados encontrados para o concreto misturado em caminhão betoneira tem mesma ordem de grandeza de valores encontrados em outros trabalhos do gênero como o de BORGES (2009), em que a variação de resistência para um concreto de 30 MPa foi de 19,2 MPa.

Ao considerar o desvio padrão s_d de menor valor possível, para condição A de preparo do concreto com desvio padrão conhecido para um mínimo de 20 resultados, conforme NBR12655 (ANBT, 2006), tem-se o valor de 2 MPa, e com esse valor de s_d , para uma distribuição normal, o f_{ck} está distante 3,3MPa do f_{cm} . Partindo deste princípio e considerando que 3 desvios padrões correspondem a praticamente 100% das amostras possíveis dentro de uma distribuição normal, tem-se uma variação de $\pm 6,0$ MPa em relação ao f_{cm} , o que resulta em uma amplitude de 12 MPa (figura 10), valor esse comparável aos encontrados no trabalho e muito próximo ao da série B.

⁵ Valores médios calculados a partir da resistência potencial de cada exemplar, ou seja, maior valor de cada um dos cinco pontos que compõem o lote.

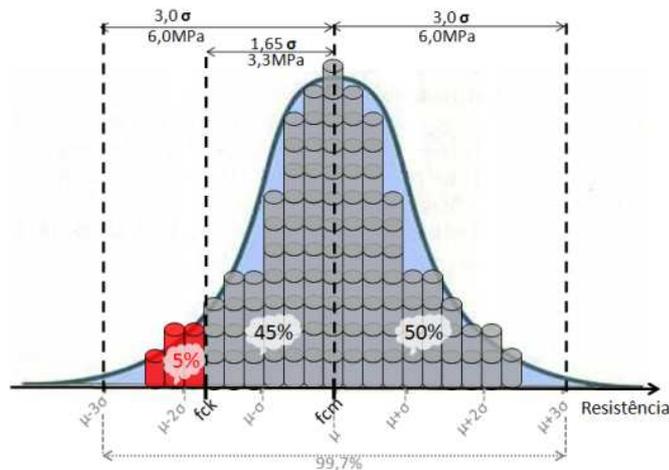


Figura 10: Amplitude de variação da resistência à compressão em uma distribuição normal com desvio padrão de 2MPa

4.2 VARIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, ABATIMENTO E TEOR DE AGREGADO GRAÚDO

A fim de facilitar a compreensão dos dados, inicialmente apresentam-se as figuras 11 a 22, com os resultados de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo para cada um dos cinco pontos de amostragem de cada lote ensaiado.

Nas figuras 11 a 22, os resultados de variação de consistência são apresentados na unidade de “cm” tendo sua variação possível, conforme os limites do ensaio de abatimento de tronco de cone, de 0 a 30 cm. Quanto aos resultados de resistência à compressão utilizou-se o maior valor obtido entre os três corpos-de-prova que compõem cada exemplar, ou seja, cada ponto está representado pela resistência potencial.

Para os dados de resistência à compressão e teor de agregado graúdo, adotou-se, para cada um dos lotes, o terceiro ponto de amostragem, retirada da porção central da descarga, conforme o preconizado por norma, como referência para representar a variação entre os pontos de coleta de cada amassada. Assim tem-se representado as diferenças percentuais dos pontos 1, 2, 4 e 5 em relação ao ponto central.

Durante as coletas foi medida a temperatura e umidade relativa, no local dos ensaios, com termo-higrômetro sob ação direta de variadas condições climáticas (sol, chuva e vento), sem

proteção alguma, o que ocasionou alguns valores extremos, principalmente quando sob incidência direta do sol.

Na Obra A-1ª fase a temperatura ambiente média foi de 32,7°C, com extremos de 24,4°C a 48,0°C e Umidade Relativa (UR) média em torno do 60%, havendo ocorrências da ordem de 20% até 100%. Já para Obra B a variação de temperatura ambiente esteve entre 15,3°C e 33,1°C com média de 25,2°C e UR média da ordem de 60%, variando de 25% a 90%, enquanto na obra A-2ª fase a temperatura média foi de 31,9°C com a mínima de 19,9°C e a máxima de 44,0°C, e a UR variou de 20 a 45%, com média de 25%.

As figuras 11 a 16, 17 a 19 e 20 a 22 são referentes a Obra A-1ª fase, a obra B e a Obra A-2ª fase, respectivamente.

OBRA A

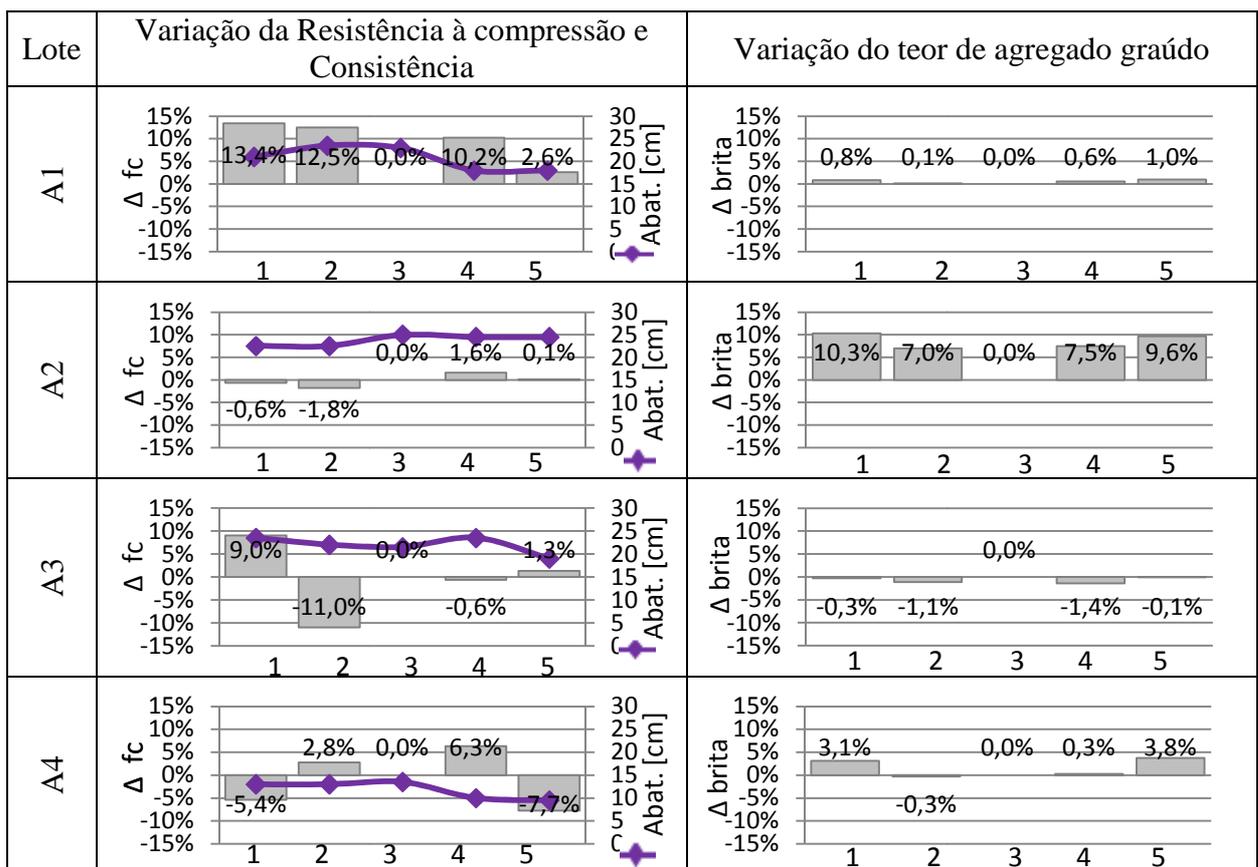


Figura 11: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1ª fase – A1 a A4

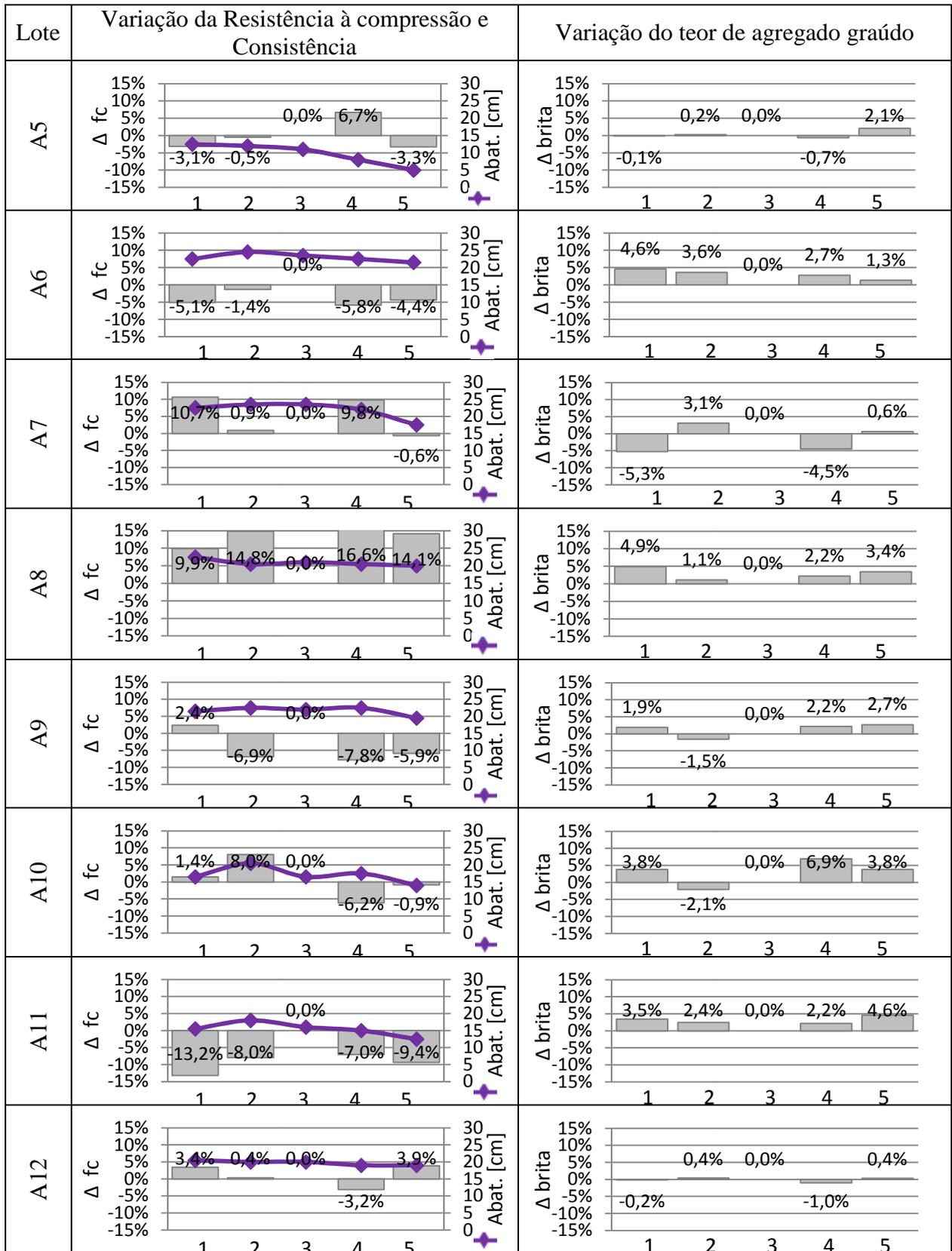


Figura 12: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1ª fase – A5 a A12

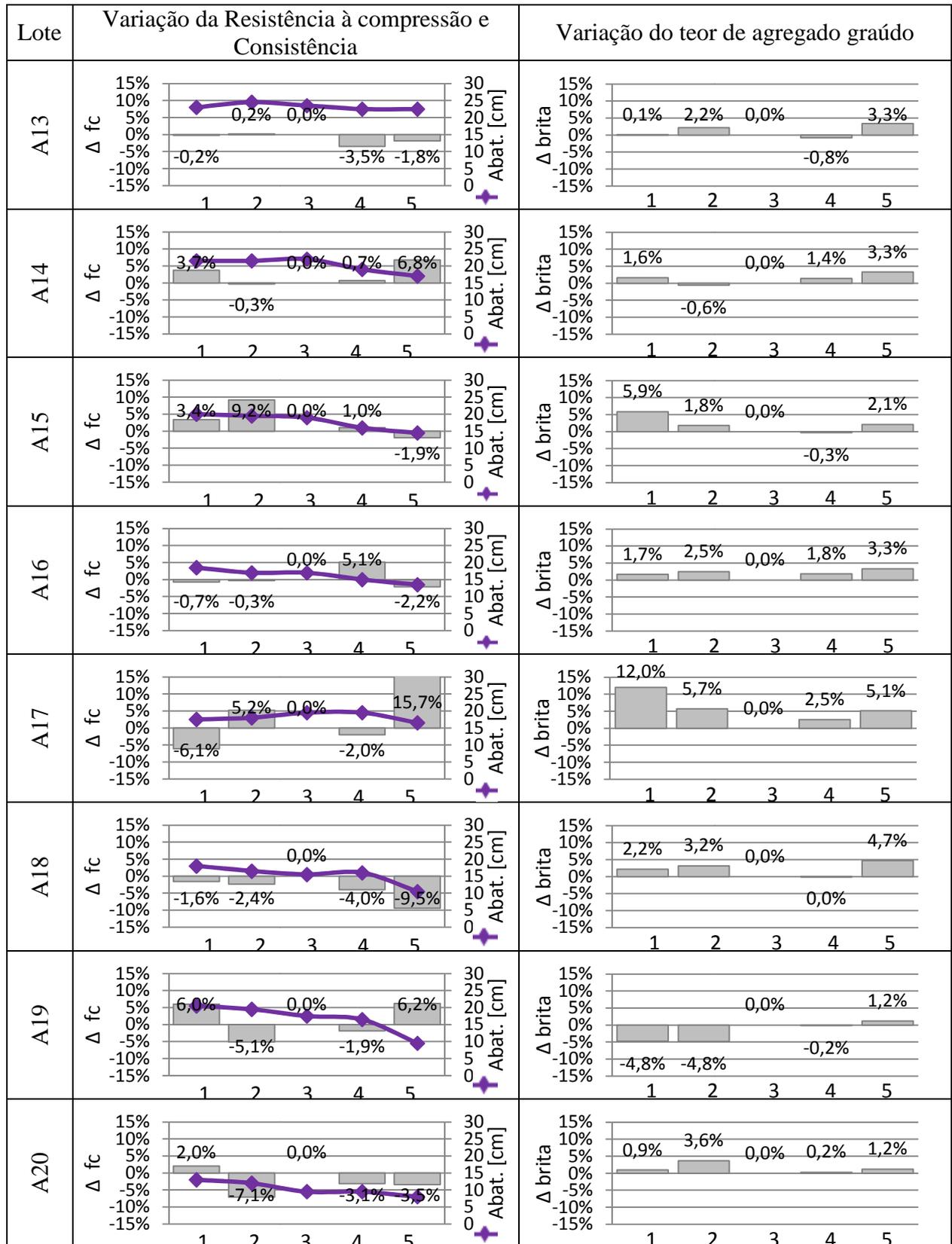


Figura 13: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1ª fase – A13 a A20

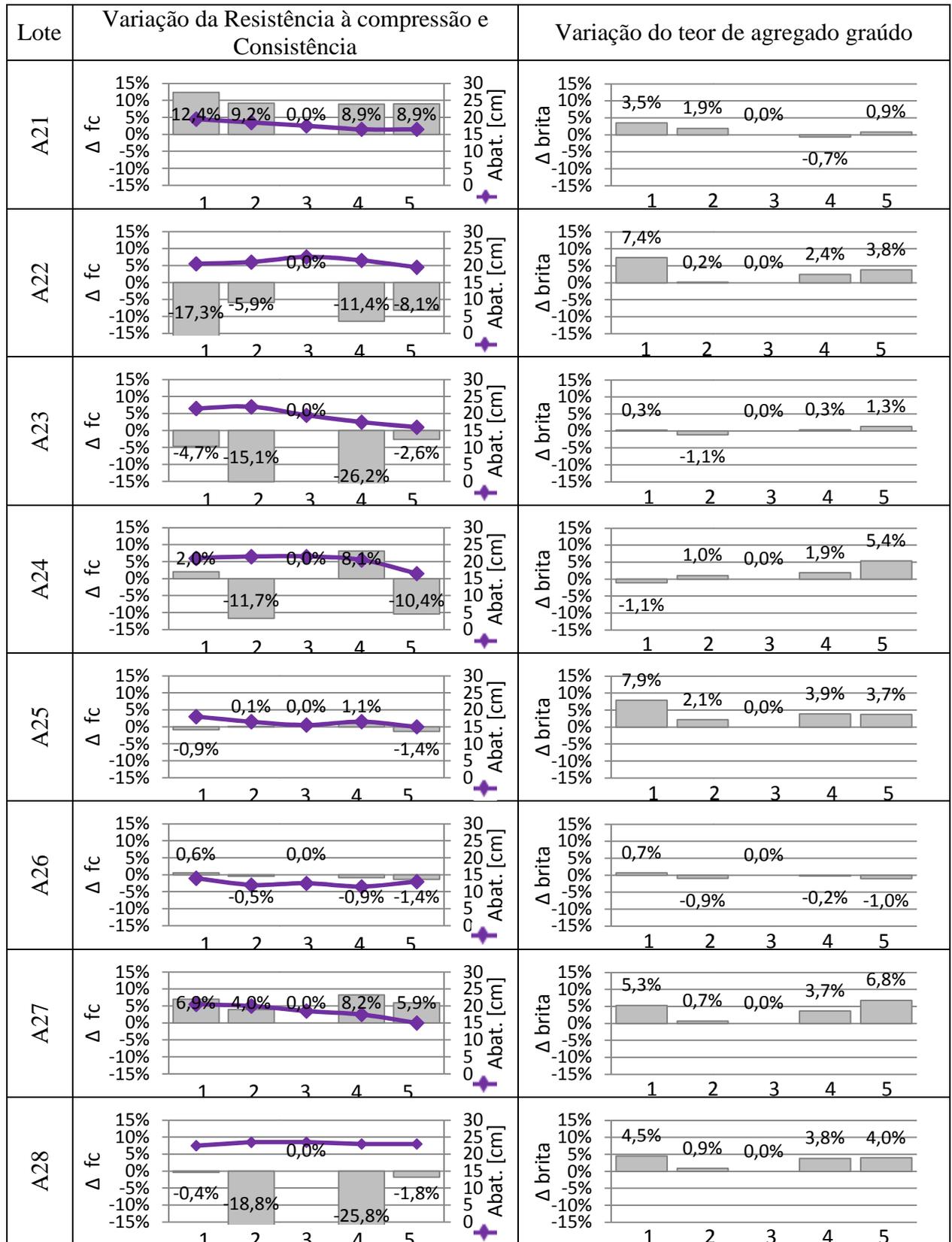


Figura 14: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1ª fase – A21 a A28

