

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

UNIS - MG

ENGENHARIA CIVIL

PHELIPE GOMES SILVA

**ESTUDO DA CONFORMIDADE DOS CONCRETOS PRODUZIDOS EM OBRAS DE
PEQUENO E MÉDIO PORTE, NA CIDADE DE VARGINHA, CONFORME
PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA ABNT NBR 12655:2015**

VARGINHA - MG

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

UNIS - MG

ENGENHARIA CIVIL

PHELIPE GOMES SILVA

**ESTUDO DA CONFORMIDADE DOS CONCRETOS PRODUZIDOS EM OBRAS DE
PEQUENO E MÉDIO PORTE, NA CIDADE DE VARGINHA, CONFORME
PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA ABNT NBR 12655:2015**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por **Phelipe Gomes Silva** como exigência do curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas sob a orientação do professor Yago Petrim Cruz.

VARGINHA - MG

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

UNIS - MG

ENGENHARIA CIVIL

PHELIPE GOMES SILVA

**ESTUDO DA CONFORMIDADE DOS CONCRETOS PRODUZIDOS EM OBRAS DE
PEQUENO E MÉDIO PORTE, NA CIDADE DE VARGINHA, CONFORME
PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA ABNT NBR 12655:2015**

Trabalho de conclusão de curso apresentado por **Phelipe Gomes Silva** como exigência do curso de graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas sob a orientação do Prof. Yago Petrim Cruz.

Aprovado em: ____ de _____ de 2017.

Prof. Yago Petrim Cruz (Orientador)

Componente da Banca Examinadora I

Componente da Banca Examinadora II

“São as perguntas que não sabemos responder que mais nos ensinam. Elas nos ensinam a pensar. Se você dá uma resposta a um homem, tudo o que ele ganha é um fato qualquer. Mas, se você lhe der uma pergunta, ele procurará suas próprias respostas. Assim, quando ele encontrar as respostas, elas lhe serão preciosas”

Kvothe em O Temor dos Sábios, p. 545.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em especial, aos meus avós, Gilson Gomes e Eneida Maia, pelo carinho, apoio durante toda a minha vida, principalmente pela dedicação e paciência durante minha jornada neste período da vida.

Agradeço minhas duas famílias, a materna, minha mãe Geisla e meus irmãos Eduardo e Marcos Paulo, por serem os quais divido todas as minhas emoções diárias, os quais posso confiar e que, mesmo em tempos difíceis conseguimos nos alegrar e rir, sendo assim, um aparato à felicidade, o que me ajudou muito nos períodos estressantes desta jornada; a paterna, meu pai, Mário e minha madrasta Lívia, os quais possuem um jeito peculiar de expressar apoio e dedicação.

Agradeço ao Aysllan, por ser amigo e por simplesmente me acompanhar, ainda mais por estar ao meu lado nesta época importante da minha vida.

Agradeço ao Rodrigo, Rafael V., Rafael T., Letícia e Luis Filipe, por serem os únicos que sabem exatamente como foi passar por esta etapa de nossas vidas, e por serem tão amigos, por termos compartilharmos, juntos, alegrias e tristezas, por me auxiliarem quando precisei e aceitaram minha ajuda quando precisaram. Agradeço cada um por serem meus amigos.

Agradeço a professora Marina Dutra pela iniciativa ao meu trabalho e ao professor Yago Petrim por dar continuidade a ele. Bem como a instituição de ensino.

Agradeço à pedreira Santo Antônio por disponibilizar materiais para que eu pudesse realizar meus estudos, sem essa ajuda meu projeto teria sido mais difícil.

Agradeço, por último, mas não menos importante, a mim mesmo. Por ser forte e não desistir e completar esta etapa da vida de cabeça erguida e confiante, sabendo que dei o meu melhor.

RESUMO

O presente trabalho tem como finalidade estudar os concretos produzidos em obras de pequeno e médio porte, na cidade de Varginha-MG, com o intuito de analisar os dados coletados através da aplicação de um questionário, de modo a avaliar a maneira com que este material foi produzido, bem como o traço aplicado, as características dos componentes, a ordem de inserção e o método de mistura. Para tanto, foram comparadas informações em que se aplicam parâmetros preconizados pela NBR 12655:2015, como o fator água e cimento, consumo de cimento e resistência final aos 28 dias; constatando, por este meio, a não conformidade dos concretos produzidos em obra. A partir desta detecção, foi desenvolvida a dosagem de dois tipos de concretos com materiais disponíveis na região, através de ensaios necessários e a produção de corpos-de-prova para o estudo de resistência em idades variadas e assim, desenvolver diagramas de dosagens oriundos das leis de comportamento do concreto. Estes diagramas são construídos para comparar traços produzidos em laboratório com os coletados em campo, e sugerir traços a serem aplicados através da exposição em uma cartilha, que, também, possui a finalidade de salientar cuidados a se ter com os componentes e como deve proceder a execução do concreto em obras.

Palavras-chave: Conformidade. Concreto. Traço. Resistência.

ABSTRACT

This present work has as propose to study the concrete produced at small and medium mien work site, at the city of Varginha-MG, with aim to analyze the collected data through the application of a questionnaire, in order to evaluate the manner that how this material was produced, as well as how the applied concrete recipe, the component characteristics, the insertion order and the mix method. Therefore, the information was compared where are applied parameters that is recommended by the NBR 12655:2015, like the water cement ratio, cement consumption and the resistance at the final of 28 days, being, hereby, the non-compliance of produced concrete at the work site. By this detection, was developed two dosages with available materials at the region, through required essays and the production of proof bodies to study the resistance at varied ages and thus, develop dosage diagrams arising from concrete behavior laws. These diagrams are constructed to compare the concrete recipe produced at laboratory and from that was collected at the work site, and suggest recipes to be applied through an exposition in a guidebook, that, as well, has the goal to expose the care to have with components and how the concrete must be done at work site.

Keywords: Conformity. Concrete. Concrete recipe. Resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de inchamento da areia.....	38
Figura 2 - Relação entre o diâmetro máximo do agregado e o consumo de cimento.....	47
Figura 3 - Dimensões da padiola.	50
Figura 4 - Ábaco para determinação da relação água/cimento.....	52
Figura 5 - Ábaco para a determinação da relação água/cimento para cimento CP-32.....	56
Figura 6 - Diagrama de porcentagem de agregado graúdo.....	58
Figura 7 - Diagrama de porcentagem de agregado graúdo.....	58
Figura 8 - Diagrama de dosagem pelo método IPT.....	62
Figura 9 - Concreto produzido manualmente.	68
Figura 10 - Concreto sendo produzido por meio mecânico.....	68
Figura 11 - Desforma da amostra de concreto.....	70
Figura 12 - Corpo de prova de concreto.	71
Figura 13 - Amostras de concreto em cura saturada na câmara úmida.	71
Figura 14 - Equipamento para realização do ensaio de compressão.	73
Figura 15- Corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.	74
Figura 16 - Concreto imprimido demonstrando-se poroso.....	77
Figura 17 - Concreto (com brita 0) imprimido na betoneira.	80
Figura 18 - Corpos de prova de concreto moldados.....	82
Figura 19 - Corpo de prova rompido.	83
Figura 20 - Medição do topo do exemplar com o paquímetro.	83
Figura 21 - Areia em secagem na estufa.....	92
Figura 22 - Recipiente rasado para ensaio de massa unitária.	93
Figura 23 - Capsulas preenchidas com areia.	94
Figura 24 - Cisalhamento do corpo de prova colhido na obra 10.....	122
Figura 25 - Material deletério (papelão) na amostra de concreto.....	122
Figura 26 - Seção resistência e fator a/c , do diagrama de dosagem.	129
Figura 27 - Seção fator a/c e soma da massa dos agregados, do diagrama de dosagem.	129
Figura 28 - Seção massa dos agregados e consumo de cimento, do diagrama de dosagem..	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Diagrama de resistência aos 3 dias.	85
Gráfico 2 - Diagrama de resistência aos 7 dias.	86
Gráfico 3 - Diagrama de resistência do concreto aos 28 dias.....	86
Gráfico 4 - Diagrama de resistência, para dosagem com brita 1, corrigido.	88
Gráfico 5 - Curva de resistência, para dosagem com brita 0, corrigido.	89
Gráfico 6 - Gráfico da soma da massa de agregado, para dosagem com brita 1.....	89
Gráfico 7 - Gráfico da soma da massa de agregado, para dosagem com brita 0.....	90
Gráfico 8 - Consumo de cimento para dosagem com brita 1.	91
Gráfico 9 - Consumo de cimento para dosagem com brita 0.	91
Gráfico 10 - Curva de inchamento da areia.....	104
Gráfico 11 - Função (do operário) na obra.	106
Gráfico 12 - Finalidade do concreto produzido.....	106
Gráfico 13 - Responsáveis pela definição do traço do concreto empregado.....	107
Gráfico 14 - Motivo da utilização do traço no concreto.....	107
Gráfico 15 – Como (os operários) sabem que o traço funciona.	108
Gráfico 16 - Método de mistura aplicado nas obras.....	109
Gráfico 17 - Relação a/c.	111
Gráfico 18 - Consumo de cimento.....	112
Gráfico 19 - Materiais utilizados na mistura dos concretos.	113
Gráfico 20 - Resistência à compressão.....	115
Gráfico 21 - Resistência à compressão versus relação água/cimento.	116
Gráfico 22 - Resistência à compressão versus consumo de cimento.	117
Gráfico 23 - Resistência à compressão versus quantidade de materiais agregados.	118
Gráfico 24 - Comparação do consumo de cimento.	124
Gráfico 25 - Comparação da relação entre água e cimento.	126
Gráfico 26 - Comparativo relação água/cimento entre os traços.....	133
Gráfico 27 - Comparativo consumo de cimento entre os traços.....	134
Gráfico 28 - Comparativo soma da massa dos agregados.	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Estimativa de resistência em determinadas idades.....	33
Tabela 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.....	34
Tabela 3 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.....	35
Tabela 4 - Limites máximos de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.....	36
Tabela 5 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo.....	36
Tabela 6 – Desvio-padrão do concreto (s_d).....	41
Tabela 7 - Resistência característica à compressão.....	41
Tabela 8 - Traços básicos para obras de pequeno porte, em volume.....	43
Tabela 9 - Relação entre água/cimento e a resistência média a compressão do concreto, simplificada.....	44
Tabela 10 - Relação água e cimento (a/c).....	44
Tabela 11 - Abatimentos de tronco de cone sugeridos por norma.....	45
Tabela 12 - Limites impostos, por Ripper, para abatimento de tronco de diversas aplicações do concreto.....	46
Tabela 13 - Consumo de cimento.....	47
Tabela 14 – Consumo aproximado de água.....	53
Tabela 15 – Relação entre a dimensão máxima do agregado graúdo e módulo de finura da areia.....	53
Tabela 16 - Resumo das características básicas do concreto.....	56
Tabela 17 - Teor de água na mistura de concreto.....	57
Tabela 18 - Acréscimo de areia e cimento na mistura experimental.....	60
Tabela 19 - Definição dos traços auxiliares - exemplificação.....	61
Tabela 20 – Perguntas do questionário aplicado em campo.....	67
Tabela 21 - Data de coleta das amostras de concreto.....	70
Tabela 22 - Data de rompimento do corpo de prova de concreto.....	72
Tabela 23 - Traço básico da dosagem com brita 1.....	76
Tabela 24 - Correção do traço básico da dosagem da brita 1.....	78
Tabela 25 - Continuação da correção do traço básico da dosagem da brita 1.....	78
Tabela 26 - Resumo dos dados da dosagem com brita 1.....	78
Tabela 27 – Traço básico dosagem com brita 0.....	79
Tabela 28 - Resumo dos dados da dosagem com brita 0.....	80