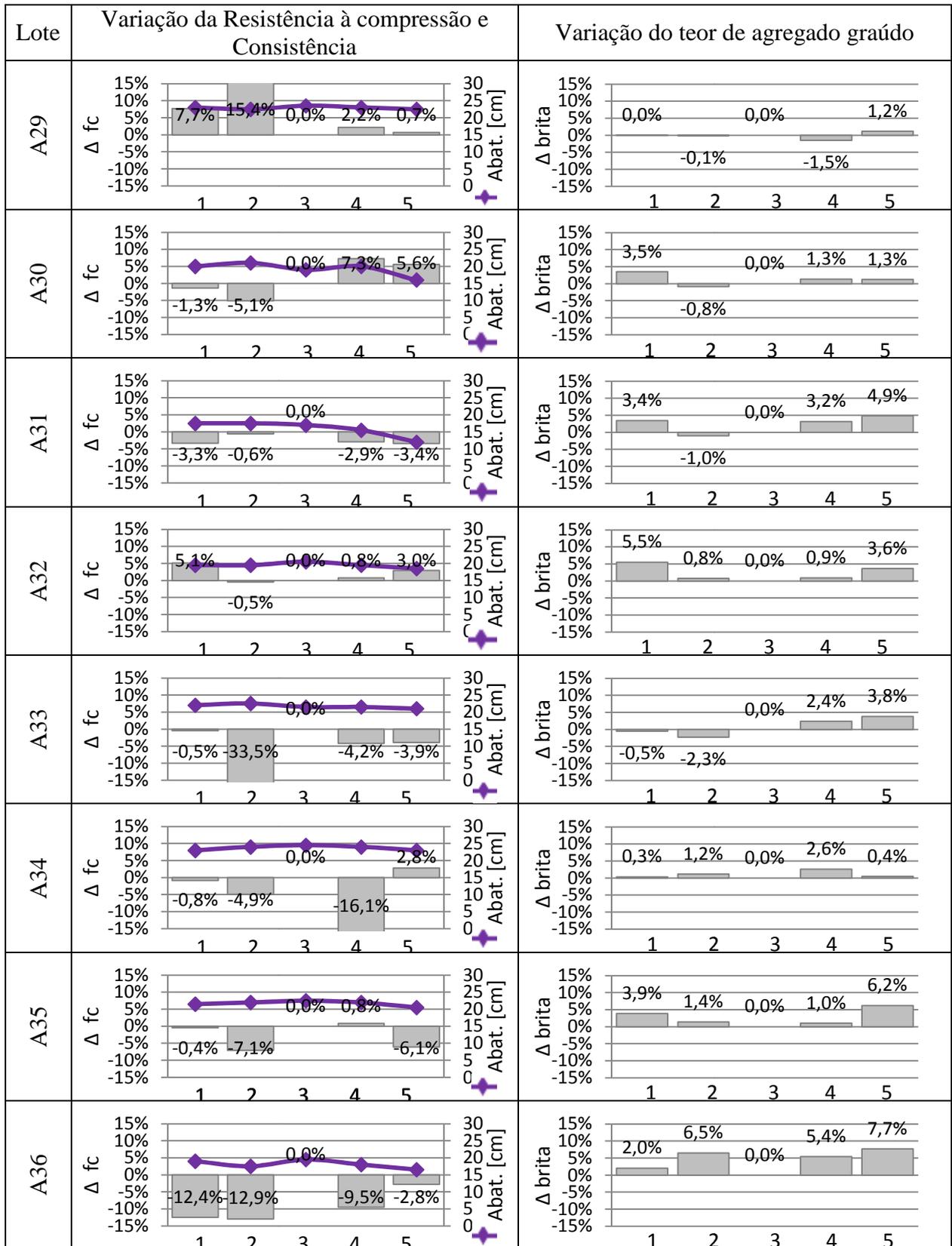


Figura 15: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1ª fase – A29 a A36

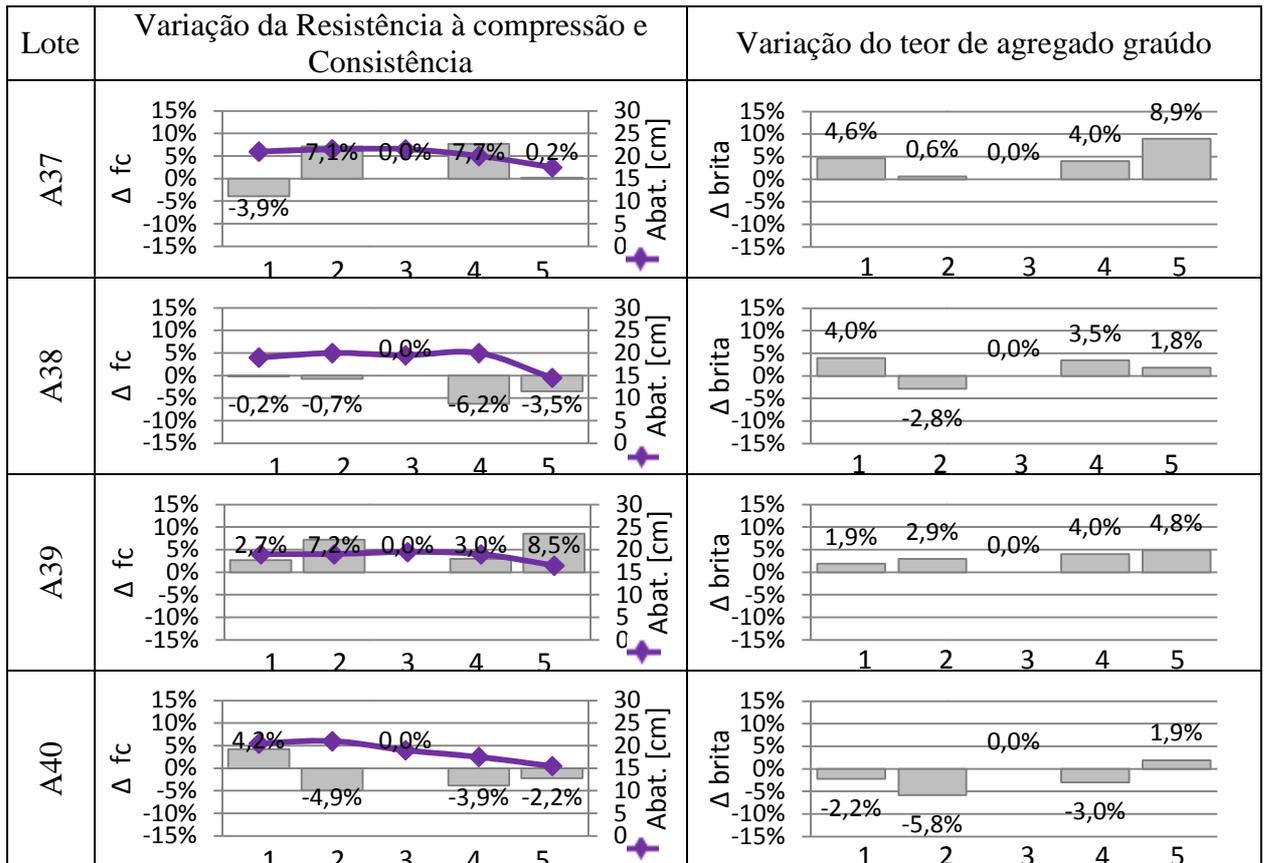


Figura 16: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-1^a fase – A37 a A40

Obra B

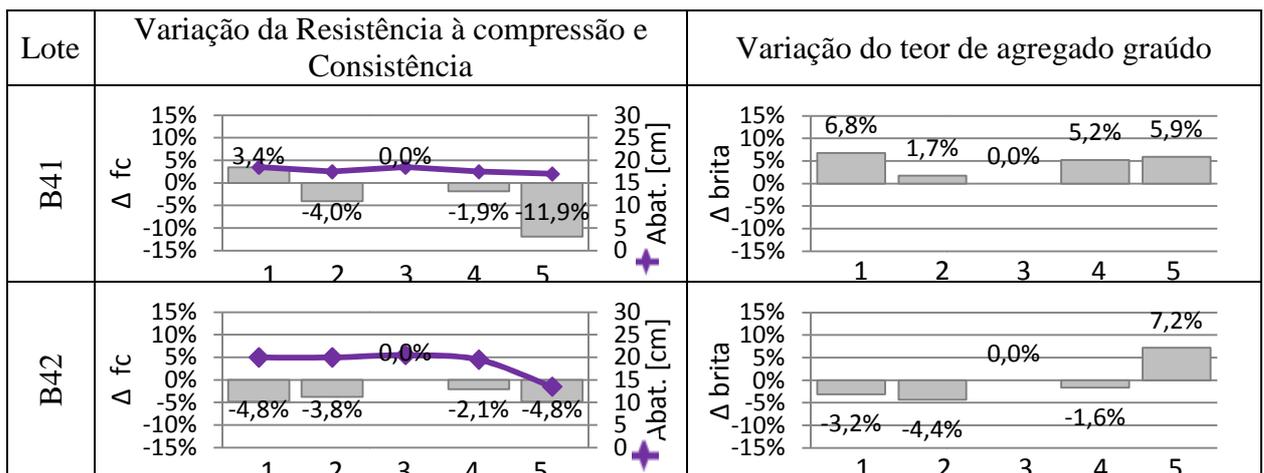


Figura 17: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série B – B41 a B42

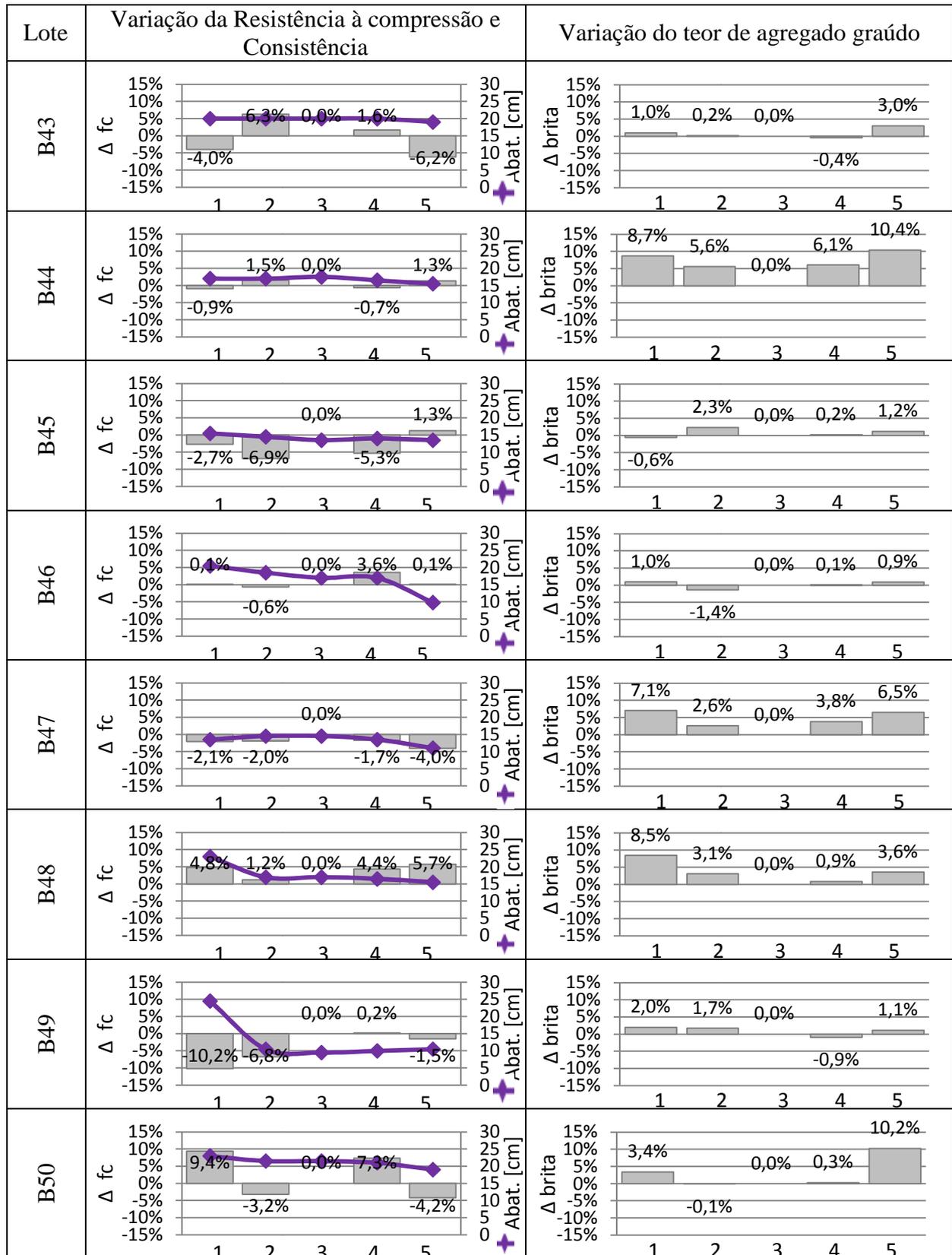


Figura 18: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série B – B43 a B50

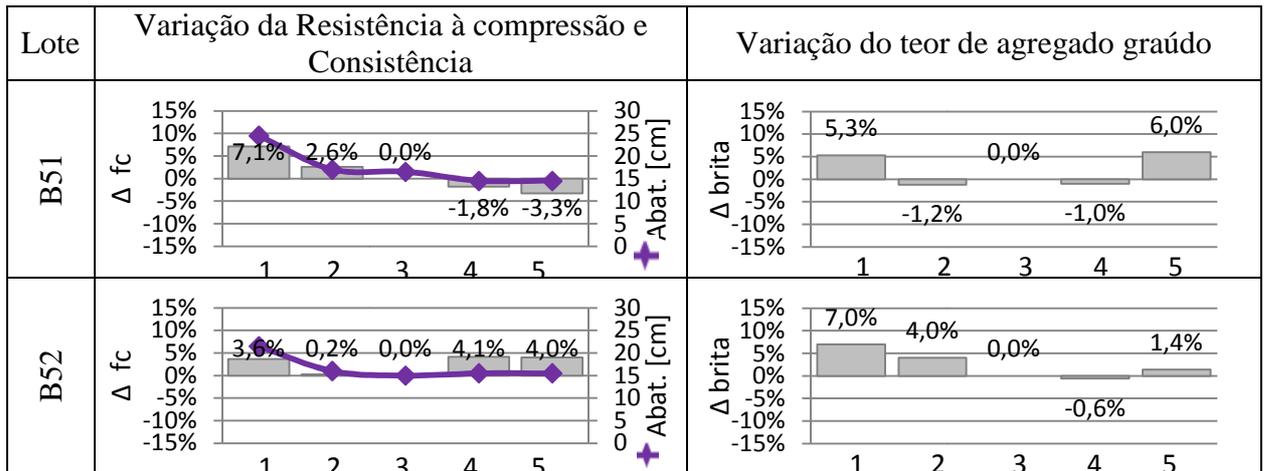


Figura 19: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série B – B51 a B52

OBRA A - 2º fase

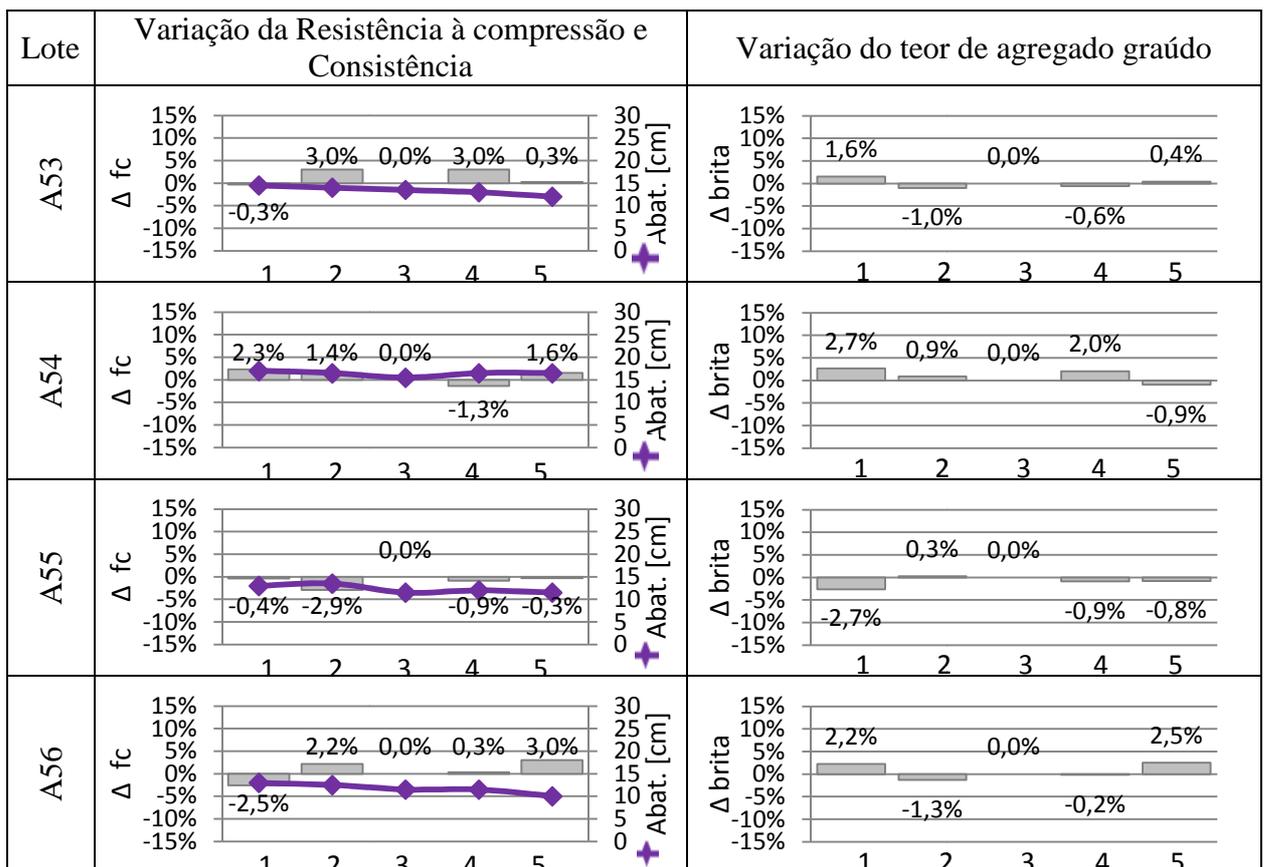


Figura 20: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-2ª fase – A53 a A56

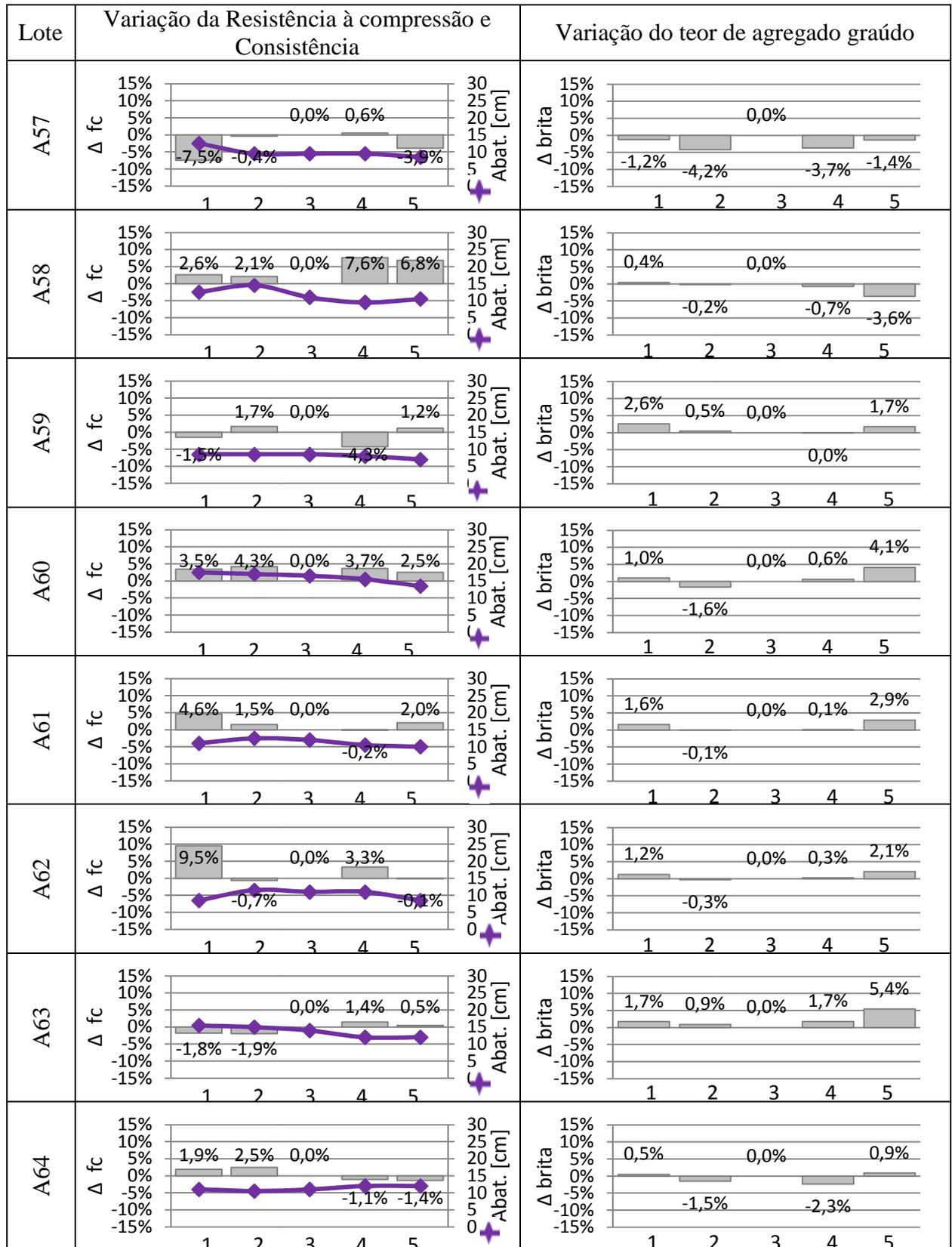


Figura 21: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-2ª fase – A57 a A64

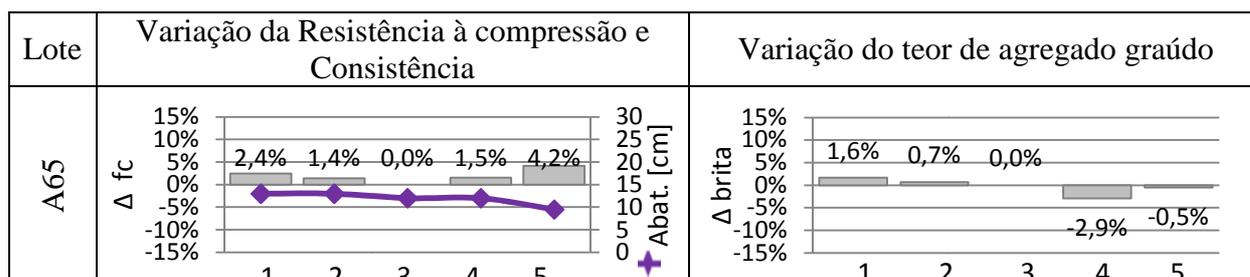


Figura 22: Perfil de variações de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo – Série A-2ª fase – A65

A partir dos comparativos apresentados nas figuras 11 a 22 percebe-se, para ambas as obras e tipos de concretos avaliados, a ausência de um perfil determinado que possa representar as variações da resistência à compressão ao longo da descarga do concreto. Há perfis constantes, com diferenças inferiores a 2% entre os pontos, e outros perfis com altos percentuais de variação, da ordem de mais de 10%, positivo e negativo, ao longo dos cinco pontos amostrais.