Tabela 29 - Datas de confecção e rompimentos.	81
Tabela 30 - Diâmetros dos corpos de prova	84
Tabela 31- Massa específica das areias úmidas.....	93
Tabela 32 - Tabela de determinação do teor de umidade e coeficiente de inchamento da areia.	94
Tabela 33 - Dados sobre a confecção do concreto.	96
Tabela 34 - Informações acerca da definição do traço do concreto.	97
Tabela 35 - Traços do concreto em Latas/saco de cimento, massa e volume.	98
Tabela 36 - Consumo de cimento.	99
Tabela 37 - Consumo de água e estimativa de abatimento de tronco pelo método ABCP.	99
Tabela 38 - Características dos materiais empregados na mistura.	100
Tabela 39 - Ordem de inserção dos materiais na mistura de concreto.	100
Tabela 40 - Conhecimento dos operários em relação ao concreto.	101
Tabela 41 - Resistência do concreto.	102
Tabela 42 - Resistência dos concretos dosados em laboratório.	103
Tabela 43 - Soma dos traços dos agregados para correlacionar ao método de dosagem IPT.	110
Tabela 44 - Resistência à compressão comparado com o método de mistura, em ordem decrecente.....	119
Tabela 45 - Resistência à compressão comparado com as características dos materiais utilizados.....	120
Tabela 46 - Resistência à compressão comparado com a ordem de inserção dos materiais. .	121
Tabela 47 - Dosagem do concreto para classe C20.	131
Tabela 48 - Dosagem do concreto para classe C25.	131
Tabela 49 - Dosagem do concreto para classe C30.	132
Tabela 50 - Tabela geral de traços.....	132

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1. Objetivos gerais	17
1.1.2. Objetivos específicos	17
1.2. Justificativa	18
1.3. Estrutura do trabalho	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1. Concreto	21
2.1.1. Concreto no estado fresco.....	21
2.1.2. Concreto endurecido.....	22
2.2. Métodos de produção do concreto	22
2.2.1. Concreto produzido em obra	23
2.2.2. Concreto produzido em central.....	24
2.3. Materiais componentes e sua influência no concreto	24
2.3.1. Cimento Portland.....	24
2.3.2 Agregados	26
2.3.2.1 Agregados miúdo.....	27
2.3.2.2 Agregados graúdo.....	28
2.3.3. Água de amassamento	29
2.3.4. Pasta de cimento	30
2.3.5 Aditivos	30
2.4. Controle e qualidade do concreto	31
2.4.1 Ensaios dos materiais.....	31
2.4.1.1. Ensaios do concreto no estado fresco	31
2.4.1.2. Ensaios do concreto endurecido	32
2.4.1.3. Ensaios dos agregados	33

2.4.2. Influência do método de mistura	39
2.4.3. Aceitação da resistência à compressão do concreto	39
2.5. Dosagem e traço do concreto	41
2.5.1. Parâmetros que influenciam na dosagem do concreto.....	43
2.5.1.1. Relação água/cimento.....	43
2.5.1.2. Trabalhabilidade e consumo de cimento	44
2.5.1.3. Escolha dos agregados.....	46
2.5.1.4. Consumo de cimento	47
2.5.1.5. Traço para aplicação em obra.....	48
2.5.2. Métodos de dosagem	51
2.5.2.1. Métodos de dosagem ABCP/ACI.....	51
2.5.2.2. Método de dosagem IPT/EPUSP.....	55
2.5.2.2.1. Diagrama de dosagem	62
2.5.2.2.1.1. Lei de Abrams	63
2.5.2.2.1.2. Lei de Lyse	64
2.5.2.2.1.3. Lei de Molinari	64
3. METODOLOGIA.....	67
3.1. Estudo qualitativo do concreto produzido em campo.....	67
3.2. Ensaio de compressão.....	72
3.3. Dosagem do concreto em laboratório	74
3.3.1. Dosagem do concreto com brita 1	75
3.3.2. Dosagem do concreto com brita 0	78
3.4. Moldagem dos corpos de prova com concreto.....	81
3.5. Rompimento dos corpos de prova.....	82
3.6. Diagrama de dosagem	85
3.6.1. Diagrama da lei de Abrams	85
3.6.2. Diagrama da lei de Lyse	89

3.6.3. Diagrama da lei de Molinari.....	90
3.7. Curva de inchamento da areia	91
3.8. Cartilha de dosagem do concreto	95
4. RESULTADOS	96
4.1. Dados da aplicação do questionário.....	96
4.2. Dados do ensaio de compressão do concreto coletado.....	101
4.3. Dados do ensaio de compressão do concreto produzido em laboratório.....	102
4.4. Diagrama de dosagem	104
4.5. Curva de inchamento da areia	104
4.6. Cartilha de dosagem do concreto	104
5. DISCUSSÕES	105
5.1. Discussão dos dados da aplicação do questionário.....	105
5.2. Discussão dos dados obtidos através dos ensaios de compressão.....	114
5.2.1. Resistência versus relação água/cimento.....	115
5.2.2. Resistência versus consumo de cimento.....	117
5.2.3. Resistência versus traço dos materiais agregados	118
5.2.4. Resistência versus método de mistura	119
5.2.5. Resistência versus características dos materiais utilizados	119
5.2.6. Resistência versus ordem de inserção dos materiais	120
5.2.7. Exemplar de concreto da obra 10	121
5.2.8. Análise geral da resistência à compressão.....	123
5.3. Discussão acerca da dosagem do concreto	123
5.4. Comparação entre o concreto dosado em laboratório e o coletado em obra	123
5.4.1. Comparação do consumo de cimento com os concretos estudados	124
5.4.2. Comparação da relação entre a água e o cimento com os concretos estudados	126
5.5. Diagrama de dosagem	127
5.5.1. Aplicação do diagrama de dosagem	128

5.5.2. Traços obtidos através do diagrama de dosagem	131
5.6. Comparação dos traços laboratoriais com traços das obras	132
5.6.1 Comparativo relação água/cimento	133
5.6.2. Comparativo consumo de cimento	133
5.6.3. Comparativo soma da massa dos agregados.....	134
5.7. Cartilha de dosagem.....	135
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
APÊNDICE A – Questionário aplicado em obra.....	141
APÊNDICE B – Quadro de imagens: corpos-de-prova de concreto	144
APÊNDICE C – Quadro de imagens: Exemplares de corpos de prova rompidos....	153
APÊNDICE D – Diagramas de dosagem.....	162
APÊNDICE E – Cartilha de dosagem do concreto	165
ANEXO A – Curva granulométrica dos agregados utilizados na dosagem.....	168

1. INTRODUÇÃO

Para Helene & Andrade (2010), o concreto é o material construtivo mais importante da atualidade e pode ser considerado uma das descobertas mais interessantes da história da qualidade de vida da humanidade. Podendo ser, conforme Pedroso (2009), amplamente utilizado em obras de infraestrutura e de edificações de diferentes tipos, devido a sua versatilidade e baixo custo de produção, que, quando atrelado às suas propriedades de resistência à água e aos meios agressivos, além de poder ser confeccionado sob diversas formas, o que gera a liberdade para os projetistas, dá-se um material custo-benefício. Este é o material de construção mais consumido no mundo, estima-se que há a utilização anual de 11 bilhões de toneladas de concreto e que, segundo a *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP, apud PEDROSO, 2009, p. 14), resulta em um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano.

O vasto uso do concreto como material de construção, de acordo com Ribeiro, et al (2016), preocupa os tecnólogos quanto à qualidade do concreto produzido em obras, sendo a resistência mecânica e a trabalhabilidade as características preocupantes. Uma vez que influenciam nas propriedades estruturais mínimas preconizadas pelas normas vigentes. Entretanto, existem diversos fatores que podem modificar o nível de qualidade e as propriedades mecânicas do concreto, dentre elas estão o método de dosagem aplicada; o tipo e a qualidade dos materiais utilizados em sua composição; e o método de produção deste concreto, que pode ser por meios mecânicos (usinado ou betoneira) ou manual.