Na tabela 1, a seguir, é apresentado um resumo, com o percentual de ocorrências, das variações de resistência à compressão de cada ponto em relação ao central para cada uma das séries ensaiadas.

Tabela 1: resumo de variações da resistência à compressão

Faixas	A - 1 fase					B					A - 2 fase				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<-10%	7%	15%	-	10%	3%	8%	0%	-	0%	8%	0%	0%	-	0%	0%
-5-10%	7%	17%	-	15%	15%	0%	17%	-	8%	8%	8%	0%	-	0%	0%
até -5%	38%	30%	-	27%	42%	42%	42%	-	42%	42%	38%	31%	-	38%	30%
até 5%	25%	15%	-	20%	20%	33%	33%	-	42%	34%	46%	69%	-	54%	62%
5 a 10%	15%	15%	-	23%	15%	17%	8%	-	8%	8%	8%	0%	-	8%	8%
>10%	8%	8%	-	5%	5%	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	0%

A partir dos dados da tabela, percebe-se que o concreto da série A-1ª fase tem seus valores mais dispersos, estando em média pouco mais de 50% das variações dos pontos concentradas nas faixas de $\pm 5\%$ em relação ao ponto central, enquanto a série B e A-2ª fase tem mais de 75% e 85%, respectivamente. Nota-se ainda, na tabela 1, que o número de ocorrências de valores acima e abaixo do ponto intermediário tem distribuição próxima do meio a meio ($\sim 50/50$) para todos os pontos da série A-1ª fase e B, o que já não ocorre em A-2ª fase, onde há uma tendência de concentração de valores em que a resistência é superior ao P3. Na tabela

2 é apresentado um resumo, com o percentual de ocorrências, das variações de resistência à compressão de cada ponto em relação a média para cada uma das séries ensaiadas.

Tabela 2: resumo de variações da resistência à compressão em relação a média

Faixas	A - 1 fase					B					A - 2 fase				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<-10%	0%	5%	3%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
-5-10%	10%	15%	10%	3%	10%	8%	8%	0%	0%	25%	8%	0%	0%	0%	0%
até -5%	28%	38%	30%	50%	45%	42%	67%	50%	25%	33%	38%	46%	69%	46%	38%
até 5%	43%	35%	43%	23%	33%	25%	17%	50%	67%	42%	46%	54%	31%	54%	62%
5 a 10%	20%	5%	15%	15%	10%	25%	8%	0%	8%	0%	8%	0%	0%	0%	0%
>10%	0%	3%	0%	3%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

A partir de análise dos dados da tabela 2 verifica-se que as variações de resistência estão mais concentradas na faixa de $\pm 5\%$, havendo menos ocorrências nas faixas de $\pm 10\%$ para a série A 1ª fase, enquanto para as demais, série B e Aª fase não se nota mudança significativa entre os dados da tabela 1 para a 2. Não há uma tendência que aponte para maiores e ou menores resistências para determinados pontos em relação a resistência média.

Baseado em tais resultados de resistência à compressão não é possível afirmar que as amostras retiradas conforme o preconizado pela NBR 7212 (1984) e NBR NM33 (1994), em que se excluem os 15% iniciais e finais do volume total de concreto da betoneira para fins de ensaio, tenham a melhor representação do concreto, visto que nem sempre estes pontos apresentam a maior resistência do lote.

Considerando a recomendação da ABECE (2010) em que a variação de resistência não deve diferir mais de 15% em relação ao ponto central, tem-se que as séries B e A-2ª fase atendem plenamente a tal critério enquanto na série A-1ª fase, há 12 de ocorrências (7,5%) em que a variação é igual ou superior ao recomendado.

De modo geral é possível perceber nas figuras 11 a 22 que há uma tendência de redução do abatimento ao longo dos 5 pontos de coletas de cada lote, o que fica mais explícito ao visualizar o resumo das variações de consistência de cada ponto em relação ao central apresentado na tabela 3.

Tabela 3: resumo de variações de consistência

Faixas	A - 1 fase					B					A - 2 fase				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<-4cm	0%	0%	-	2%	25%	0%	0%	-	0%	17%	0%	0%	-	0%	0%
-2-4cm	2%	2%	-	10%	38%	0%	0%	-	0%	17%	8%	0%	-	0%	23%
até -2cm	50%	30%	-	62%	35%	25%	25%	-	58%	41%	8%	8%	-	46%	54%
0	3%	15%	-	8%	0%	17%	33%	-	17%	8%	15%	15%	-	31%	8%
até 2cm	35%	45%	-	18%	2%	17%	42%	-	25%	17%	61%	69%	-	23%	15%
2 a 4cm	10%	8%	-	0%	0%	8%	0%	-	0%	0%	8%	8%	-	0%	0%
>4cm	0%	0%	-	0%	0%	33%	0%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	0%

A partir dos dados da tabela 3 nota-se que as variações de consistência entre os pontos fica mais concentrada na região de ± 2 cm, com algumas exceções, e além disso há maior número de ocorrência de pontos P1 e P2 com consistência maior que P3 e o inverso para os pontos P4 e P5, que normalmente têm um abatimento menor que o ponto central. Tal fato, evidente para ambas as séries, é devido, provavelmente, ao tempo de ensaio de cada ponto coletado, visto que, como já citado anteriormente, as amostras eram utilizadas na mesma ordem de coleta (ponto 1 ao 5), assim o ponto inicial era ensaiado primeiro, seguido do segundo, terceiro, quarto e do último, que permanecia um maior tempo armazenado e tinha um tempo maior de mistura.

Entre as coletas do primeiro para o último ponto, normalmente, havia diferença em torno de 10 minutos, tempo de descarga dos caminhões nas obras estudadas. Do ensaio da amostra de concreto do primeiro ponto ao ensaio do último ponto havia uma diferença média de 35 minutos, o que pode explicar a redução do abatimento.

Destaca-se, na série B, a ocorrência de variações abruptas da consistência entre um ponto e o seguinte ainda nas porções iniciais, que pode ser explicado pela mistura ineficiente do aditivo superplastificante no concreto, o qual era adicionado em obra pouco tempo antes do início da descarga.

Baseado nos resultados visualizados nas figuras 11 a 22 e com auxílio da tabela 4, a qual apresenta o resumo das variações do teor de agregado graúdo de cada ponto em relação ao ponto intermediário, percebe-se que na maior parte das coletas há um aumento no teor de brita nos pontos mais extremos, e em alguns poucos casos tem-se a situação inversa.

Tabela 4: resumo de variações do teor de agregado graúdo

Faixas	A - 1 fase					B					A - 2 fase				
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
<-10%	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	0%
-5-10%	3%	3%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	0%
até -5%	18%	33%	-	30%	5%	17%	33%	-	42%	0%	15%	62%	-	62%	38%
até 5%	63%	58%	-	63%	78%	33%	58%	-	42%	50%	85%	38%	-	38%	54%
5 a 10%	13%	8%	-	8%	18%	50%	8%	-	17%	33%	0%	0%	-	0%	8%
>10%	5%	0%	-	0%	0%	0%	0%	-	0%	17%	0%	0%	-	0%	0%

Avaliando o percentual de ocorrência para cada faixa, na tabela 4, visualiza-se que em média mais de 80% dos teores medidos para os pontos P1 e P5 têm concentração maior de agregado graúdo que o ponto central, havendo casos, como o P5 da série B, com 100% de ocorrências em que o teor de brita foi maior que em P3. O maior teor de agregado graúdo no ponto inicial corrobora com as declarações de Helene (1980) e Recena (2007) de que há concentração de agregado graúdo no início da descarga.

É senso comum entre os motoristas responsáveis pela descarga do concreto em caminhão betoneira que há maior concentração de agregado no final da descarga, o que causa um ruído metálico quando resta pouco volume de concreto no interior da betoneira, popularmente identificado pelos motoristas como estado em que a betoneira está “batendo brita”. Tal concentração de agregado no final da descarga é constatada pela pesquisa com a concentração de brita no ponto de coleta final.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A partir dos resultados de resistência à compressão dos corpos-de-prova e do teor de agregado graúdo, apresentados no anexo A, foi realizado tratamento estatístico para determinar a significância das variações entre lotes de mesmo traço e a influência dos diferentes pontos de coleta sobre a resistência à compressão do concreto. Previamente à análise de variância (ANOVA), verificou-se os resíduos dos dados para os diferentes níveis de combinação a fim de visualizar qualquer discrepância entre os resultados causada pela influencia de algum fator do processo de ensaio.

4.3.1 Análise de resíduos

Com essa análise espera-se que os resíduos (diferença entre o valor do resultado e determinada média de um conjunto de resultados) tenham uma distribuição aleatória e uniforme para os diferentes níveis e combinações, assim para visualizar a distribuição de desvios dos dados amostrais deve-se plotar os resíduos contra as variáveis e seus níveis e ou a linha do tempo. Se houver tendências sistemáticas ou variações abruptas inexplicáveis deve-se suspeitar dos dados e verificar possíveis influências de fatores externos.

4.3.1.1 Resistência à compressão

Com base nos dados experimentais para resistência à compressão (variável de resposta) calculou-se a média das três repetições por ponto e a média por lote. A partir destes resultados obtiveram-se os desvios residuais individuais de cada valor amostral em relação às médias e então plotou-se os resíduos contra a linha do tempo, que segue a ordem de contagem das amostras, para averiguar possíveis alterações no processo de amostragem ao longo da evolução da pesquisa. Nas figuras 23 e 24 são apresentados os resíduos dos resultados de resistência à compressão de cada corpo-de-prova em relação à média do seu respectivo lote.

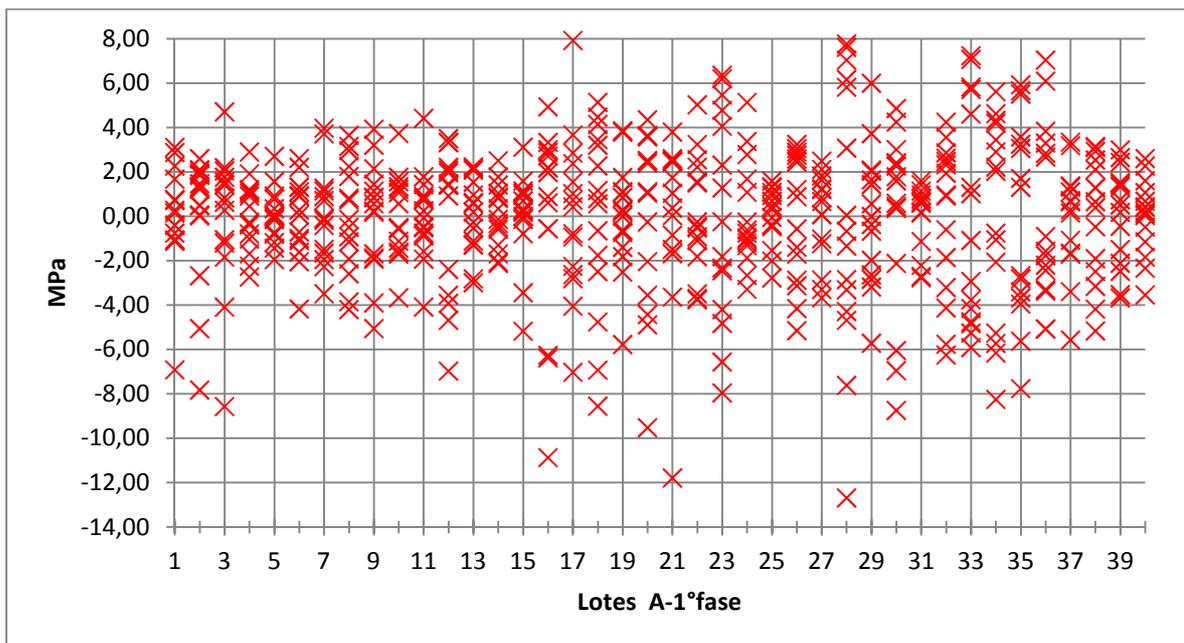


Figura 23: resíduos de resistência à compressão por lote – série A-1ª fase

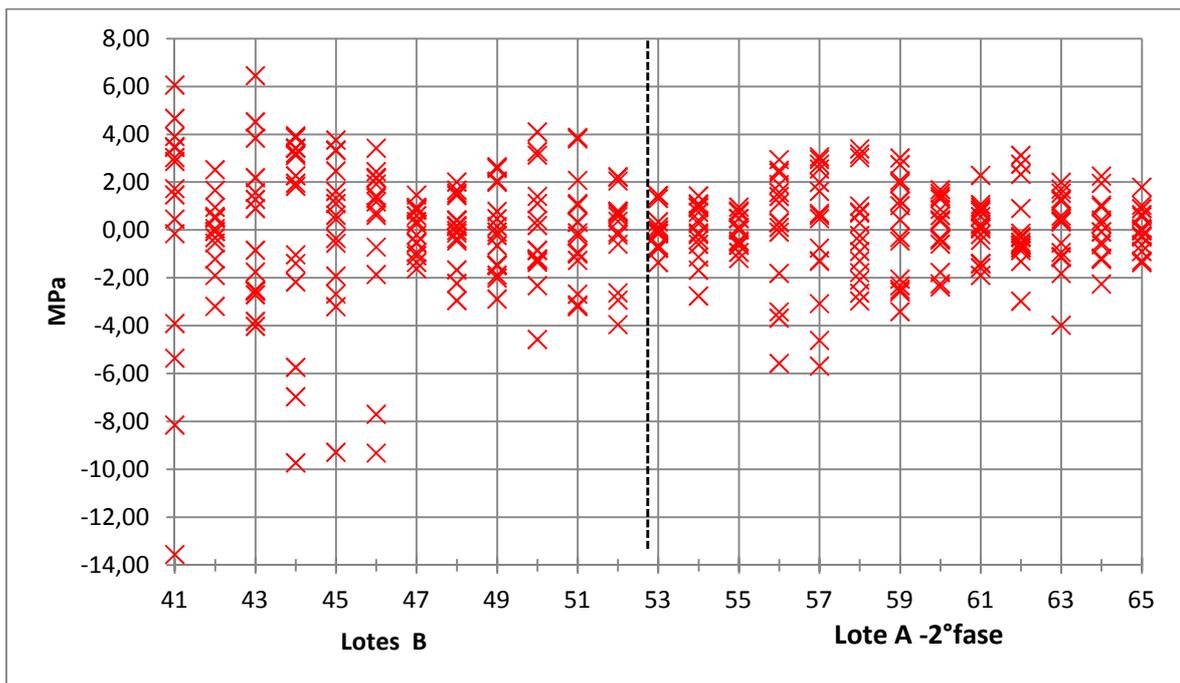


Figura 24: resíduos de resistência à compressão por lote – série B e A-2º fase

Nas figuras 23 e 24 fica claro uma grande dispersão dos resíduos para todo o lote A-1º fase e a primeira metade do lote B, e após há uma grande redução na dispersão, a partir do lote B47 até o lote final A65, em que houve alteração na preparação das bases dos corpos de prova com considerável melhora do processo.

Tal alteração no processo de ensaio e controle ocorreu ao longo do período de coletas quando ao final dos ensaios da série A constataram-se variações expressivas entre os resultados de resistência à compressão de corpos-de-prova irmãos (mesmo exemplar), evidenciando assim a possibilidade de falhas nas operações de ensaio e controle. Como critério de avaliação da eficiência das operações de ensaio e controle, adotou-se a recomendação do American Concrete Institute, através do ACI 214 (2002), em que se calculou o coeficiente de variação dessas operações para a série A. Comparando os valores obtidos com os sugeridos pelo ACI 214 (2002) obteve-se padrão de controle “deficiente”.

A fim de reduzir as variações dos resultados e melhorar o processo de produção e controle do concreto, buscou-se encontrar em qual das operações de ensaio e controle (amostragem, moldagem, adensamento, transporte, cura, capeamento e ensaio à compressão) estava ocorrendo a falha. Inicialmente testou-se a prensa, não obtendo nenhum indício de problema.

Posteriormente buscou-se avaliar a possibilidade da ocorrência de concentrações de carga nos corpos-de-prova. Para isso foram mantidos todos os procedimentos de ensaio e controle da série A na série B e ao realizar o ensaio de compressão axial, foram colocadas folhas brancas com papel carbono entre as bases dos corpos-de-prova e as superfícies de aplicação de carga.

Ao final de seis lotes da série B (B41 ao B46) o padrão de controle manteve-se deficiente e constatou-se a ocorrência de concentração de cargas sobre as amostras ensaiadas, demonstrando assim a existência de falhas durante o preparo das bases dos corpos-de-prova pelo processo de retificação. Para os seis lotes seguintes da série B (B47 à B52) foi modificado o tipo de preparação das bases dos exemplares com utilização do capeamento com enxofre, obtendo-se uma significativa redução das variações dos resultados dentro de um mesmo exemplar, elevando o padrão de controle para “Bom”. Manteve-se o tratamento das bases com enxofre para a série A-2ª fase.

Na figura 25 pode-se visualizar um exemplo de ocorrência de concentração de carga (figura 25a) e um exemplo de distribuição homogênea de carga (figura 25b) na superfície do corpo-de-prova.