O concreto produzido em obras correntes da engenharia civil, como obras residenciais de pequeno e médio porte, normalmente, tem seu desenvolvimento de forma manual ou mecânica através do uso das betoneiras. Estes meios de produção induzem à não conformidade dos concretos produzidos, uma vez que não se tem o rigor quanto a medida dos ingredientes utilizados na mistura, principalmente quando se refere a água. Pois, a quantidade de água melhora a consistência do concreto, que o torna mais fácil de ser manuseado por seu executor. De acordo com Santiago (2011), a variação na produção deste material afeta a resistência final, resultando um concreto não conforme, que pode levar à não aceitação ou restrição de uso na estrutura e, em casos extremos, existe a probabilidade da inviabilização da obra.

Desta forma, é relevante desenvolver uma análise qualitativa e quantitativa do concreto produzido em obra, a fim de verificar, em laboratório, a resistência mecânica à compressão dos exemplares coletados deste material, bem como a relação entre a água e o cimento e o consumo de cimento utilizado, para expressar sua conformidade perante os limites mínimos e máximos

estabelecidos pelas normas vigentes que amparam a produção do concreto para fins estruturais, e pontuar, se houver, a má qualidade dos concretos produzidos.

Neste trabalho será exposto, a fundamentação teórica necessária para o pleno entendimento acerca do assunto abordado, desde a conceituação do concreto e a importância de seus componentes, bem como a descrição de dois tipos de dosagem aplicada para o desenvolvimento de traços para concreto. No capítulo posterior é apontado a metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho, detalhando o procedimento de análise do questionário e do traço para que fosse explicitado em forma de tabelas e gráficos as conclusões acerca das informações obtidas, para assim, levantar o resultado final sobre a conformidade e qualidade dos concretos produzidos em obras. Após este estudo, realizar a dosagem para dois traços de concreto, em que se varia a dimensão do agregado graúdo. Este processo será aplicado através da dosagem pelo método IPT, podendo ser desenvolvidos diagramas de dosagem para que exposição em uma cartilha, em que se pode consultar em obras através de uma cartilha, obedecendo os agregados utilizados, bem como apontar, através deste meio de comunicação, cuidados a ter com o material manuseado e como deve ser desenvolvido as misturas, seja ela manual ou mecânica.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivos gerais

Estudo dos concretos produzidos em obras de pequeno e médio porte, na cidade de Varginha, para a constatação da conformidade deste material de construção quanto os parâmetros amparados normativamente e abordados pela literatura, a fim de determinar a influência em sua qualidade final. Desenvolver uma cartilha com dois diagramas de dosagem, a partir do método IPT, analisando os materiais aplicados e produzindo, experimentalmente, os concretos em laboratório, bem como desenvolver a curva de inchamento da areia utilizada para correção posterior dos traços.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Realizar um questionário com os operários, dentre eles serventes, pedreiros, mestres de obra e encarregados, que executaram os concretos;
2. Levantar informações sobre a dosagem do concreto produzido, como o operador chegou ao conhecimento deste traço, motivo de sua aplicação e a finalidade para que

está sendo confeccionado, além de informações sobre o conhecimento específico dos executores;

3. Coletar amostras dos concretos produzidos nas obras em que foram aplicados os questionários, com a utilização da NBR 5738:2015 (Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova);
4. Definir os traços aplicados na preparação do concreto nas obras, a fim de verificar se respeitam os requisitos impostos pela NBR 12655:2015 (Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento);
5. Verificar, comparativamente, a resistência mecânica dos concretos coletados utilizando a NBR 5739:2007 (Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos), a fim de determinar se alcançam a resistência mínima preconizadas pela NBR 8953:2015 (Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência) para concretos estruturais.
6. Após a determinação da conformidade do concreto, desenvolver duas dosagens de concreto através do método IPT. Estabelecendo um traço como base e derivando traços secundários;
7. Estudo laboratorial dos concretos produzidos respeitando os traços definidos, analisando seu abatimento de tronco de cone e a resistência ao longo do tempo, com as idades de 3, 7 e 28 dias;
8. Execução do ensaio de umidade e inchamento na areia, aplicando a NBR 6467:2006 (Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - método de ensaio), para a elaboração da curva que representa essa situação;
9. Elaboração de dois diagramas de dosagem para aplicação em uma cartilha, contendo informações sobre como realizar a dosagem, correção do traço através da curva de inchamento e como se deve executar o concreto;
10. Desenvolvimento de uma cartilha em que é exposto os diagramas de dosagem e como utiliza-los, bem como cuidados a se ter com a manipulação dos materiais e seu método de mistura.

1.2. Justificativa

Apesar do aumento da utilização de concreto produzido em central dosadora de concreto (CDC), onde se tem um material em que há um alto nível de aceitação e possui qualidade controlada, ainda se utiliza, em obras de pequeno e médio vulto, a produção *in loco*,

desenvolvidos de forma manual ou mecânica, devido a quantidade de concreto a ser utilizado e o custo direto para a produção deste material.