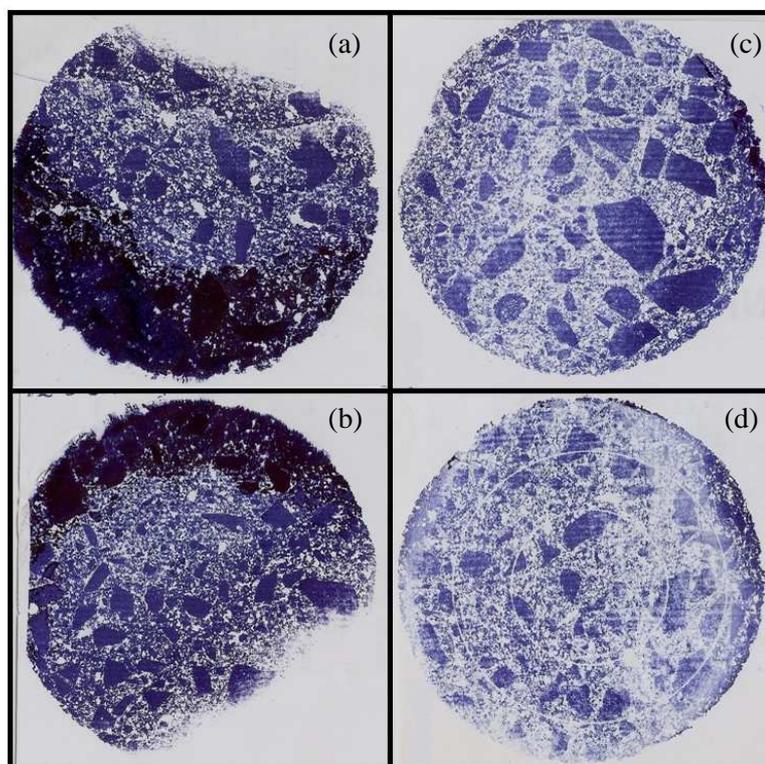


Figura 25: distribuição de carga nas bases de corpos-de-prova durante ensaio de compressão axial – (a) e (b) concentração de carga e (c) e (d) distribuição homogênea

Embora a ocorrência de alta variabilidade nos resultados de resistência à compressão para o presente trabalho devido, provavelmente, a falhas no processo de retificação das bases dos corpos-de-prova, não se deve restringir o uso desse equipamento e sim ter um maior cuidado durante a execução, visto que há bons resultados, com pequena variabilidade, obtidos com o mesmo equipamento, variando apenas o operador, em outras pesquisas e trabalhos realizados no laboratório NORIE da UFRGS, tal como o de Rohden (2011).

Nas figuras 26 e 27, onde estão plotados os resíduos de resistência à compressão de cada corpo de prova em relação à média do respectivo exemplar (3 corpos-de-prova), tem-se a confirmação da melhora no processo de ensaio e controle com a alteração do tratamento das bases. Além disso, é possível visualizar outras alterações no processo de amostragem causadas por fatores externos tais como feriados e aumento do volume de corpos-de-prova para preparação das bases, como ocorre nos dois períodos hachurados de rosa na figura 26.

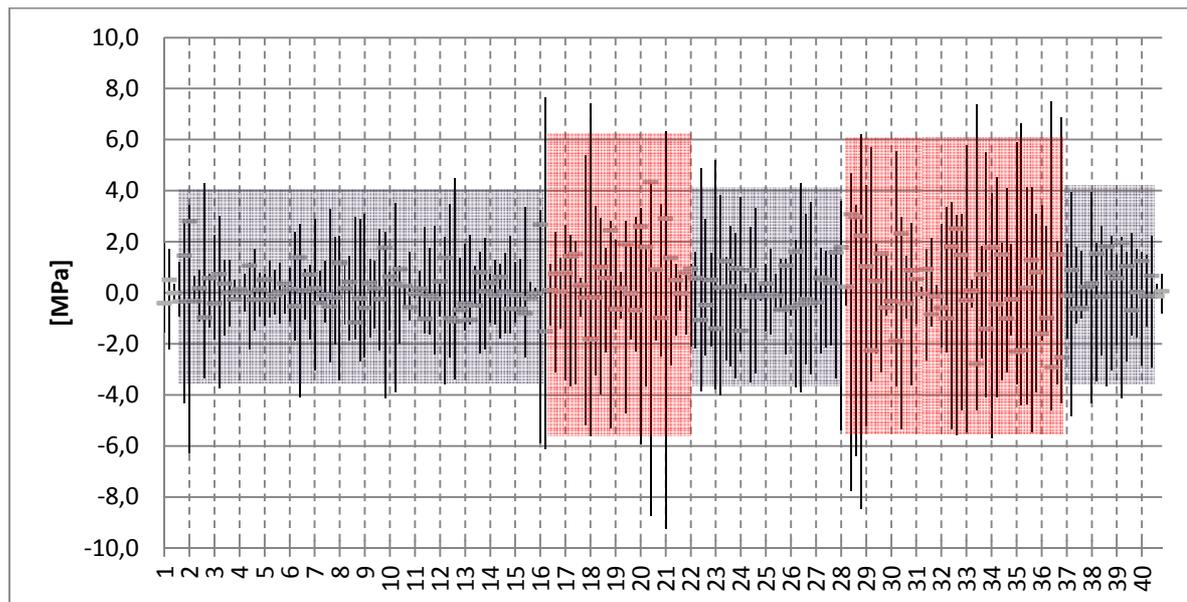


Figura 26: resíduos de resistência à compressão de cada corpo de prova em relação a média do exemplar – série A-1ª fase

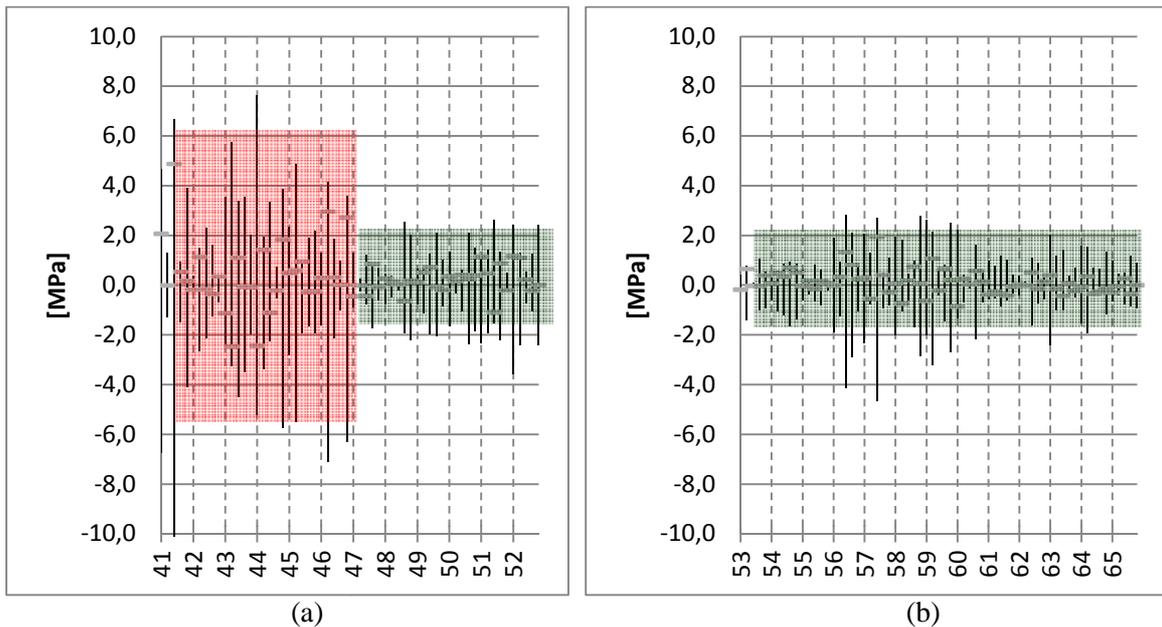


Figura 27: resíduos de resistência à compressão de cada corpo de prova em relação a média do exemplar – (a) série B e (b) série A-2ª fase

O período que compreende as amostras A16 a A21, hachurado de rosa, tiveram as bases retificadas em um único dia (aumento de volume no processamento) imediatamente antes do feriado de carnaval e foram ensaiadas no dia seguinte ao término do período de carnaval, também em um único dia. O outro período hachurado de rosa em que há aumento da dispersão, entre os lotes A28 a A36, também houve aumento no volume de corpos-de-prova a serem retificados devido ao aumento do número de amostras coletadas.

Através da análise de resíduos foi possível determinar possíveis fontes de variabilidade e constatar a melhora no processo de ensaio e controle com a redução da dispersão dos dados, o que melhora a análise de variância.

Nas figuras 28 a 30 plotou-se os desvios residuais de cada valor amostral em relação à média do lote contra os pontos de coleta. Para ambas as séries não há formação de um perfil nítido que possa indicar o comportamento da resistência à compressão ao longo da descarga do caminhão betoneira. Nos concretos da série B e A-2ª fase percebe-se uma maior dispersão dos resultados no ponto inicial em relação aos outros pontos, assim como afirmado por HELENE e TERZIAN (1992).

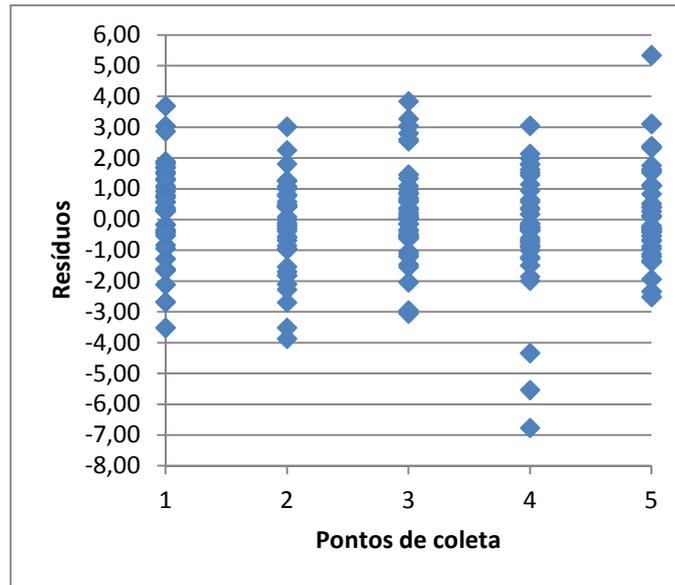


Figura 28: resíduos de resistência à compressão em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série A-1ª fase

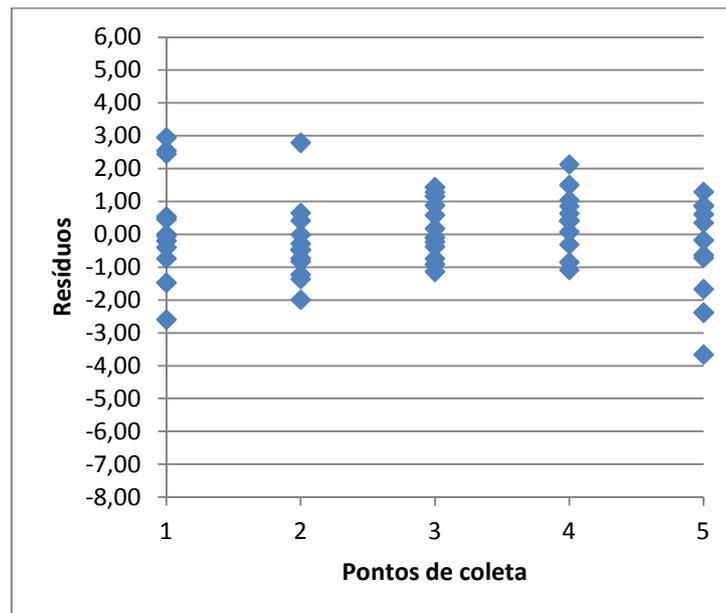


Figura 29: resíduos de resistência à compressão em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série B

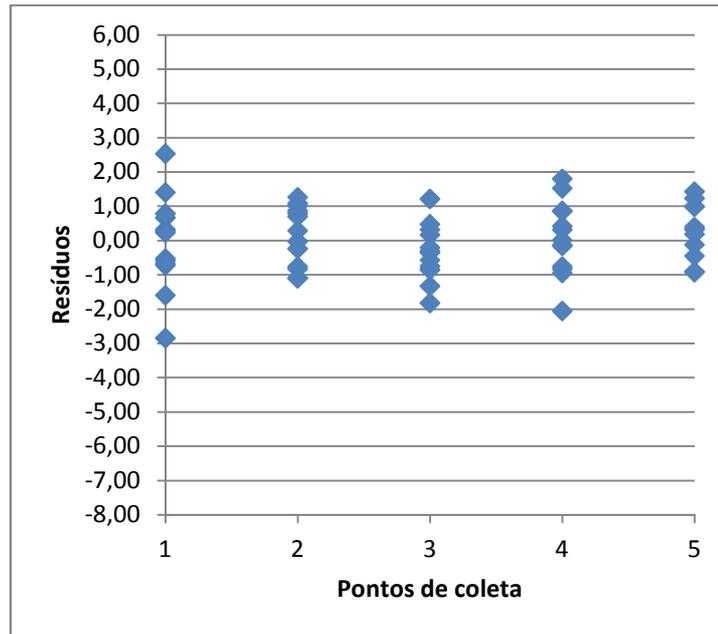


Figura 30: resíduos de resistência à compressão em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série A-2ª fase

Na figura 31 é apresentada a média de resistência obtida para cada ponto em cada uma das três séries avaliadas. Nota-se que embora haja diversos perfis de resistência à compressão das variações entre os pontos de coletas, a média dos pontos resultou em perfis constantes com variações das médias entre pontos inferiores a 1MPa, ou menos de 3%.

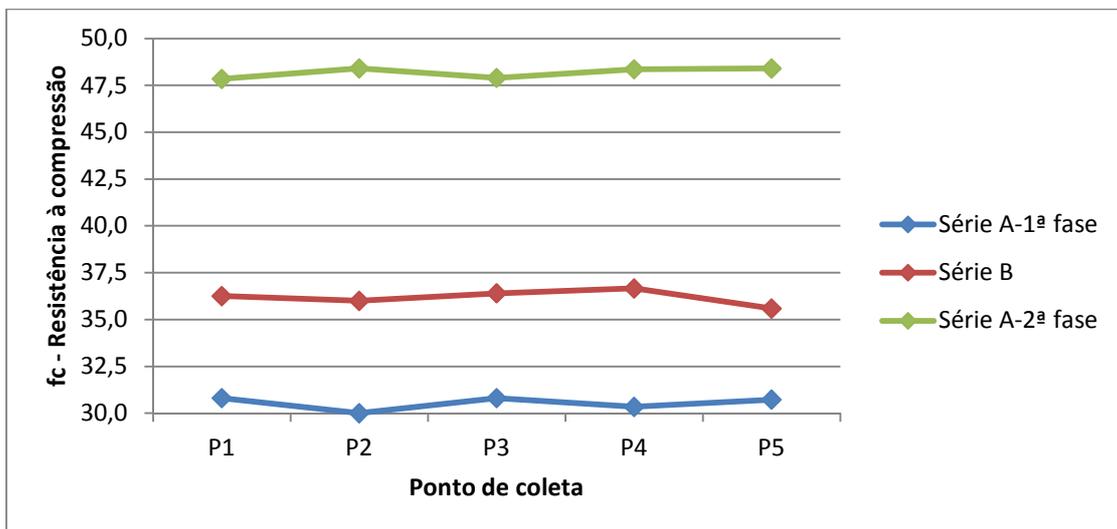


Figura 31: média dos resultados de resistência à compressão de cada ponto de coleta para cada uma das séries

4.3.1.2 Teor de agregado graúdo

A partir dos dados experimentais para teor de brita foram calculados os desvios residuais de cada valor amostral em relação à média do respectivo lote e os mesmos foram plotados contra os pontos de coleta, como pode ser visualizado nas figuras 32 a 34.

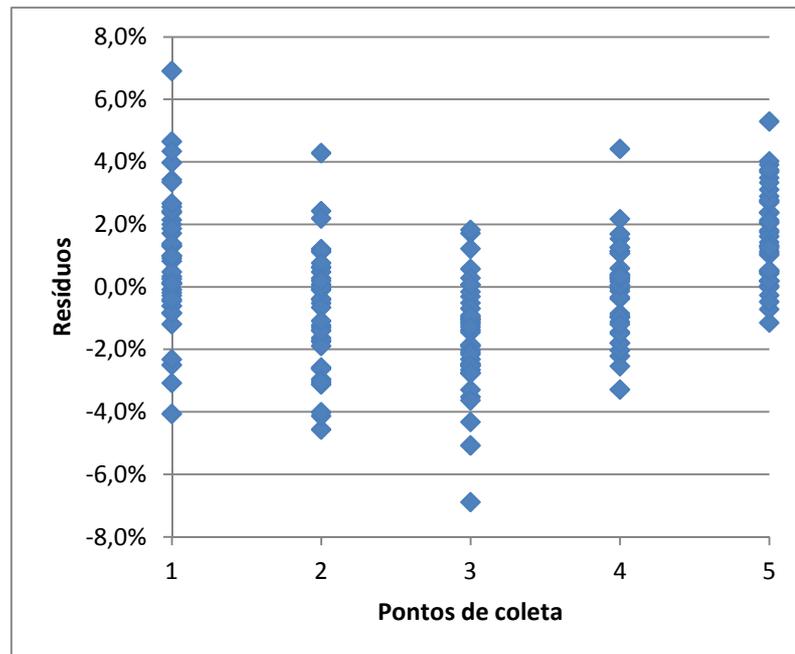


Figura 32: resíduos de teor de agregado graúdo em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série A-1ª fase

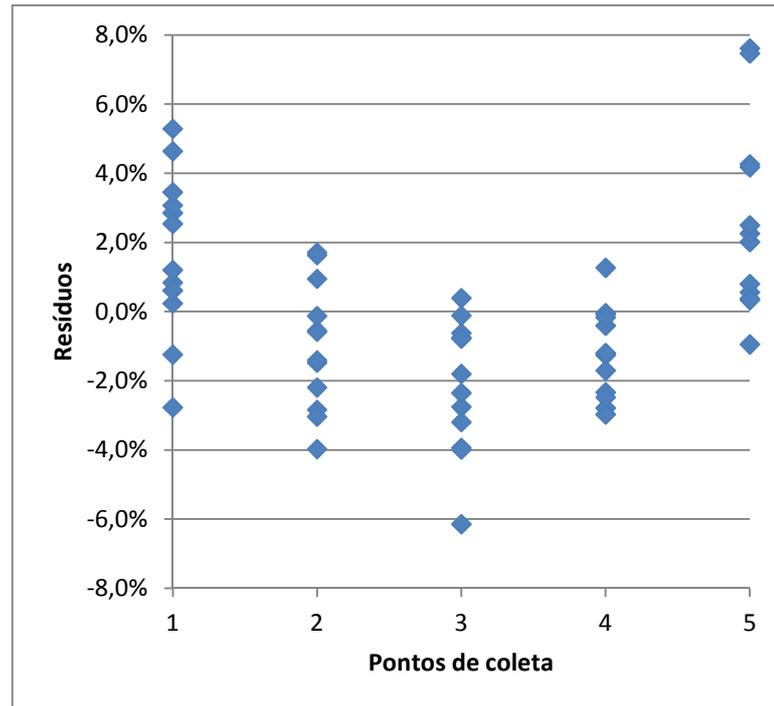


Figura 33: resíduos de teor de agregado graúdo em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série B

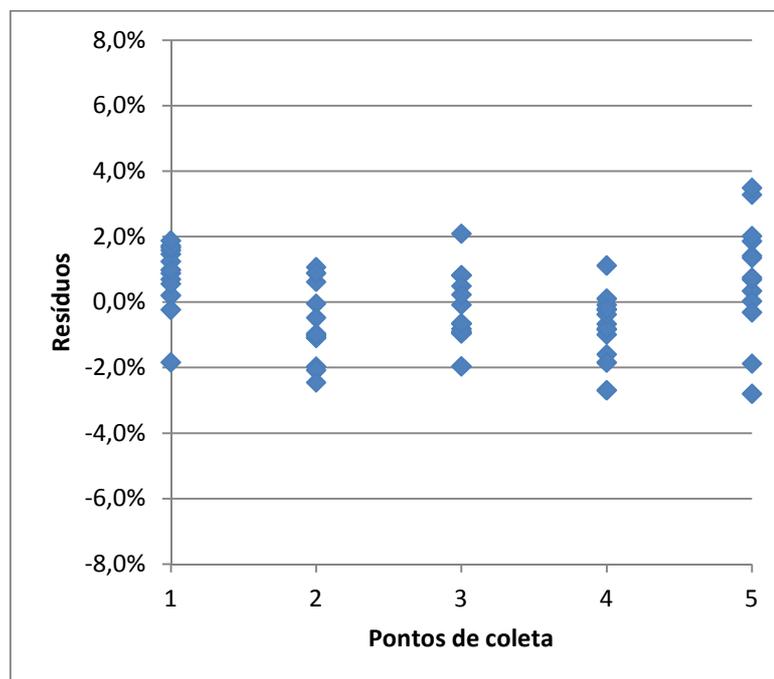


Figura 34: resíduos de teor de agregado graúdo em relação a média dos lotes, por ponto de coleta – série A-2ª fase

Os resultados dos desvios residuais e a figura 35, onde são apresentados a médias dos resultados do teor de agregado graúdo de cada um dos pontos para cada série, facilitam a visualização do comportamento do teor de brita ao longo da descarga do caminhão betoneira e comprovam as afirmações anteriores de que há maior concentração de agregado nas porções inicial e final dos concretos avaliados. Embora se tenha, aparentemente, encontrado um perfil médio de variações do teor de agregado, não se pode determinar uma relação entre essa variável e a resistência à compressão, a qual não foi possível determinar um perfil.