Entretanto, a produção do concreto em obra é preocupante devido aos vícios construtivos e aos métodos dedutivos que os operários utilizam para executá-lo. A má qualidade do concreto se dá, por vezes, às questões culturais que envolvem a experiência adquirida com o tempo de trabalho e relutância ao experimentar técnicas inovadoras; vezes pela falta de conhecimento acerca do material a ser produzido e sua relevância para a segurança, qualidade e custo da obra; vezes pela negligência e falta de acompanhamento, durante o processo executivo, pelo responsável técnico e para a supervisão da produção do concreto, realizando uma dosagem com as especificações dos materiais da região e definindo um traço para a produção de um material de qualidade.

Esta pesquisa é relevante por que existem, expresso pela NBR 12655:2015, parâmetros a serem respeitados quanto a produção de concreto *in loco*, sendo estes o consumo de cimento e a relação entre água e cimento, que são importantes serem verificados, uma vez que a conformidade influencia na resistência e na qualidade final deste material de construção, comprometendo a estrutura e a segurança da edificação.

A elaboração de traços de concretos utilizando materiais acessíveis e desenvolvidos utilizando mecanismos que podem ser operados em obras de pequeno e médio porte, e desenvolvendo uma lista para verificações de boas práticas na manipulação dos componentes e do próprio concreto, é um ponto de partida para uma conscientização da importância dos cuidados com esta parte da obra, e seus impactos ao longo do tempo.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho é fundamentado em seis partes principais, em que são elaborados todo o processo para o desenvolvimento deste, bem como seu entendimento, se dividindo nas seguintes seções:

- a) Introdução: parte em que se desenvolve os objetivos para a elaboração do projeto e os resultados que se espera alcançar, bem como o motivo da realização do trabalho (justificativa);
- b) Fundamentação teórica: onde é desenvolvido toda conceituação teórica necessária para o entendimento do que foi elaborado na metodologia, resultados e discussão;

- c) Metodologia: parte em que demonstra como foi desenvolvido o trabalho, como todo projeto de campo e o projeto laboratorial, sendo assim expostos os dados necessários para elaboração de informações;
- d) Resultados: seção em que é transformada todas as informações colhidas em campo e transformadas em dados a fim de criar discussões e conceber o que foi desenvolvido pela metodologia;
- e) Discussões: faz-se necessário, uma vez que dados obtidos pelos resultados de estudos realizados em campo e em laboratório podem ser comparados, a fim de elaborar uma conclusão acerca de tudo o que foi produzido;
- f) Considerações finais: parte final do trabalho, onde é realizado o fechamento e exposição dos fatos finais que foram desenvolvidos ao longo de todo trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o entendimento geral da pesquisa desenvolvida, é necessário fundamentar uma base teórica, a qual serve como referência para o desenvolvimento do trabalho, tais como o concreto e os materiais que o compõe, os estados físicos deste material de construção, ensaios que podem ser realizados tanto com o concreto quanto com os materiais componentes e métodos de dosagem. A conceituação destes materiais, métodos e ensaios é importante para que se tenha o conhecimento para uma leitura e entendimento completo da pesquisa e seus resultados.

2.1. Concreto

O concreto é um material formado pela união entre um aglomerante e água, que dão origem à pasta de cimento, e quando acrescidos dos agregados miúdo e graúdo, que são inertes à mistura, proporcionam um elemento mais eficiente e dão à pasta um aspecto de rocha a medida de seu endurecimento, resultante da reação química que acontece na mistura do cimento e água. A junção destes materiais consolida um sistema bifásico, sendo a parte pasta de cimento uma mistura homogênea irreversível e a pasta de cimento com os agregados formam uma mistura heterogênea. O concreto possui dois estados distintos, sendo estes o estado fresco e o estado endurecido, possuindo características próprias (PETRUCCI, 1998; KOSMATKA et al, 2002; MEHTA & MONTEIRO, 2008).

2.1.1. Concreto no estado fresco

O concreto fresco é o estado em que, segundo a NBR 12655:2015, está completamente misturado, formando uma massa homogênea, e que se encontra em estado plástico ou semifluido. No estado fresco, sua principal característica é ter consistência e trabalhabilidade, de maneira a facilitar o transporte, lançamento e adensamento (BAUER, 1980; CARVALHO & FILHO, 2015).

Neste estado, é necessário atingir o equilíbrio da trabalhabilidade do concreto. No que se refere à esta característica do concreto fresco, Kosmatka (2002) e Carvalho & Filho (2015) afirmam que o conceito deste está relacionado à facilidade de adensamento, consolidação e o grau de resistência à segregação e exsudação, de maneira que os ingredientes não se separem durante o transporte e o lançamento. O grau de trabalhabilidade está conectado à qualidade e as características dos materiais cimentícios utilizados; à consistência do concreto; a granulometria formas e textura superficial dos agregados; à quantidade de ar incorporado; quantidade de água

e sua relação com o cimento na formação da pasta de cimento; temperatura do concreto e ambiente; e suas adições (fíler, escórias e pozolanas). As propriedades da trabalhabilidade são, a consistência, que pode ser definida pelo *slump test* preconizada pela Norma Mercosul (NM) 67:1998 (Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone), a qual define esta propriedade conforme o abatimento do concreto; transporte; lançamento; resistência à segregação e exsudação; e seu acabamento.