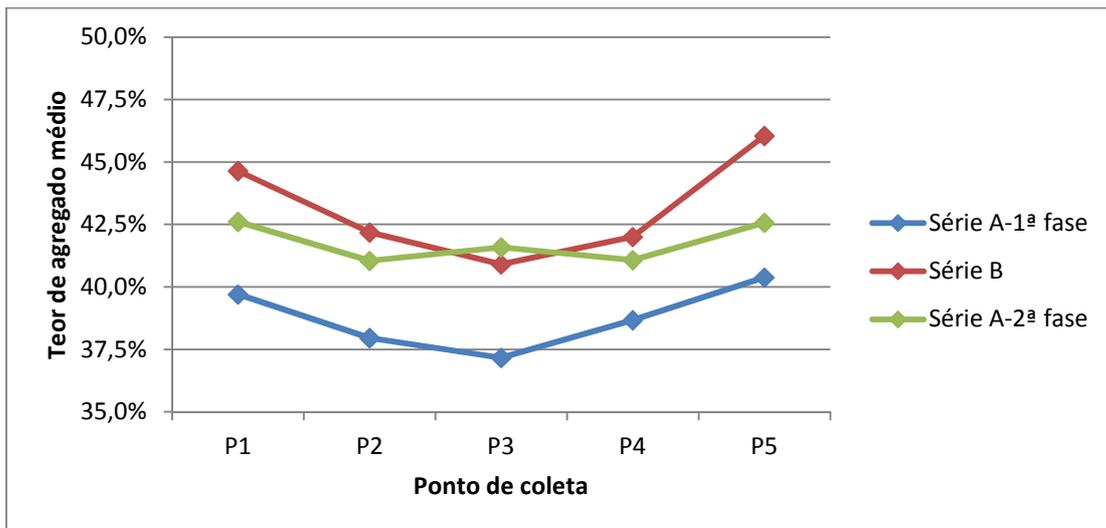


Figura 35: média dos resultados do teor de agregado graúdo de cada ponto de coleta para cada uma das séries

4.3.2 Análise de Variância

4.3.2.1 Resistência à compressão

Após a análise dos desvios residuais foram constatadas falhas nas operações de ensaios e controle, as quais foram corrigidas no decorrer da pesquisa. Em virtude de tais falhas, principalmente no lote A-1ª fase e parte do B, houve um aumento na variabilidade experimental (ruído do experimento) e conseqüentemente há uma maior dificuldade para identificar se os valores das variáveis de resposta (resistência à compressão) correspondentes aos diferentes níveis do fator controlável (ponto de coleta) diferem entre si. Partindo do pressuposto que falhas na operação de ensaio e controle tendem a causar redução da

resistência à compressão durante o ensaio dos corpos-de-prova e buscando reduzir a influência das falhas ocorridas durante o processo, optou-se por suprimir o resultado de resistência à compressão de valor mais baixo de cada exemplar e trabalhar com apenas o par de valores mais altos para cada um dos cinco pontos de cada lote para efeito de análise estatística.

Nas tabelas 5 a 8 tem-se a análise de variância, considerando dois resultados por exemplar, para as séries A-1ª fase, B e A-2ª fase, sendo que a série B tem dois grupos de análise de variância devido à alteração do tipo de preparo das bases durante os ensaios.

Tabela 5: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série A-1ª fase – A1 à A40 – preparação das bases com retifica.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	7111,047	39	182,335	41,409	1,460	0,00%	S
Ponto de coleta	44,946	4	11,237	2,552	2,417	4,03%	S
Interações	1067,082	156	6,840	1,553	1,280	0,17%	S
Erro	880,650	200	4,403				
Total	9103,726	399					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** (*Fcalc.* > *Ftab.*)

NS = Efeito **não significativo** (*Fcalc.* < *Ftab.*)

Tabela 6: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série B – B41 à B46 – preparação das bases com retifica.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	803,061	5	160,612	30,655	2,534	0,00%	S
Ponto de coleta	18,760	4	4,690	0,895	2,690	47,91%	NS
Interações	122,041	20	6,102	1,165	1,932	34,51%	NS
Erro	157,182	30	5,239				
Total	1101,043	59					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** (*Fcalc.* > *Ftab.*)

NS = Efeito **não significativo** (*Fcalc.* < *Ftab.*)

Tabela 7: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série B – B47 à B52 – preparação das bases com enxofre.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	774,449	5	154,890	160,145	2,534	0,00%	S
Ponto de coleta	13,480	4	3,370	3,484	2,690	1,88%	S
Interações	84,542	20	4,227	4,371	1,932	0,01%	S
Erro	29,015	30	0,967				
Total	901,487	59					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** (*Fcalc.* > *Ftab.*)

NS = Efeito **não significativo** (*Fcalc.* < *Ftab.*)

Tabela 8: análise de variância (ANOVA) para resistência à compressão — Série A- 2ºfase – A53 à A65 – preparação das bases com enxofre.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	2713,639	12	226,137	298,355	1,904	0,00%	S
Ponto de coleta	8,419	4	2,105	2,777	2,513	3,41%	S
Interações	133,660	48	2,785	3,674	1,549	0,00%	S
Erro	49,266	65	0,758				
Total	2904,985	129					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** (*Fcalc.* > *Ftab.*)

NS = Efeito **não significativo** (*Fcalc.* < *Ftab.*)

Com base na análise de variância verificou-se que ambas as series A-1ºfase, B e A-2ºfase apresentam diferença significativa entre os lotes. Esse comportamento já era esperando visto as consideráveis variações constatadas entre as resistências médias das diferentes amassadas analisadas.

Na análise de variância, com dois corpos-de-prova por exemplar, constatou-se diferença significativa entre pontos de coleta, com 95% de confiança, para toda a série A e B com capeamento de enxofre, sendo que em A-1ºfase o efeito significativo foi confirmado com probabilidade de mais de 4%, ou seja, existe mais de 4% de probabilidade da variação entre os grupos ser explicada pela variabilidade experimental, valor esse muito próximo do nível de

significância adotado na pesquisa, que é de 5%, assim há margem para desconfiança sobre a real significância do efeito nesta série. Já para as séries B e A-2ª fase, ambas com capeamento de enxofre e menor variabilidade entre os corpos-de-prova irmãos (menor ruído experimental), o efeito significativo entre os níveis foi explicado com probabilidades de 1,88% e 3,41%, respectivamente.

Após a constatação da existência de diferença significativa de resistência à compressão entre os lotes de todas as séries e entre os pontos da série A e parte da B pode-se realizar a comparação múltipla de médias para determinar grupos de lotes que diferem entre si e a ocorrência de pontos de coleta que diferem entre si dentro dos lotes.

Para análise de comparação múltipla de médias determina-se o limite de decisão (LD) a partir do cálculo do desvio padrão das médias e tem-se que há diferença significativa entre duas médias quando a diferença entre elas for maior que o LD, o qual vale aproximadamente 3 desvios padrões das médias amostrais. Para avaliação da diferença deve-se ordenar as médias em ordem crescente ou decrescente e compará-las duas a duas.

Ao calcular os limites de decisão de cada série obtiveram-se valores próximo a 4,5 MPa para as séries A-1ª fase e B retificada e da ordem de 2,0 MPa para as séries capeadas com enxofre. Tais valores encontrados para série B-capeado com enxofre e A-2ª fase podem ser considerados pequenos, do ponto de vista da engenharia, para efeito de diferenciação dos pontos dentro do caminhão, ou seja, diferenças desta magnitude são aceitáveis para um concreto de uma mesma betonada.

Foi realizada a comparação múltipla de médias para os lotes de cada série e para os pontos de coleta dentro dos lotes. Nas figuras 36 a 38 tem-se o resultado da comparação de médias dos lotes para a série A-1ª fase, B e A-2ª fase, respectivamente.

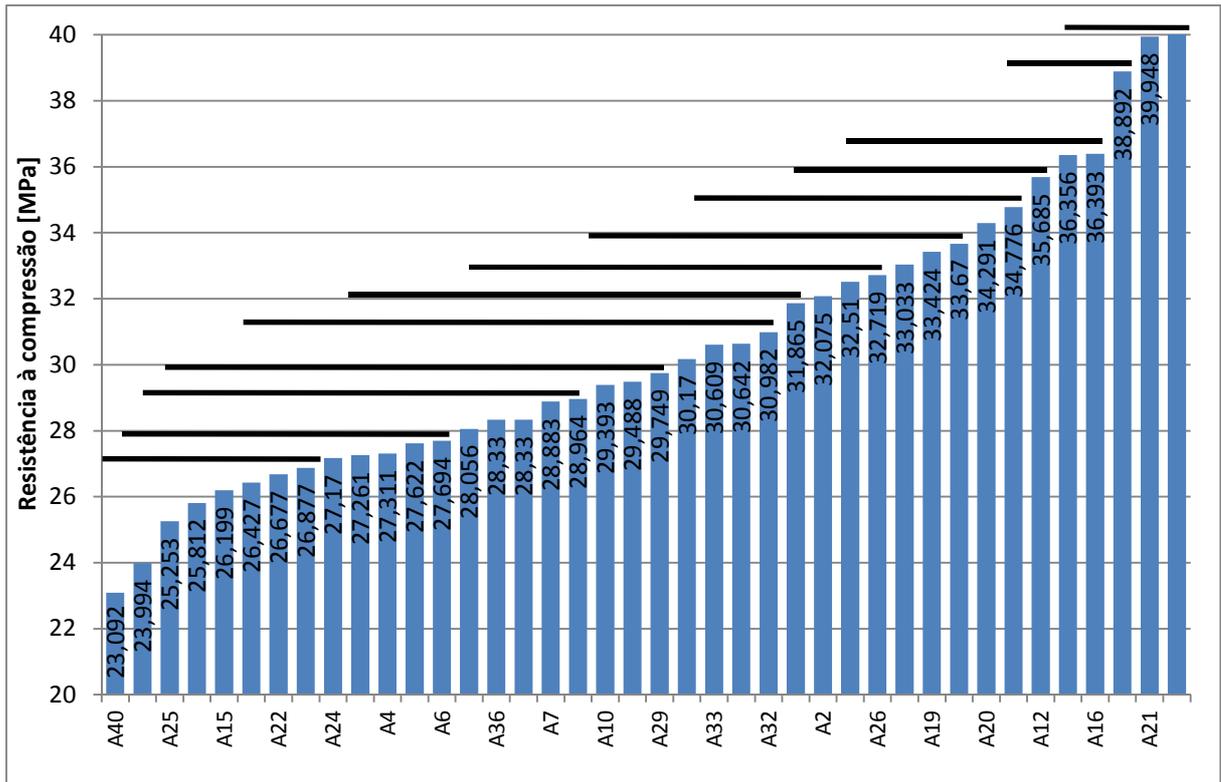


Figura 36: grupos de resistência à compressão conforme limite de decisão (LD) – série A-1ª fase

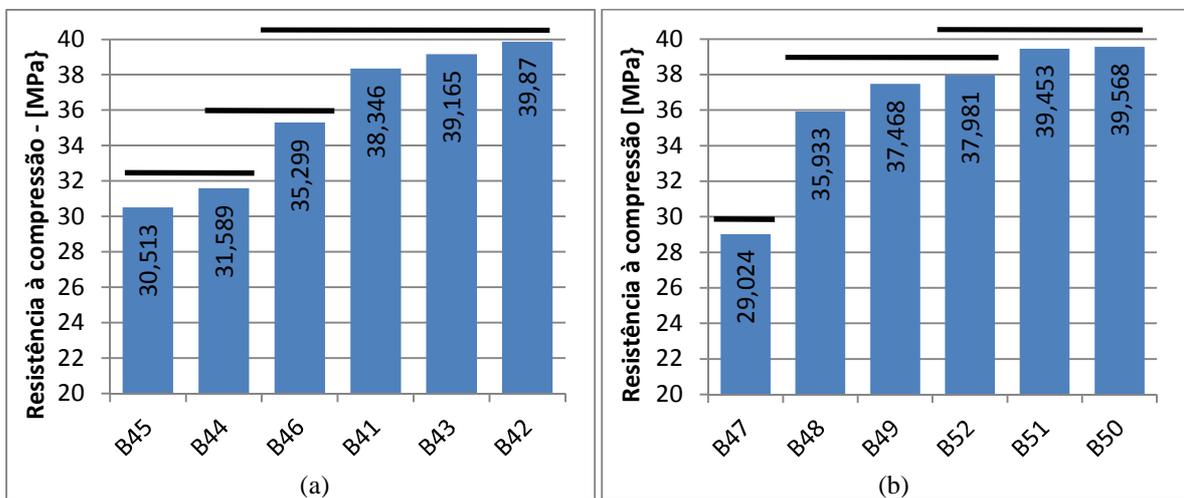


Figura 37: grupos de resistência à compressão conforme limite de decisão (LD) – série B (a) retificado e (b) capeado

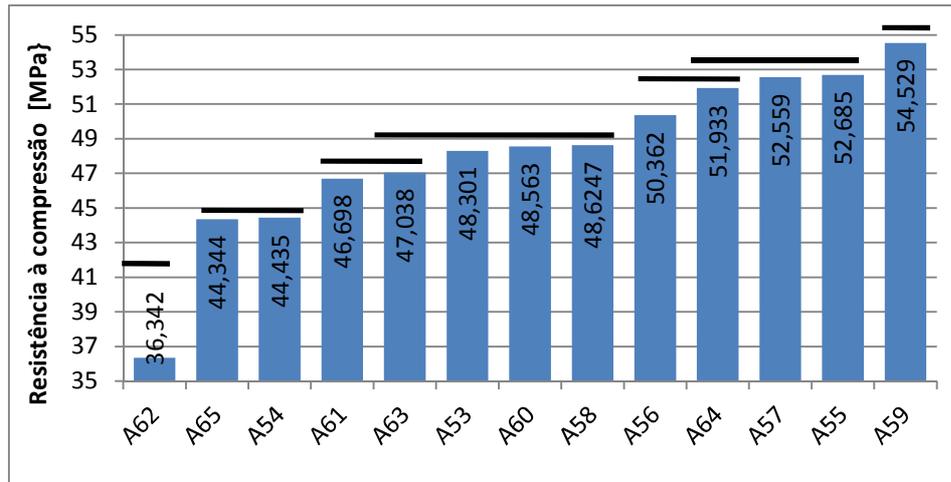


Figura 38: grupos de resistência à compressão conforme LD – A-2ª fase

Percebe-se a ocorrência de lotes onde a diferença de média não é significativa, assim podem ser considerados um mesmo grupo, e lotes com variação significativa (diferença entre médias superior ao LD), como indicado nos resultados de análise de variância.

Os resultados da comparação dos pontos de coleta dentro de cada um dos lotes são apresentados no Anexo B. Para a série A-1 fase têm-se 15,0% (6/40) dos lotes com diferença maior que o LD entre pontos de coleta, enquanto para série B-retificado a variação foi não significativa. Já para as séries B-capeado com enxofre e A-2ª fase, obteve-se 50,0% (3/6) e 69,0% (9/13), respectivamente, de lotes com pelo menos uma variação entre pontos de coleta superior ao LD.

Esse aumento no percentual de lotes com diferença superior ao LD entre pontos de coleta para as séries com capeamento de enxofre se deve, provavelmente, à redução do ruído experimental que consequentemente reduziu o valor do limite de decisão, visto que caso o LD tivesse mantido a ordem de grandeza obtida para as séries retificadas, o percentual de lotes com variação superior ao limite de decisão entre pontos seria muito próximo ao das séries retificadas.

Embora não ocorra em grande parte dos lotes, houve pelo menos um caso em todas as séries em que o concreto de uma mesma amassada é considerado diferente entre os pontos de coleta, assim conclui-se que nem sempre as misturas podem ser consideradas homogêneas e por conseqüência pode haver uma caracterização errada sobre lote dependendo da porção retirada para amostra. Devido a não formação de um perfil padrão com o comportamento da

resistência à compressão ao longo da descarga do caminhão não se pode indicar qual ponto de coleta de amostras mais representativo.

4.3.2.2 Teor de agregado graúdo

A seguir, nas tabelas 9 a 11, são apresentadas as análises de variância para o teor de agregado graúdo para cada uma das 3 séries. Para todos os concretos avaliados na pesquisa foi constatada diferença significativa do teor brita entre lotes e entre os pontos, como era esperado, visto a grande amplitude nos resultados entre amassadas e a formação de perfil com maior concentração de agregado graúdo nos pontos extremos dos lotes.

Tabela 9: análise de variância (ANOVA) para teor de agregado graúdo — Série A-
1ª fase – A1 à A40 – preparação das bases com enxofre.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	0,137	39	0,004	8,981	1,477	0,00%	S
Ponto de coleta	0,027	4	0,007	17,098	2,430	0,00%	S
Erro	0,061	156	0,000				
Total	0,225	199					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** (*Fcalc.* > *Ftab.*)

NS = Efeito **não significativo** (*Fcalc.* < *Ftab.*)

Tabela 10: análise de variância (ANOVA) para teor de agregado graúdo — Série B
– B41 à B52 – preparação das bases com enxofre.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	0,017	11	0,002	2,670	2,014	1,03%	S
Ponto de coleta	0,022	4	0,005	9,107	2,584	0,00%	S
Erro	0,026	44	0,001				
Total	0,065	59					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** (*Fcalc.* > *Ftab.*)

NS = Efeito **não significativo** (*Fcalc.* < *Ftab.*)

Tabela 11: análise de variância (ANOVA) para teor de agregado graúdo — Série A-
2ª fase – A53 à A65 – preparação das bases com enxofre.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>MQ</i>	<i>Fcalc.</i>	<i>Ftab.</i>	<i>PROB.</i>	<i>SIGN.</i>
Lote	0,079	12	0,007	34,599	1,960	0,00%	S
Ponto de coleta	0,003	4	0,001	4,093	2,565	0,62%	S
Erro	0,009	48	0,000				
Total	0,091	64					

Onde,

SQ = Soma de quadrados;

GL = Graus de liberdade;

MQ = Médias Quadradas;

Fcalc. = Valor calculado de F;

Ftab. = Valor tabelado de F para 95% de confiança;

S = Efeito **significativo** ($F_{calc.} > F_{tab.}$)

NS = Efeito **não significativo** ($F_{calc.} < F_{tab.}$)

A partir da análise de variância constatou-se que o ponto de coleta influencia no teor de agregado das amostras, no entanto, sem refletir, aparentemente, na resistência à compressão. Assim considera-se para esse fator que o mais adequado seja retirar amostras de porções intermediárias, as quais têm maior relação argamassa/agregado graúdo que as porções dos extremos, o que evita uma possível falta de argamassa para preenchimento dos vazios da brita na moldagem de corpos-de-prova, fato esse que, aparentemente, não ocorreu no presente trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado na análise dos resultados obtidos a partir do programa experimental desenvolvido na pesquisa, onde se avaliou a variação de resistência à compressão, consistência e teor de agregado graúdo para 5 pontos de amostragem ao longo da descarga do concreto em caminhão betoneira, em 65 lotes (amassadas), são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema.

Salienta-se que os resultados e conclusões aqui apresentadas referem-se aos materiais, aos métodos de ensaio, as condições experimentais e aos caminhões empregados no decorrer da pesquisa.

5.1 Conclusões

Constatou-se elevada variação de resistência à compressão média entre os lotes de um mesmo traço de concreto, obtendo amplitudes da ordem de 17 e 18,6 MPa para os concretos da série A, 1ª e 2ª fase, respectivamente, e de 11,8 MPa para o traço da série B, indicando assim o melhor controle de produção para empresa produtora do concreto da série B. Observou-se ainda que para diferentes dias de produção havia diferentes resistências médias para o mesmo traço teórico, demonstrando assim que há fatores externos, não mensurados na pesquisa, que influem globalmente nas propriedades das misturas. Através de análise estatística confirmou-se a variação significativa entre lotes de concreto, havendo a ocorrência de mais de um grupo de resistência à compressão dentro de uma mesma série.

As dispersões de resistência à compressão dentro dos lotes, de modo geral, ficaram concentradas na faixa de $\pm 5\%$, com igual distribuição do número de ocorrências de valores acima e abaixo em relação ao ponto de referência (central, P3). Visto a ocorrência dos mais variados perfis de variações entre os diferentes pontos, não foi possível identificar um perfil para representar as variações de resistência à compressão ao longo da descarga.

A partir da análise estatística verificou-se a existência de variação significativa entre os pontos para os lotes A-1ª fase, B-capeado e A-2ª fase, para variável resistência à compressão.

Com a comparação múltipla de médias constatou-se que em 15% dos lotes analisados da série A-1ª fase havia pelo menos dois grupos distintos de resistência (variação entre pontos com valor superior ao limite de decisão - LD), enquanto para as séries B-capeado e A-2ª fase, com menor ruído experimental, alcançou-se 50 e 69%, respectivamente.

A redução do ruído experimental permitiu visualizar com maior clareza a existência de variação de resistência entre os pontos dentro de um mesmo lote, no entanto como o LD para os lotes capeados era menor que 2MPa, valor esse aceitável do ponto de vista da engenharia para variação entre pontos, foi necessário, uma análise mais minuciosa dos lotes com mais de um grupo de resistência a partir da adoção de um valor para determinar um limite de variação, o qual foi determinado pelo critério da ABECE (2011), em que a diferença aceitável entre pontos é de 15%.

Ao avaliar lote a lote as variações entre pontos ditos diferentes (diferença maior que o LD), constatou-se que todos os pontos das séries capeadas têm variação inferior aos 15% determinados como aceitável pela ABECE, enquanto para a série A-1ª fase 7,5% dos pontos têm variação superior ao recomendado, o que representa menos de 5% sobre o total de pontos analisados em toda pesquisa e abre margem para questionamento sobre a existência de diferença de resistência conforme o ponto de coleta.

Com base em tais resultados não é possível afirmar que as amostras retiradas da porção intermediária, conforme prescrição das normas NBR NM 33 (ABNT, 1998) e NBR 7212 (ABNT, 1984), têm melhor representatividade do lote em relação à resistência à compressão.

Para o teor de agregado graúdo é facilmente visualizado um perfil de variações entre os pontos de coleta com maior concentração do teor de brita nos pontos extremos, inicial e final, e menores teores nos pontos centrais. As variações nos teores estão normalmente dentro da faixa de 0 a 10% para os pontos P1 e P5 e de $\pm 5\%$ para os pontos P2 e P4 em relação ao ponto central P3. Estatisticamente há diferença significativa do teor de agregado graúdo ao variar os pontos de coleta e entre os lotes de mesmo traço, no entanto isso, aparentemente, não causou variações na principal propriedade do concreto, a resistência à compressão.

Ao avaliar a consistência do concreto usinado ao longo dos cinco pontos de coleta durante a descarga do caminhão betoneira pode-se notar um redução linear do abatimento de tronco de cone do ponto inicial ao ponto final, o que indica uma provável influência do tempo de ensaio

sobre o resultado, visto que as amostras foram ensaiadas na ordem de coleta e havia uma diferença de pelo menos 30 minutos entre a utilização da amostra do primeiro ponto para o último. As amplitudes de variações de consistência dentro dos lotes foram compatíveis aos limites tolerados pela NBR 7212 (1984).

Visto a ausência de um perfil claro para o comportamento de resistência à compressão conforme a variação dos pontos de coleta, como ocorre para o teor de agregado graúdo e abatimento de tronco de cone, não foi possível identificar uma correlação entre os resultados de tais propriedades.

De modo geral, pode-se dizer as variações de resistência à compressão entre os pontos de coleta são aceitáveis do ponto de vista da engenharia e a coleta de amostras, para fins de ensaio e controle, fora da porção intermediária não acarreta prejuízos na verificação de conformidade da resistência à compressão.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Mediante a grande utilização do concreto usinado em todo o mundo em contraponto a pouca literatura disponível sobre o comportamento dos concretos na mistura e descarga em caminhão betoneira, tem-se a necessidade de estudar mais esse assunto a fim de melhor compreendê-lo e possibilitar melhorias, para tanto são sugeridos alguns temas para trabalhos futuros:

- a) avaliar o comportamento de variações de propriedades para outros traços de concreto a fim de confrontar tais resultados com os encontrados nessa pesquisa e contribuir para o incremento de dados sobre o tema;
- b) propor limites de variação bem como ensaios para avaliação da homogeneidade do concreto a fim de iniciar a discussão sobre uma possível criação de normas para controle dos misturadores na questão de uniformidade;
- c) avaliar a influência de diferentes níveis de desgaste dos misturadores na homogeneidade e qualidade dos concretos.

REFERÊNCIAS

ABECE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL - **Estruturas de Concreto - Conformidade da Resistência do Concreto**. 2011. Disponível em: <www.abece.com.br>. Acesso em 4 de abr. de 2011.

ABESC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM - **ABESC**. 2011. Disponível em: <<http://www.abesc.org.br>>. Acesso em 10 de jan. de 2011.

ABRAMS, D. A. **Design of Concrete Mixtures**. Chicago: Lewis Institute, 1919.

ACI Committee 214R. **ACI 214R-02**: Evaluation of Strength Test Results of Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan/USA, 2002. Disponível em: <<http://www.concrete.org/general/home.asp>>. Acesso em 10 de dezembro de 2010.

ACI Committee 304R. **ACI 304R-00**: Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete. American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan/USA, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C94/C94M**: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. USA. 2010.

ARIOZ, O.; GOKHAN A.; MUSTAFA T.; SERKAN K. **Web-based quality control of ready mixed concrete**. Building and Environment, 2007: 1465-1470.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2003.

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

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

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

_____. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 12655**: Concreto - Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 33**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR NM 67**: Concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1996.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **BS 3963**: Method for testing the mixing performance of concrete mixers. UK. 1974.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **BS 4251**: Specification for truck type concrete mixers.UK.1967.

BORGES, M. L. **Avaliação da qualidade de concretos produzidos em centrais dosadoras, misturados em caminhão betoneira e de concretos produzidos em centrais misturadoras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2009.

BRASIL - **Lei complementar n 116**, de 31 de julho de 2003. Disponível em: <www.planalto.gov.br>. Acesso em 30 de nov de 2011.

CAZACLIU, B.; VENTURA, A. **Technical and environmental effects of concrete production: dry batch versus central mixed plant**. Journal of Cleaner Production, 2010: 1320-1327.

CHARONNATL, Y.; H. BEITZEL. **Efficiency of concrete mixers towards qualification of mixers**. RILEM TC 150-ECM: Efficiency of concrete mixers, 1997: 28-32.

CREMONINI, R. A. **Apostila de Edificações I**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

DEWAR, J. D.; ANDERSON, R. **Manual of Ready-Mixed Concrete**. 2 Edição. Londres: Chapman & Hall, 1992.

ERMCO - European Ready Mixed Concrete Organization - **ERMCO Documents - Statistics** 2011. Disponível em: <www.ermco.eu/documents/ermco-documents/ermco-statistics-2010_rev03.pdf>. Acesso em 30 de nov. de 2011).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **BS EN 206-1:2000**: Concrete. Specification, performance, production and conformity. EU. 2001.

FARIA, R. Concreto não conforme. Técnica (PINI), n. 152 (2009): pg 42-54.

FERRARIS, C. F. **Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers: State of the Art**. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology - Vol. 106, No. 2, Março-Abril 2001: 391-399

GUIMARÃES, A. T. C.. “Propriedades do Concreto Fresco.” In: ISAIA, G. C. **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON; SmartSystem Consulting Ltda., 2005.

HELENE, P. R. L. **Análise da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas com vistas à revisão da segurança estrutural**. ALCONPAT, Jan - abr de 2011: 67 - 92.

HELENE, P. R. L. **Controle de Qualidade do Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1980.

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

INTERNATIONAL CEMENT REVIEW. **The Global Cement Report – Ninth Edition**. 2011. Disponível em: <www.cemnet.com/publications/GlobalCementReport9>. Acesso em 27 de dez. de 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **CONCRETO**. Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: IBRACON, 2008.

NETO, C. S. Agregados para Concreto. In: **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**, por ISAIA, G. C. São Paulo: IBRACON; SmartSystem Consulting Ltda., 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

NRMCA - National Ready Mixed Concrete Association. 2011. Disponível em: <www.nrmca.org/concrete/data.asp>. Acesso em 30 de nov. de 2011.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland**. 13. São Paulo: Globo S.A., 1998.

PILZ, S. E.; CAVALHEIRO, E. K. . Concreto Bombeado: **Verificação da variabilidade das propriedades entre a saída do caminhão betoneira até a chegada no local da concretagem**. Caderno Ciência Tecnologia e Educação, Chapecó, v. 1, p. 17-25, 2005.

RECENA, F. A. P. **Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland**. Porto Alegre: Edipucrs, 2002.

RIBEIRO, J. L. D. e CATEN T. C. **Projeto de experimentos**. Série Monográfica Qualidade. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2001.

ROHDEN, A. B. **Efeito da dimensão máxima característica do agregado graúdo nas propriedades do concreto de alto desempenho**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

SEFAZ-RS - Secretaria da Fazenda. 2011. Disponível em: <http://www.sefaz.rs.gov.br/site/MontaDuvidas.aspx?al=1_icms_faq>. Acesso em 30 de nov de 2011.

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - **Relatório Anual 2010**. 2011. Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/snic-relatorio2010-11_web.pdf>. Acesso em 30 de nov. de 2011.

TANGO, C. E. S. Produção, Transporte e Controle do Concreto. In: **CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações**, por ISAIA, G. C. São Paulo: IBRACON; SmartSystem Consulting Ltda., 2005.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. London: Academic Press inc., 1990.

TUTIKIAN, B. F. **Método para Dosagem de Concretos Auto-adensáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

ZURITA, G. Publicação eletrônica [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <rafaelmascolo@yahoo.com.br>. 7 de jul de 2011.

ANEXO A – Dados coletados

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADOC FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HOA - DESCARGA ECOLETA	TEMP. - AMBIENTE	TEMP. - CONCRETO	UR - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPURA	IDADE RUPURA [dias]	CF1 [MPa]	CF2 [MPa]	CF3 [MPa]
A1	1 - INÍCIO	25/01/2011	400Kg/m3	MÉDIO	12:05	13:38	01:53	13:58	37,0	33,1	65%	21,0	42,0%	29,79	27,44	26,29
	2 - TERÇO INICIAL		13:41		02:03	14:08	37,1	32,9	63%	23,5	41,3%	29,56	28,36	25,63		
	3 - TERÇO MÉDIO		13:44		02:11	14:16	35,8	32,8	61%	23,0	41,2%	26,27	25,03	25,59		
	4 - TERÇO FINAL		13:47		02:20	14:25	37,0	32,5	60%	18,0	41,7%	28,95	27,4	26,84		
	5 - FINAL		13:45		02:29	14:34	37,4	32,3	64%	18,0	42,2%	26,96	25,56	19,77		
A2	1 - INÍCIO	25/01/2011	400Kg/m3	BOM	15:18	15:55	01:05	16:23	35,0	39,5	62%	22,5	43,5%	32,69	32,06	23,01
	2 - TERÇO INICIAL		16:01		01:12	16:30	37,0	41,7	55%	22,5	40,2%	32,30	31,33	31,32		
	3 - TERÇO MÉDIO		16:04		01:22	16:40	35,9	37,4	58%	25,0	33,2%	32,90	32,17	30,90		
	4 - TERÇO FINAL		16:07		01:30	16:48	36,6	41,3	42%	24,5	40,7%	33,43	28,16	25,78		
	5 - FINAL		16:10		01:37	16:55	36,6	33,0	53%	24,5	42,8%	32,94	32,77	30,86		
A3	1 - INÍCIO	25/01/2011	400Kg/m3	BOM	15:31	16:14	01:33	17:04	36,7	38,0	35%	23,5	41,3%	35,69	33,03	31,61
	2 - TERÇO INICIAL		16:15		01:42	17:13	27,0	37,5	38%	22,0	40,5%	29,14	26,89	22,41		
	3 - TERÇO MÉDIO		16:17		01:51	17:22	25,9	39,1	35%	21,5	41,6%	32,74	31,81	29,78		
	4 - TERÇO FINAL		16:19		02:02	17:33	37,5	39,1	30%	23,5	40,2%	32,53	31,25	29,93		
	5 - FINAL		16:21		02:10	17:41	36,9	33,8	49%	19,0	41,6%	33,17	32,4	32,39		
A4	1 - INÍCIO	27/01/2011	400Kg/m3	BOM	09:23	10:25	02:12	11:35	35,1	40,7	39%	13,0	39,3%	26,38	26,37	25,95
	2 - TERÇO INICIAL		10:34		02:23	11:46	35,3	41,5	40%	13,0	36,0%	28,66	27,55	27,20		
	3 - TERÇO MÉDIO		10:37		02:31	11:54	36,9	43,5	42%	13,5	36,2%	27,88	27,79	24,50		
	4 - TERÇO FINAL		10:40		02:39	12:02	35,5	44,3	38%	10,0	36,5%	29,64	27,66	26,47		
	5 - FINAL		11:05		02:46	12:09	36,0	44,0	43%	9,5	40,0%	25,72	25,06	24,01		

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPURA	IDADE RUPURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A5	1 - INÍCIO	27/01/2011	400kg/m3	BOM	09:30	11:09	02:49	12:19	36,7	42,1	41%	12,5	34,2%	24/02/2011	28	25,99	25,77	23,97
	2 - TERÇO INICIAL		11:12			02:56	12:26	36,7	44,9	38%	12,0	34,6%	26,7			25,18	24,48	
	3 - TERÇO MÉDIO		11:16			03:03	12:33	36,5	45,5	38%	11,0	34,4%	26,83			25,85	25,11	
	4 - TERÇO FINAL		11:20			03:09	12:39	36,7	46,2	37%	8,0	33,7%	28,62			27,48	26,26	
	5 - FINAL		11:23			03:16	12:46	36,5	48,0	32%	5,0	36,4%	25,95			25,9	24,74	
A6	1 - INÍCIO	27/01/2011	400kg/m3	BOM	17:49	18:29	01:16	19:05	36,4	36,8	63%	22,5	40,5%	24/02/2011	28	27,80	26,98	25,70
	2 - TERÇO INICIAL		18:34			01:25	19:14	36,2	35,8	51%	24,5	39,5%	28,90			25,99	24,65	
	3 - TERÇO MÉDIO		18:38			01:33	19:22	36,4	34,3	67%	23,5	35,9%	29,30			28,00	22,52	
	4 - TERÇO FINAL		18:45			01:41	19:30	36,4	31,8	71%	22,5	38,6%	27,59			26,75	25,61	
	5 - FINAL		18:50			01:47	19:36	36,6	30,3	71%	21,5	37,2%	28,01			27,62	25,08	
A7	1 - INÍCIO	28/01/2011	400kg/m3	BOM	09:48	10:42	01:31	11:19	35,9	38,4	50%	22,5	41,3%	25/02/2011	28	31,91	29,21	25,99
	2 - TERÇO INICIAL		10:45			01:37	11:25	35,9	44,9	37%	23,5	49,6%	29,08			27,83	27,76	
	3 - TERÇO MÉDIO		10:47			01:44	11:32	36,2	46,8	32%	23,5	46,6%	28,83			27,53	26,45	
	4 - TERÇO FINAL		10:50			01:51	11:39	36,0	46,8	34%	22,0	42,0%	31,65			27,86	25,67	
	5 - FINAL		10:52			01:57	11:45	34,7	45,5	39%	17,5	47,1%	28,65			26,28	24,45	
A8	1 - INÍCIO	28/01/2011	400kg/m3	BOM	09:56	10:59	02:14	12:10	36,4	43,7	37%	22,5	40,9%	25/02/2011	28	30,18	29,12	24,53
	2 - TERÇO INICIAL		11:01			02:21	12:17	36,0	45,1	39%	20,5	37,1%	31,53			30,63	29,20	
	3 - TERÇO MÉDIO		11:03			02:28	12:24	36,3	45,7	40%	21,0	36,0%	27,46			26,46	24,18	
	4 - TERÇO FINAL		11:05			01:36	11:32	35,8	46,2	38%	20,5	38,2%	32,03			27,89	27,23	
	5 - FINAL		11:07			02:45	12:41	36,2	46,8	39%	20,0	39,4%	31,34			28,24	25,79	

Concreto Usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPURA	IDADE RUPURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A9	1 - INÍCIO	31/01/2011	400Kg/m3	BOM	10:38	11:30	01:24	12:02	34,4	30,6	54%	21,5	38,0%	28/02/2011	28	30,77	27,09	25,16
	2 - TERÇO INICIAL		-----		11:32	01:33	12:11	33,9	30,6	53%	22,5	34,6%	27,98			27,03	24,91	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	11:34	01:42	12:20	34,1	30,9	53%	22,0	36,1%			30,05	28,99	27,41
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:05	01:52	12:30	34,5	31,2	53%	22,5	38,3%	27,7			24,97	22,95	
	5 - FINAL		8m³		-----	11:38	02:00	12:38	34,8	31,5	53%	19,5	38,8%			28,29	27,69	21,79
A10	1 - INÍCIO	31/01/2011	400Kg/m3	BOM	10:47	11:43	02:01	12:48	34,6	31,8	53%	16,5	42,1%	28/02/2011	28	30,25	30,05	27,95
	2 - TERÇO INICIAL		-----		11:45	02:13	13:00	35,0	31,5	52%	20,5	36,2%	32,22			29,06	24,82	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	11:48	02:23	13:10	34,9	31,5	52%	16,5	38,3%			29,82	29,70	26,79
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:10	02:33	13:20	35,2	31,8	53%	17,5	45,2%	27,98			27,92	27,05	
	5 - FINAL		8m³		-----	11:53	02:43	13:30	34,9	32,1	52%	14,0	42,1%			29,56	27,37	26,88
A11	1 - INÍCIO	31/01/2011	400Kg/m3	BOM	12:21	14:15	02:19	14:40	38,2	32,5	54%	15,5	42,6%	28/02/2011	28	32,48	32,23	32,11
	2 - TERÇO INICIAL		-----		14:19	02:31	14:52	38,0	33,1	53%	18,0	41,6%	34,42			33,72	32,53	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	14:22	02:41	15:02	38,4	33,1	53%	16,0	39,2%			37,4	33,8	33,24
	4 - TERÇO FINAL		-----		13:25	02:54	15:15	38,3	33,4	52%	15,0	41,3%	34,77			32,92	31,41	
	5 - FINAL		8m³		-----	14:28	03:05	15:26	38,2	33,4	53%	12,5	43,8%			33,9	31,06	28,9
A12	1 - INÍCIO	01/02/2011	400Kg/m3	BOM	09:36	11:04	01:50	11:26	32,4	24,4	88%	20,5	42,6%	01/03/2011	28	37,90	37,89	36,54
	2 - TERÇO INICIAL		-----		11:05	01:59	11:35	32,1	24,4	87%	20,0	43,2%	36,78			35,97	31,02	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	11:07	02:08	11:44	31,6	24,4	87%	20,0	42,8%			36,65	32,18	30,65
	4 - TERÇO FINAL		-----		10:15	02:16	11:52	31,9	24,5	87%	19,0	41,8%	35,49			29,89	27,60	
	5 - FINAL		8m³		-----	11:10	02:24	12:00	31,4	24,4	86%	19,0	43,1%			38,07	36,03	35,98