2.1.2. Concreto endurecido

O concreto tem seu estado endurecido após o fim da pega, onde já se desenvolveu propriedades mecânicas como a resistência à compressão, durabilidade, impermeabilidade e resistência a abrasão, impacto, tração e sulfatos, que são aprimorados à medida que se passa o tempo. Das características que o concreto endurecido possui, a resistência mecânica possui maior influência prática, que provém da resistência da pasta de cimento endurecido, da aderência entre a pasta e os agregados e a resistência intrínseca dos agregados, devido sua aplicação em elementos estruturais e é o estado onde se verifica a qualidade do material que foi produzido (BAUER, 1980; RODRIGUES, 1984; NEVILLE e BROOKS, 2010).

De acordo com Mehta & Monteiro (2008), qualidades do concreto no estado fresco influenciam na qualidade final do material. Além da relação entre a quantidade de água e cimento utilizado para se desenvolver a mistura que interferem na porosidade do concreto no estado endurecido, fatores como a qualidade da cura com o correto grau de hidratação e o tipo de adensamento realizado, para que não aconteça a segregação dos materiais, contribuem para seu correto desempenho ao longo de sua vida útil.

2.2. Métodos de produção do concreto

Para a produção do concreto, é necessário um método de mistura, que exerce influência direta em sua qualidade final. Esta mistura pode ser realizada de forma manual ou por procedimentos mecânicos que engloba o uso de betoneira e caminhões-betoneira, em caso de centrais dosadoras de concreto. Os métodos de produção manual e por betoneira são os usuais de obras correntes de engenharia, como a utilização de concreto dosado em central é voltado para obras que demandam de grande quantidade de concreto (SOUZA JÚNIOR, 200-; BUENO 2000, SILVA 2010).

2.2.1. Concreto produzido em obra

No que se refere à produção de concreto em obras correntes da engenharia civil, Fonseca, et al (2011) aponta que as obras de pequeno porte da construção civil são pequenas obras com baixo impacto social, que tendem a optar por meios econômicos de construção, como profissionais (encarregados, mestre de obras, pedreiros e ajudantes) sem qualificação, que produzem concreto sem verificação de qualidade e aceitação preconizada pela NBR 12655:2015.

O principal fator do concreto produzido em obra é o método utilizado para a mistura de seus componentes, variando entre o concreto produzido manualmente e mecanicamente. A princípio, para a produção deste material de construção deve ter rigoroso controle em relação à medida dos ingredientes, sendo estabelecida a utilização de padiolas para o consumo de agregados, assegurando a umidade relativa da areia (que influencia no volume de agregado), entretanto esses materiais, a água e os agregados, são medidos por meio de latas que possuem 18 litros e o cimento medido por quilo, utilizando como referência o peso do saco de cimento (50 Kg) (SOUZA JÚNIOR, 200-, p. 23).

De acordo com a NM 79:96 (Concreto – Preparação de concreto em obra), Souza Júnior (200-), Bueno (2000) e Couto, et al (2013), para a produção de concreto com mistura manual, primeiro deve ser preparada uma superfície limpa, lisa, resistente e impermeável para a mistura, podendo ser um piso ou lastro de concreto, superfície de tijolos ou estrado de madeira. O primeiro passo para a produção é o espalhamento da areia em uma camada de 10 a 15 cm preparando um cone com um espaço no topo; em seguida coloca-se o cimento e, com o auxílio de uma enxada, mistura-se até formar um elemento de cor uniforme, repetindo a formação de um cone com abertura; mistura-se a brita no monte, se for trabalhoso a mistura manual do volume total, deve ser separados em dois montes e feito a mistura separadamente, após a obtenção de uma mistura homogênea, juntar as metades; adiciona-se água aos poucos, evitando que escorra da mistura e sendo cauteloso com a quantidade, uma vez que se forme uma massa uniforme. Manualmente não é aconselhável a mistura de uma pasta com volume relativo a um saco de cimento.

O método mecânico, de mistura, em obras de pequeno porte é realizado através da betoneira, um equipamento que possui um tambor que gira em torno de um eixo, que possui espátulas embutidas que ajudam na mistura do concreto, além de ser reversível, ou seja, pode ser esvaziada virando sua boca para baixo. A ordem para a colocação dos ingredientes segue com a brita, metade da água que será utilizada, cimento, areia e o restante da água utilizada. A

mistura do cimento deve ser dada através da quantidade de tempo de mistura ou a quantidade de rotações, sendo necessárias para se obter uma mistura homogênea 20 rotações, equivalente a 1 minuto (NM 79:96; SOUZA JÚNIOR, 200-; BUENO 2000).