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATE ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A13	1 - INÍCIO	01/02/2011	400Kg/m ³	BOM	09:48	11:15	02:21	12:09	29,8	24,6	84%	23,0	40,2%	01/03/2011	28	34,33	31,98	30,95
	2 - TERÇO INICIAL		-----		11:17	02:32	12:20	29,3	24,6	84%	24,5	42,2%	34,47			31,13	30,96	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	11:19	02:42	12:30	31,0	25,7	75%	23,5	40,0%			34,41	32,87	32,82
	4 - TERÇO FINAL		-----		10:25	02:53	12:41	29,2	25,5	71%	22,5	39,2%	33,21			32,44	29,25	
	5 - FINAL		8m ³		-----	11:22	03:04	12:52	29,7	26,4	70%	22,5	43,4%			33,78	31,71	29,43
A14	1 - INÍCIO	04/02/2011	400Kg/m ³	BOM	11:42	12:44	01:25	13:07	37,0	30,5	63%	21,5	43,7%	04/03/2011	28	25,03	24,67	23,12
	2 - TERÇO INICIAL		-----		12:46	01:35	13:17	36,7	31,5	59%	21,5	41,4%	24,06			22,67	21,56	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	12:49	01:45	13:27	36,6	32,1	59%	22,0	42,0%			24,13	23,60	21,20
	4 - TERÇO FINAL		-----		12:15	01:56	13:38	37,0	32,5	58%	19,0	43,4%	24,30			22,79	21,13	
	5 - FINAL		8m ³		-----	12:54	02:09	13:51	37,0	32,8	57%	17,0	45,3%			25,76	22,93	21,96
A15	1 - INÍCIO	04/02/2011	400Kg/m ³	BOM	13:54	15:15	01:44	15:38	38,0	35,4	51%	20,0	47,0%	04/03/2011	28	27,3	26	24,93
	2 - TERÇO INICIAL		-----		15:17	01:54	15:48	37,9	35,4	50%	19,5	42,9%	28,83			26,86	26,76	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	15:19	02:04	15:58	37,9	35,4	50%	19,0	41,1%			26,41	22,27	20,54
	4 - TERÇO FINAL		-----		14:40	02:14	16:08	37,6	35,5	49%	16,0	40,8%	26,68			26,03	26	
	5 - FINAL		8m ³		-----	15:25	02:25	16:19	37,1	36,3	48%	14,5	43,2%			25,9	25,71	25,58
A16	1 - INÍCIO	07/02/2011	400Kg/m ³	BOM	10:31	11:47	01:46	12:17	33,8	29,5	69%	18,5	41,0%	10/03/2011	31	37,33	36,79	28,23
	2 - TERÇO INICIAL		-----		11:49	01:54	12:25	33,6	28,5	70%	17,0	41,8%	37,49			28,35	23,74	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	11:51	02:01	12:32	33,9	28,5	69%	17,0	39,3%			37,61	36,58	35,22
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:10	02:09	12:40	33,7	29,2	69%	15,0	41,1%	39,54			37,94	34,05	
	5 - FINAL		8m ³		-----	11:55	02:17	12:48	33,8	29,2	69%	13,5	42,6%			36,8	35,5	34,05

Concreto Usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A17	1 - INÍCIO	07/02/2011	400kg/m3	MÉDIO	10:57	12:00	01:58	12:55	32,8	28,3	69%	17,5	47,1%	10/03/2011	31	38,07	36,19	31,97
	2 - TERÇO INICIAL		-----		12:02	02:06	13:03	32,7	27,5	73%	18,0	40,8%	42,66			41,85	36,74	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	12:04	02:16	13:13	32,5	27,0	75%	19,5	35,1%			40,54	40,02	34,95
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:30	12:06	02:26	13:23	32,5	27,5	73%	19,5	37,6%			39,73	39,42	38,22
	5 - FINAL		8m³		-----	12:08	02:34	13:31	32,7	28,1	71%	16,5	40,2%			46,92	41,37	36,37
A18	1 - INÍCIO	07/02/2011	400kg/m3	BOM	12:52	14:01	01:28	14:20	34,6	30,3	62%	18,0	39,7%	10/03/2011	31	41,32	32,09	28,30
	2 - TERÇO INICIAL		-----		14:03	01:36	14:28	34,5	31,2	60%	16,5	40,7%	40,99			37,41	34,36	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	14:05	01:43	14:35	34,7	30,9	60%	15,5	37,5%			41,98	40,05	35,09
	4 - TERÇO FINAL		-----		13:20	14:07	01:51	14:43	34,8	31,2	61%	16,0	37,5%			40,30	39,12	36,20
	5 - FINAL		8m³		-----	14:09	01:59	14:51	35,0	31,2	61%	10,5	42,2%			38,01	37,65	29,92
A19	1 - INÍCIO	08/02/2011	400kg/m3	MÉDIO	11:28	12:27	01:40	13:08	31,6	27,0	84%	20,5	33,4%	10/03/2011	30	36,09	33,38	32,58
	2 - TERÇO INICIAL		-----		12:29	01:47	13:15	31,5	27,5	82%	19,5	33,4%	32,3			31,66	30,48	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	12:31	01:54	13:22	31,7	27,3	81%	17,5	38,2%			34,04	33,14	26,52
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:55	12:33	02:01	13:29	31,9	27,5	81%	16,5	38,0%			33,4	31,57	29,78
	5 - FINAL		8m³		-----	12:35	02:08	13:36	31,5	27,0	81%	9,5	39,4%			36,15	32,51	30,9
A20	1 - INÍCIO	08/02/2011	400kg/m3	BOM	11:39	12:41	02:07	13:46	31,1	28,9	78%	13,0	39,2%	10/03/2011	30	36,37	35,65	27,13
	2 - TERÇO INICIAL		-----		12:43	02:15	13:54	31,0	29,8	77%	12,0	41,9%	33,13			33,06	27,60	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	12:52	02:22	14:01	31,7	29,5	76%	9,5	38,3%			35,65	35,59	22,50
	4 - TERÇO FINAL		-----		12:00	12:55	02:31	14:10	31,5	29,5	74%	9,5	38,5%			34,54	34,52	31,77
	5 - FINAL		8m³		-----	12:58	02:38	14:17	31,8	29,8	75%	8,0	39,5%			34,42	29,98	28,47

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A21	1 - INÍCIO	08/02/2011	400Kg/m3	BOM	14:39	16:01	01:36	16:15	34,9	35,9	54%	19,5	41,7%	10/03/2011	30	42,13	38,71	26,55
	2 - TERÇO INICIAL		-----		16:02	01:44	16:23	35,7	34,7	53%	18,5	40,1%	40,93			40,84	36,65	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	16:04	01:51	16:30	34,5	33,1	53%	17,5	38,2%			37,49	36,85	34,7
	4 - TERÇO FINAL		-----		15:10	01:58	16:37	34,5	30,9	60%	16,5	37,5%	40,82			40,08	39,38	
	5 - FINAL		8m³		-----	16:06	02:05	16:44	34,8	32,5	58%	16,5	39,1%			40,84	40,79	38,37
A22	1 - INÍCIO	09/02/2011	400Kg/m3	BOM	12:37	14:07	01:56	14:33	30,0	25,1	100%	20,5	41,0%	11/03/2011	30	25,16	24,96	21,92
	2 - TERÇO INICIAL		-----		14:08	02:03	14:40	29,2	24,8	100%	21,0	33,7%	28,65			27,63	24,89	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	14:10	02:09	14:46	29,7	24,8	90%	22,5	33,6%			30,44	24,49	21,71
	4 - TERÇO FINAL		-----		13:10	02:16	14:53	29,8	24,8	88%	21,5	36,0%	26,97			23,60	21,65	
	5 - FINAL		8m³		-----	14:15	02:23	15:00	29,3	25,1	86%	19,5	37,3%			27,96	26,91	24,32
A23	1 - INÍCIO	09/02/2011	400Kg/m3	BOM	16:56	17:36	01:03	17:59	32,8	32,9	57%	21,5	41,3%	11/03/2011	30	32,07	25,48	23,09
	2 - TERÇO INICIAL		-----		17:37	01:10	18:06	32,9	32,5	61%	22,0	39,9%	28,57			24,96	20,73	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	17:39	01:17	18:13	32,7	31,5	62%	19,5	41,1%			33,65	33,49	29,6
	4 - TERÇO FINAL		-----		17:15	01:25	18:21	32,6	30,9	63%	17,5	41,4%	24,84			22,47	19,34	
	5 - FINAL		8m³		-----	17:41	01:31	18:27	32,0	30,3	65%	16,0	42,4%			32,76	31,35	27,05
A24	1 - INÍCIO	09/02/2011	400Kg/m3	BOM	16:45	17:45	01:50	18:35	32,1	31,3	61%	21,0	34,5%	11/03/2011	30	29,59	24,35	23,56
	2 - TERÇO INICIAL		-----		17:47	01:56	18:41	32,0	31,5	63%	21,5	36,6%	25,61			25,17	25,03	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	17:49	02:01	18:46	32,6	31,5	65%	21,5	35,6%			29,00	27,30	22,93
	4 - TERÇO FINAL		-----		17:25	02:07	18:52	32,6	31,8	64%	20,5	37,4%	31,35			27,90	24,90	
	5 - FINAL		8m³		-----	17:52	02:14	18:59	32,5	29,5	76%	16,5	40,9%			25,97	25,46	25,25

Concreto Usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATE ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A25	1 - INÍCIO	10/02/2011	400Kg/m3	BOM	13:18	14:37	02:07	15:25	32,3	28,6	70%	18,0	37,6%	11/03/2011	29	25,65	24,89	23,03
	2 - TERÇO INICIAL		-----		14:39	02:16	15:34	31,0	27,8	71%	16,5	31,9%	25,9			24,1	22,56	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	14:41	02:23	15:41	30,1	26,6	76%	15,5	29,7%			25,87	25,02	24,52
	4 - TERÇO FINAL		-----		14:05	02:30	15:48	31,7	26,8	79%	16,5	33,6%	26,16			24,18	24,18	
	5 - FINAL		8m³		-----	14:45	02:37	15:55	31,5	27,0	77%	15,0	33,4%			25,51	25,25	21,79
A26	1 - INÍCIO	10/02/2011	400Kg/m3	BOM	14:07	15:09	01:57	16:04	32,4	26,4	79%	14,0	38,1%	11/03/2011	29	34,51	32,48	32,15
	2 - TERÇO INICIAL		-----		15:10	02:20	16:27	31,5	27,0	75%	12,0	36,5%	34,16			33,71	28,39	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	15:13	02:30	16:37	31,5	26,6	74%	12,5	37,4%			34,32	29,56	26,12
	4 - TERÇO FINAL		-----		14:30	02:37	16:44	30,8	26,4	75%	11,5	37,2%	34,02			30,70	28,14	
	5 - FINAL		8m³		-----	16:15	02:46	16:53	32,4	27,0	74%	13,0	36,4%			33,85	29,88	27,11
A27	1 - INÍCIO	10/02/2011	400Kg/m3	BOM	15:36	16:25	01:36	17:12	29,7	26,6	74%	20,5	35,2%	11/03/2011	29	31,24	29,96	29,79
	2 - TERÇO INICIAL		-----		16:27	01:45	17:21	30,5	25,9	76%	20,0	30,6%	30,37			29,19	26,26	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	16:29	01:54	17:30	29,9	26,1	77%	18,5	29,9%			29,21	28,1	25,45
	4 - TERÇO FINAL		-----		16:10	02:02	17:38	30,7	25,9	77%	17,5	33,6%	31,61			30,32	27,89	
	5 - FINAL		8m³		-----	16:33	02:09	17:45	30,7	26,1	77%	15,0	36,7%			30,94	30,76	25,83
A28	1 - INÍCIO	11/02/2011	400Kg/m3	BOM	08:34	09:42	01:42	10:16	29,3	25,1	75%	22,5	40,1%	11/03/2011	28	40,90	39,10	31,95
	2 - TERÇO INICIAL		-----		09:44	01:52	10:26	28,9	25,9	71%	23,5	36,5%	33,34			33,34	32,62	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	09:46	01:59	10:33	29,0	26,6	68%	23,5	35,6%			41,05	39,45	28,60
	4 - TERÇO FINAL		-----		09:00	02:14	10:48	29,1	26,8	65%	23,0	39,4%	30,44			29,98	20,60	
	5 - FINAL		8m³		-----	09:50	02:07	10:41	29,0	27,0	68%	23,0	39,6%			40,32	36,36	25,67

NOME AMOSTRA	PTO COLETA					DATA COLETA	TRAÇO / -CK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLLMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A29	1 - INÍCIO	14:30	01:20	15:09	33,1	28,9	60%	23,0	38,8%	14/03/2011	28	31,96	28,8	22,52								
	2 - TERÇO INICIAL	14:32	01:30	15:19	32,4	30,0	53%	22,5	38,7%			34,23	26,26	25,05								
	3 - TERÇO MÉDIO	14:34	01:38	15:27	32,6	30,1	53%	23,5	38,8%			29,67	28,23	25,4								
	4 - TERÇO FINAL	14:36	01:46	15:35	32,4	30,7	53%	23,0	37,3%			30,32	30,27	25,6								
	5 - FINAL	14:39	01:55	15:44	32,4	31,2	51%	22,5	40,0%			29,88	27,87	27,57								
A30	1 - INÍCIO	14:47	02:08	15:54	32,3	34,7	46%	20,0	41,7%	14/03/2011	28	35,14	33,94	33,71								
	2 - TERÇO INICIAL	14:49	02:18	16:04	32,5	35,1	46%	21,0	37,4%			33,80	26,40	24,61								
	3 - TERÇO MÉDIO	14:52	02:26	16:12	32,2	33,8	52%	19,0	38,3%			35,62	34,95	27,31								
	4 - TERÇO FINAL	14:55	02:36	16:22	33,3	42,2	30%	20,0	39,6%			38,21	36,36	35,76								
	5 - FINAL	14:58	02:44	16:30	31,8	39,1	42%	16,0	39,5%			37,6	35,74	31,23								
A31	1 - INÍCIO	17:47	03:27	18:50	31,6	30,6	44%	17,5	39,4%	14/03/2011	28	27,36	27,28	25,57								
	2 - TERÇO INICIAL	17:49	03:35	18:58	32,1	29,9	50%	17,5	34,9%			28,13	27,84	27,67								
	3 - TERÇO MÉDIO	17:51	03:42	19:05	31,5	29,4	54%	17,0	36,0%			28,3	27,5	23,93								
	4 - TERÇO FINAL	17:53	03:49	19:12	31,9	28,9	54%	15,5	39,1%			27,48	24,49	24								
	5 - FINAL	17:55	03:58	19:21	31,5	28,1	55%	12,0	40,8%			27,34	26,89	26,85								
A32	1 - INÍCIO	18:05	02:15	19:29	30,8	27,5	56%	19,5	42,9%	14/03/2011	28	33,22	29,94	28,38								
	2 - TERÇO INICIAL	18:09	02:26	19:40	30,9	27,0	57%	19,5	38,2%			31,45	27,12	25,77								
	3 - TERÇO MÉDIO	18:12	02:35	19:49	30,4	26,6	58%	20,5	37,4%			31,60	29,89	22,73								
	4 - TERÇO FINAL	18:15	02:45	19:59	30,0	26,6	61%	19,5	38,3%			31,84	31,30	23,22								
	5 - FINAL	18:40	02:55	20:09	31,8	25,9	60%	18,5	41,0%			32,54	30,92	24,85								

Concreto Usinado: Análise da variação da resistência à compressão e de propriedades físicas ao longo da descarga do caminhão betoneira

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPURA	IDADE RUPURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A33	1 - INÍCIO	15/02/2011	400Kg/m3	MÉDIO	10:25	12:09	02:18	12:43	31,4	27,4	54%	22,0	35,0%	15/03/2011	28	35,94	29,89	24,72
	2 - TERÇO INICIAL		-----		12:11	02:26	12:51	30,5	27,5	53%	22,5	33,3%	24,03			23,62	22,96	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	12:13	02:36	13:01	30,3	27,3	51%	21,5	35,5%			36,11	25,94	24,12
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:00	02:46	13:11	30,6	28,1	52%	21,5	37,9%	34,59			33,48	30,18	
	5 - FINAL		8m³		-----	12:18	02:54	13:19	30,8	27,8	49%	21,0	39,3%			34,7	27,79	25,11
A34	1 - INÍCIO	15/02/2011	400Kg/m3	BOM	10:31	12:23	02:57	13:28	29,3	27,8	50%	23,0	35,8%	15/03/2011	28	35,03	32,92	25,45
	2 - TERÇO INICIAL		-----		12:25	03:06	13:37	30,2	28,3	51%	24,0	36,7%	33,61			28,64	24,98	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	12:27	03:17	13:48	29,5	29,2	47%	24,5	35,5%			35,33	34,90	29,95
	4 - TERÇO FINAL		-----		11:05	03:28	13:59	29,5	29,2	46%	24,0	38,1%	29,65			24,55	22,46	
	5 - FINAL		8m³		-----	12:31	03:39	14:10	30,3	29,2	51%	23,0	36,0%			36,32	34,15	32,73
A35	1 - INÍCIO	15/02/2011	400Kg/m3	BOM	16:18	18:01	02:45	19:03	32,6	36,5	31%	21,5	38,3%	15/03/2011	28	33,98	25,8	24,52
	2 - TERÇO INICIAL		-----		18:03	02:52	19:10	32,4	40,7	22%	22,0	35,8%	31,72			22,85	20,71	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	18:05	02:59	19:17	31,8	39,3	27%	22,5	34,4%			34,13	30,18	25,66
	4 - TERÇO FINAL		-----		16:40	03:06	19:24	31,8	38,7	27%	22,0	35,4%	34,4			31,53	24,8	
	5 - FINAL		8m³		-----	18:11	03:13	19:31	31,5	33,7	38%	20,5	40,6%			32,05	29,78	25,07
A36	1 - INÍCIO	15/02/2011	400Kg/m3	BOM	17:03	18:46	02:36	19:39	32,5	29,5	48%	19,0	36,4%	15/03/2011	28	29,57	24,53	24,29
	2 - TERÇO INICIAL		-----		18:48	02:42	19:45	32,1	28,6	50%	17,5	40,9%	29,40			25,82	25,16	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	18:50	02:47	19:50	32,3	27,3	52%	19,5	34,4%			33,77	23,36	21,67
	4 - TERÇO FINAL		-----		17:35	02:56	19:59	32,0	26,6	55%	18,0	39,8%	30,56			30,03	24,96	
	5 - FINAL		8m³		-----	18:55	03:06	20:09	31,8	26,4	56%	16,5	42,0%			32,82	23,44	21,64

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCk / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]				
A37	1 - INÍCIO	16/02/2011	400Kg/m ³	BOM	13:06	14:48	02:19	15:25	32,9	33,1	54%	21,0	38,3%	16/03/2011	28	25,17	23,17	21,49				
	2 - TERÇO INICIAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	4 - TERÇO FINAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	5 - FINAL		8m ³		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
A38	1 - INÍCIO	16/02/2011	400Kg/m ³	BOM	13:29	15:09	02:48	16:17	33,9	47,7	22%	19,0	40,3%	16/03/2011	28	29,73	26,16	21,47				
	2 - TERÇO INICIAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	4 - TERÇO FINAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	5 - FINAL		8m ³		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
A39	1 - INÍCIO	17/02/2011	400Kg/m ³	BOM	11:00	12:08	02:29	13:29	33,4	31,5	58%	19,0	35,3%	17/03/2011	28	27,09	26,16	23,53				
	2 - TERÇO INICIAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	4 - TERÇO FINAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	5 - FINAL		8m ³		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
A40	1 - INÍCIO	17/02/2011	400Kg/m ³	MÉDIO	11:28	13:05	02:42	14:10	33,6	33,4	54%	20,5	36,6%	17/03/2011	28	24,88	24,54	20,44				
	2 - TERÇO INICIAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	3 - TERÇO MÉDIO		22±3cm		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	4 - TERÇO FINAL		-----		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	
	5 - FINAL		8m ³		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----			-----	-----	-----	-----	-----	-----	

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPURA	IDADE RUPURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
B41	1 - INÍCIO	26/03/2011	30MPa	BOM	06:31	07:44	01:35	08:06	29,4	23,9	90%	18,5	47,3%	25/04/2011	30	41,89	39,28	30,48
	2 - TERÇO INICIAL		-----		07:51	01:45	08:16	29,6	25,1	87%	17,5	42,2%	38,86			37,56	36,29	
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		07:53	01:54	08:25	29,6	24,8	90%	18,5	40,5%	40,5			38,7	22,28	
	4 - TERÇO FINAL		-----		07:55	02:02	08:33	29,5	24,8	90%	17,5	45,7%	39,74			39,32	37,3	
	5 - FINAL		8m³		07:57	02:08	08:39	29,5	25,7	88%	17,0	46,4%	35,68			31,93	27,69	
B42	1 - INÍCIO	26/03/2011	30MPa	BOM	07:12	09:01	02:04	09:16	30,2	25,5	82%	20,0	38,0%	25/04/2011	30	39,68	39,12	39,12
	2 - TERÇO INICIAL		-----		09:03	02:11	09:23	30,2	25,9	80%	20,0	36,8%	40,13			39,75	35,99	
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		09:05	02:20	09:32	30,2	26,7	77%	20,5	41,2%	41,70			39,24	37,28	
	4 - TERÇO FINAL		-----		09:07	02:27	09:39	30,2	29,5	73%	19,5	39,5%	40,84			38,86	37,97	
	5 - FINAL		8m³		09:08	02:33	09:45	29,4	27,8	74%	13,5	48,4%	39,7			39,68	38,64	
B43	1 - INÍCIO	26/03/2011	30MPa	BOM	09:00	10:01	01:14	10:14	32,0	29,8	68%	20,0	41,0%	25/04/2011	30	39,79	35,09	33,79
	2 - TERÇO INICIAL		-----		10:03	01:21	10:21	31,7	29,2	67%	20,0	40,2%	44,05			35,85	35,04	
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		10:05	01:28	10:28	31,5	28,1	71%	20,0	40,0%	41,44			39,17	33,58	
	4 - TERÇO FINAL		-----		10:07	01:36	10:36	31,4	28,1	71%	20,0	39,5%	42,12			38,5	35,08	
	5 - FINAL		8m³		10:09	01:43	10:43	31,5	28,9	67%	19,0	43,0%	38,88			36,76	34,9	
B44	1 - INÍCIO	02/04/2011	30MPa	BOM	06:28	07:52	01:42	08:10	31,7	23,5	86%	17,0	44,4%	02/05/2011	30	33,00	22,92	20,16
	2 - TERÇO INICIAL		-----		07:54	01:51	08:19	32,2	24,4	85%	17,0	41,2%	33,82			33,29	28,49	
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		07:56	01:58	08:26	32,1	24,8	85%	17,5	35,7%	33,31			28,85	27,71	
	4 - TERÇO FINAL		-----		07:59	02:04	08:32	32,1	24,4	85%	16,5	41,7%	33,09			32,15	31,84	
	5 - FINAL		8m³		08:01	02:10	08:38	31,9	24,6	83%	15,5	46,1%	33,75			31,71	24,15	

NOME AMOSTRA	PTO COLETA					DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR ASREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
B45	1 - INÍCIO	30MPa		06:44	08:51	02:40	09:24	31,2	28,9	67%	15,5	41,9%	02/05/2011	30	31,6	29,75	26,46					
	2 - TERÇO INICIAL	-----			08:53	02:49	09:33	31,1	29,2	66%	14,5	44,9%			30,24	25,93	19,85					
	3 - TERÇO MÉDIO	14±2cm			08:55	02:56	09:40	31,3	32,0	59%	13,5	42,6%			32,48	32,45	29,58					
	4 - TERÇO FINAL	-----		07:05	08:58	03:03	09:47	31,1	33,1	62%	14,0	42,8%			30,75	28,58	27,21					
	5 - FINAL	8m³			09:00	03:10	09:54	31,6	32,9	56%	13,5	43,7%			32,89	30,46	28,78					
B46	1 - INÍCIO	30MPa		06:52	09:11	03:09	10:01	30,5	30,0	67%	20,5	45,3%	02/05/2011	30	35,66	34,66	32,77					
	2 - TERÇO INICIAL	-----			09:13	03:16	10:08	30,7	29,5	73%	18,5	42,9%			35,40	34,22	24,17					
	3 - TERÇO MÉDIO	14±2cm			09:15	03:22	10:14	30,4	29,2	73%	17,0	44,3%			35,63	34,10	31,53					
	4 - TERÇO FINAL	-----		07:15	09:16	03:29	10:21	30,2	28,6	72%	17,0	44,4%			36,90	35,92	34,91					
	5 - FINAL	8m³			09:21	03:34	10:26	30,2	28,6	69%	9,8	45,2%			35,68	34,82	25,79					
B47	1 - INÍCIO	30MPa		06:27	07:58	01:57	08:24	27,6	18,9	88%	13,5	47,7%	09/05/2011	30	29,43	27,66	27,25					
	2 - TERÇO INICIAL	-----			08:02	02:05	08:32	27,8	19,5	91%	14,5	43,3%			29,47	29,2	28,96					
	3 - TERÇO MÉDIO	14±2cm			08:04	02:12	08:39	27,8	20,8	91%	14,5	40,7%			30,06	28,39	28,05					
	4 - TERÇO FINAL	-----		07:15	08:07	02:21	08:48	27,7	26,8	91%	13,5	44,5%			29,55	29,54	26,98					
	5 - FINAL	8m³			08:10	02:28	08:55	28,0	25,4	78%	11,0	47,2%			28,85	28,09	27,53					
B48	1 - INÍCIO	30MPa		09:16	10:14	01:14	10:30	29,9	30,5	20%	23,0	48,0%	09/05/2011	30	37,04	36,82	35,80					
	2 - TERÇO INICIAL	-----			10:16	01:36	10:52	29,2	29,2	22%	17,0	42,6%			35,77	35,57	34,92					
	3 - TERÇO MÉDIO	14±2cm			10:18	01:43	10:59	28,8	29,2	20%	17,0	39,6%			35,36	35,25	35,02					
	4 - TERÇO FINAL	-----		10:00	10:20	01:50	11:06	28,8	27,9	23%	16,5	40,4%			36,91	33,71	32,43					
	5 - FINAL	8m³			10:22	01:56	11:12	29,1	29,2	23%	15,5	43,1%			37,38	35,52	33,15					

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]	
B49	1 - INÍCIO	09/04/2011	30MPa	BOM	09:43	10:34	01:37	11:20	29,3	29,3	20%	24,5	41,8%	09/05/2011	30	35,34	34,79	33,91	
	2 - TERÇO INICIAL		-----		08:43	10:36	01:46	11:29	29,2	28,6	21%	10,5	41,5%			36,71	36,57	34,91	
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		-----	08:38	10:38	01:54	11:37	28,9	27,2	24%	9,5			39,8%	39,37	38,84	36,14
	4 - TERÇO FINAL		-----		10:21	10:40	02:01	11:44	29,2	27,8	27%	10,0	38,9%			39,44	37,26	35,3	
	5 - FINAL		8m³		-----	10:44	10:44	02:12	11:55	29,0	26,6	26%	10,5			40,9%	38,79	37,57	36,94
B50	1 - INÍCIO	26/04/2011	30MPa	BOM	06:47	08:13	01:58	08:45	21,0	15,3	55%	23,0	45,7%	26/05/2011	30	42,94	41,97	39,95	
	2 - TERÇO INICIAL		-----		08:17	02:06	08:53	22,9	16,2	50%	21,5	42,2%	38,00			37,99	37,50		
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		-----	08:19	02:12	08:59	23,2	16,6	33%	21,5	42,3%			39,25	39,03	37,58	
	4 - TERÇO FINAL		-----		07:35	08:20	02:18	09:05	23,2	17,5	26%	21,0	42,6%			42,12	40,25	37,64	
	5 - FINAL		8m³		-----	08:21	02:24	09:11	22,8	18,1	20%	19,0	52,5%			37,61	36,52	34,27	
B51	1 - INÍCIO	26/04/2011	30MPa	BOM	06:53	08:31	02:27	09:20	22,7	18,7	25%	24,5	45,5%	26/05/2011	30	42,5	42,44	38,96	
	2 - TERÇO INICIAL		-----		08:33	02:38	09:31	23,6	19,1	37%	17,0	39,0%	40,7			39,73	37,36		
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		-----	08:34	02:47	09:40	23,6	18,8	43%	16,5	40,2%			39,67	35,95	35,5	
	4 - TERÇO FINAL		-----		07:45	08:36	02:55	09:48	23,4	20,1	44%	14,5	39,2%			38,96	38,51	35,43	
	5 - FINAL		8m³		-----	08:37	03:02	09:55	23,6	20,1	45%	14,5	46,2%			38,38	37,69	37,63	
B52	1 - INÍCIO	26/04/2011	30MPa	BOM	08:48	10:13	01:43	10:31	25,8	20,0	41%	21,5	49,1%	26/05/2011	30	39,01	37,76	33,01	
	2 - TERÇO INICIAL		-----		10:15	01:50	10:38	26,1	20,8	41%	16,0	46,1%	37,73			37,53	34,03		
	3 - TERÇO MÉDIO		14±2cm		-----	10:17	01:57	10:45	25,7	21,1	42%	15,0	42,1%			37,64	37,33	36,37	
	4 - TERÇO FINAL		-----		09:54	10:23	02:03	10:51	26,2	21,9	42%	15,5	41,5%			39,19	37,70	36,87	
	5 - FINAL		8m³		-----	10:25	02:09	10:57	26,2	22,7	43%	15,5	43,5%			39,16	36,76	34,34	

NOME AMOSTRA	PTO COLETA					DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A53	1 - INÍCIO	13:55	01:35	14:25	14:25	32,0	41,7	21%	14,5	50,4%	09/12/2011	47,79	47,21	47,18								
	2 - TERÇO INICIAL	13:59	01:43	14:33	14:33	30,6	40,0	20%	14,0	47,9%	28	49,38	49,25	47,18								
	3 - TERÇO MÉDIO	14:03	01:50	14:40	14:40	31,2	42,0	20%	13,5	48,9%		47,94	47,82	47,79								
	4 - TERÇO FINAL	14:11	01:58	14:48	14:48	31,5	44,0	20%	13,0	48,3%	49,37	48,28	47,29									
	5 - FINAL	14:17	02:06	14:56	14:56	32,8	44,0	20%	12,0	49,3%	48,06	47,91	46,58									
A54	1 - INÍCIO	15:44	01:18	15:57	15:57	30,8	36,1	20%	17,0	44,3%	09/12/2011	45,27	44,80	44,12								
	2 - TERÇO INICIAL	15:46	01:25	16:04	16:04	29,8	39,0	20%	16,5	42,5%	28	44,89	44,78	43,25								
	3 - TERÇO MÉDIO	15:48	01:33	16:12	16:12	29,1	37,9	20%	15,5	41,6%		44,25	43,73	42,17								
	4 - TERÇO FINAL	15:50	01:39	16:18	16:18	29,7	40,0	20%	16,5	43,7%	43,66	43,44	41,09									
	5 - FINAL	15:54	01:44	16:23	16:23	29,6	38,9	20%	16,5	40,7%	44,94	44,59	42,72									
A55	1 - INÍCIO	16:20	01:39	16:51	16:51	29,0	28,2	22%	13,0	36,6%	09/12/2011	53,18	52,54	51,97								
	2 - TERÇO INICIAL	16:22	01:45	16:57	16:57	29,6	28,7	25%	13,5	39,5%	28	51,81	51,78	51,23								
	3 - TERÇO MÉDIO	16:24	01:54	17:06	17:06	28,4	26,9	25%	11,5	39,3%		53,38	52,43	51,91								
	4 - TERÇO FINAL	16:26	02:03	17:15	17:15	28,3	26,4	24%	12,0	38,4%	52,91	52,43	51,49									
	5 - FINAL	16:30	02:11	17:23	17:23	28,5	25,9	25%	11,5	38,5%	53,23	53,16	52,9									
A56	1 - INÍCIO	09:45	01:19	10:05	10:05	29,4	31,8	20%	13,0	37,9%	16/12/2011	49,35	47,43	45,56								
	2 - TERÇO INICIAL	09:47	01:27	10:13	10:13	29,5	31,8	20%	12,5	34,3%	28	51,74	51,14	49,56								
	3 - TERÇO MÉDIO	09:50	01:35	10:21	10:21	29,5	32,8	20%	11,5	35,6%		50,64	49,15	43,67								
	4 - TERÇO FINAL	09:53	01:44	10:30	10:30	29,3	31,2	20%	11,5	35,5%	50,81	49,54	45,82									
	5 - FINAL	09:56	01:51	10:37	10:37	29,3	30,5	20%	10,0	38,2%	52,18	51,64	50,37									

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A57	1 - INÍCIO	18/11/2011	35MPa	BOM	10:07	11:13	01:23	11:30	30,3	37,3	20%	12,5	43,7%	16/12/2011	28	50,3	48,54	45,93
	2 - TERÇO INICIAL				11:15	01:30	11:37	30,3	37,2	20%	9,5	40,8%	54,16			52,31	52,09	
	3 - TERÇO MÉDIO		12±2cm			11:18	01:38	11:45	30,2	37,0	20%	9,5	44,9%			54,36	53,60	47
	4 - TERÇO FINAL				10:50	01:46	11:53	30,4	38,4	20%	9,5	41,2%	54,67			54,56	53,23	
	5 - FINAL		8M³			11:26	01:54	12:01	30,7	36,1	20%	8,5	43,5%			52,23	50,86	50,34
A58	1 - INÍCIO	18/11/2011	35MPa	BOM	11:45	12:47	01:25	13:10	32,6	35,0	20%	12,5	46,0%	16/12/2011	28	48,80	46,91	44,84
	2 - TERÇO INICIAL				12:49	01:31	13:16	32,5	34,1	20%	14,5	45,4%	48,56			46,02	45,71	
	3 - TERÇO MÉDIO		12±2cm			12:52	01:38	13:23	32,6	33,9	20%	11,0	45,6%			47,57	47,32	46,51
	4 - TERÇO FINAL				12:30	01:45	13:30	32,6	34,1	20%	9,5	44,9%	51,19			50,97	48,51	
	5 - FINAL		8M³			13:00	01:51	13:36	32,4	33,2	20%	10,5	42,0%			50,82	48,09	45,16
A59	1 - INÍCIO	18/11/2011	35MPa	BOM	12:22	13:45	01:39	14:01	32,5	32,5	20%	8,5	45,3%	16/12/2011	28	54,77	51,5	50,14
	2 - TERÇO INICIAL				13:48	01:45	14:07	32,3	32,5	20%	8,5	43,2%	56,56			55,5	51,22	
	3 - TERÇO MÉDIO		12±2cm			13:50	01:51	14:13	32,6	32,5	20%	8,5	42,7%			55,61	54,76	54,57
	4 - TERÇO FINAL				13:35	02:00	14:22	32,7	32,5	20%	8,0	42,6%	53,24			53,09	50,97	
	5 - FINAL		8M³			13:56	02:08	14:30	33,0	31,8	20%	7,0	44,4%			56,28	53,98	51,07
A60	1 - INÍCIO	26/11/2011	35MPa	BOM	12:28	13:37	01:27	13:55	33,9	36,1	20%	17,5	40,9%	24/12/2011	28	49,36	46,29	45,81
	2 - TERÇO INICIAL				13:39	01:34	14:02	33,9	36,7	20%	17,0	38,3%	49,74			49,59	48,66	
	3 - TERÇO MÉDIO		12±2cm			13:42	01:43	14:11	34,1	38,8	20%	16,5	39,9%			47,71	47,64	47,47
	4 - TERÇO FINAL				13:20	01:50	14:18	34,6	38,7	20%	15,5	40,5%	49,46			48,43	45,68	
	5 - FINAL		8M³			13:48	01:57	14:25	34,1	35,7	20%	13,5	44,0%			48,92	48,49	47,65

NOME AMOSTRA	PTO COLETA	DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TEOR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
A61	1 - INÍCIO	26/11/2011	35MPa	BOM	13:32	14:29	01:28	15:00	34,3	35,7	20%	11,0	43,3%	24/12/2011	28	48,69	47,36	47,17
	2 - TERÇO INICIAL		14:32		01:39	15:11	34,5	34,8	20%	12,5	41,6%	47,26	46,22			45,98		
	3 - TERÇO MÉDIO		-----		14:37	01:47	15:19	34,3	37,8	20%	12,0	41,7%	46,54			44,99	44,51	
	4 - TERÇO FINAL		14:10		01:55	15:27	34,0	36,7	20%	10,5	41,8%	46,46	45,02			44,83		
	5 - FINAL		-----		14:56	02:04	15:36	35,3	36,7	20%	10,0	44,6%	47,47			46,97	46,64	
A62	1 - INÍCIO	26/11/2011	35MPa	RUIM	14:59	16:18	02:18	17:17	32,5	33,5	20%	8,5	44,7%	24/12/2011	28	39,12	38,75	38,33
	2 - TERÇO INICIAL		-----		16:24	02:25	17:24	33,5	34,1	20%	11,5	43,2%	35,49			35,35	35,26	
	3 - TERÇO MÉDIO		-----		16:35	02:33	17:32	34,4	32,5	20%	11,0	43,5%	35,73			35,14	33,03	
	4 - TERÇO FINAL		15:40		02:40	17:39	33,3	32,3	20%	11,0	43,8%	36,90	35,87			35,26		
	5 - FINAL		-----		17:05	02:47	17:46	34,1	31,7	20%	8,5	45,6%	35,68			35,39	34,69	
A63	1 - INÍCIO	02/12/2011	35MPa	BOM	07:30	08:55	01:42	09:12	27,2	20,0	45%	15,5	38,7%	02/01/2012	31	46,97	45,35	42,53
	2 - TERÇO INICIAL		-----		08:57	01:50	09:20	27,3	20,6	45%	15,0	37,8%	46,88			45,57	44,69	
	3 - TERÇO MÉDIO		-----		09:00	01:57	09:27	27,5	19,9	45%	14,0	37,0%	47,81			45,96	45,4	
	4 - TERÇO FINAL		08:15		02:05	09:35	27,5	20,2	45%	12,0	38,7%	48,5	48,21			47,72		
	5 - FINAL		-----		09:06	02:12	09:42	27,4	20,2	45%	12,0	42,4%	48,04			47,09	46,84	
A64	1 - INÍCIO	02/12/2011	35MPa	BOM	08:52	09:53	01:18	10:10	28,3	20,5	45%	11,0	37,0%	02/01/2012	31	53,35	51,67	50,23
	2 - TERÇO INICIAL		-----		09:55	01:27	10:19	28,1	20,9	45%	10,5	35,0%	53,65			52,44	50,17	
	3 - TERÇO MÉDIO		-----		09:58	01:37	10:29	27,8	21,0	45%	11,0	36,5%	52,36			51,32	51,32	
	4 - TERÇO FINAL		09:45		01:47	10:39	28,1	21,2	44%	12,0	34,2%	51,81	50,89			50,78		
	5 - FINAL		-----		10:04	01:56	10:48	28,5	22,0	45%	12,0	37,4%	51,65			50,19	49,14	

NOME AMOSTRA	PTO COLETA					DATA COLETA	TRAÇO / FCK / VOLUME	ESTADO FACAS	HORA - MISTURA / CHEGADA OBRA	HORA - DESCARGA E COLETA	TEMPO DECORRIDO - MISTURA ATÉ ENSAIO	HORA - ENSAIO	TEMP. - CONCRETO [°C]	TEMP. - AMBIENTE [°C]	UR. - AMBIENTE [%]	SLUMP [cm]	TECR AGREGADO [%]	DATA RUPTURA	IDADE RUPTURA [dias]	CP1 [MPa]	CP2 [MPa]	CP3 [MPa]
	1 - INÍCIO	2 - TERÇO INICIAL	3 - TERÇO MÉDIO	4 - TERÇO FINAL	5 - FINAL																	
A65	1 - INÍCIO	02/12/2011	35MPa	BOM	10:45	12:01	01:36	12:21	29,5	23,1	35%	13,0	45,2%	02/01/2012	31	45,02	43,75	43,37				
	2 - TERÇO INICIAL				12:04	01:43	12:28	29,5	25,5	33%	13,0	44,2%			44,55	44,05	43,69					
	3 - TERÇO MÉDIO				12:07	01:52	12:37	30,1	23,1	31%	12,0	43,5%			43,95	43,74	42,7					
	4 - TERÇO FINAL				12:10	02:01	12:46	30,9	23,8	32%	12,0	40,6%			44,63	43,09	42,62					
	5 - FINAL				12:13	02:12	12:57	30,3	23,5	33%	9,5	43,0%			45,78	44,88	43,98					

ANEXO B – Análise múltipla de médias dos pontos de coleta para cada lote