2.2.2. Concreto produzido em central

O concreto usinado, ou seja, Concreto Dosado em Central (CDC), é o concreto que possui um controle de qualidade rigoroso, onde é carregado na central, transportado e misturado por caminhões-betoneira, conservando-se no estado plástico e sendo entregue ao consumidor antes do início da pega, com adição de aditivos a fim de preservar sua qualidade após o tempo decorrido (NBR 7212:2012; SILVA, 2010)

De acordo com Silva (2010), a utilização do CDC tem sido crescente no território brasileiro devido a seu custo-benefício, destacando-se a racionalização do processo construtivo, a redução do custo da obra e o aumento da qualidade e resistência do concreto, uma vez que o controle de qualidade e a aceitação do mesmo é refinado com a norma vigente, NBR 7212:2012 (Execução de concreto dosado em central — Procedimento). A compra do CDC se dá a partir da definição de um valor para o abatimento de tronco (plasticidade e trabalhabilidade), diâmetro máximo do agregado graúdo e resistência aos 28 dias, para que assim seja feita a dosagem com as especificações dos materiais utilizados, e definindo um traço que cumpra os requisitos básicos para atender a resistência prevista.

2.3. Materiais componentes e sua influência no concreto

De acordo com Carvalho & Filho (2015), o concreto é produzido a partir da mistura entre cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, podendo conter adições para melhorar seu desempenho, trabalhabilidade e retardar a velocidades que acontecem as reações químicas.

2.3.1. Cimento Portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), este cimento foi criado por Joseph Aspdin, um construtor inglês, que o patenteou em 1824, na Inglaterra. Nesta época em questão, era comum a utilização de pedras de Portland, uma ilha no sul do país, como material de construção. Aspdin registrou o material produzido com o nome Portland, de acordo com sua semelhança, dureza e cor, com estas pedras utilizadas para construção.

O cimento Portland é um material hidráulico pulverulento com propriedade aglomerante, ou seja, quando em contato com a água, ou ar, dependendo de suas características e

propriedades, desenvolve as ligações que promovem sua consistência e trabalhabilidade, tanto em contato com a água quanto com o ar. O aglomerante é desenvolvido a partir da queima do clínquer com uma pequena quantidade de sulfato de cálcio adicionados, sendo o clínquer uma mistura heterogênea entre a moagem da argila com o calcário junto à adição de alumina ou materiais que contenham óxido de ferro (PIANCA, 1979; ABCP, 2002; MEHTA & MONTEIRO, 2008; NEVILLE e BROOKS, 2010).

No que tange a influência do cimento no concreto, Komar (1962) e Rodrigues (1984) afirmam que este é o material mais pulverulento que compõe a mistura e esta característica promove uma grande superfície de contato, proporcionando alta reatividade com a água. A reação do cimento com a água é favorecida no tempo de pega agilizadado; além de maior plasticidade da mistura conforme o crescimento da relação entre a água e o cimento, que, também, proporciona maior coesão da pasta fresca, reduzindo a segregação dos materiais.

De acordo com a ABCP (2002) e Salgado (2012), há no mercado diferentes tipos de cimento para aplicações diversas, podendo ser classificados de acordo com seu tipo, possuindo cinco tipos básicos, separados em cimentos comuns, compostos, de alto-forno e pozolânico. Sendo estes descritos tais quais:

- a) Cimento Portland I (CP I) e Cimento Portland com adição (CP I-S): CP I o cimento comum, de uso geral em edificações convencionais quando não se exige concretos especiais que não há contato com sulfatos do solo ou água subterrânea. Este cimento pode ser encontrado na forma composta, sendo o CP I-S, com a adição de 5% de pozolana;
- b) Cimento Portland II: é um tipo de cimento composto, modificado com adições de escórias, pozolana ou fíler, e possui moderado calor de hidratação. Esta qualidade de cimento é recomendada para o uso em edificações correntes de engenharia civil, sob forma de concreto simples, armado e protendido. Dentre os aditivos que podem conter, estão a escória (CP II-E), que aumenta sua resistência; a pozolana (CP II-Z), que atribui ao concreto a possibilidade de ser empregados em obras comuns, subterrâneas, marítimas e industriais; e fíler (CP II-F), um material pulverulento que melhora a qualidade do concreto utilizado para aplicações gerais;
- c) Cimento Portland III (CP III): é o cimento de alto-forno. Possui maior impermeabilidade e durabilidade quando comparado ao CP I e CP II. Tem baixo

calor de hidratação, sendo ideais para peças de grande porte e em ambientes agressivos;

- d) Cimento Portland IV (CP IV): cimento pozolânico, que é indicado para obras com maior classe de agressividade e esteja em contato com água corrente;
- e) Cimento Portland V (CP V-ARI): cimento com alta resistência inicial, indicada para obras de pequeno a médio porte e confecção de materiais como tubulações, blocos e postes, devido ao alto calor de hidratação, seu tempo de pega e endurecimento são imediatos, tendo, assim, que ser manuseado com maiores cuidados.

Além da classificação do cimento de acordo com sua tipagem (entre os números romanos I e V), também é necessário classifica-lo quanto sua resistência mínima à compressão aos 28 dias, indicados pelos números 25, 32 e 40. O ensaio de resistência à compressão do cimento é realizado de acordo com a NBR 7215:1996 (Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão), que estabelece as condições para a classificação do cimento, onde é desenvolvido corpos de prova e seu rompimento para determinar a classe de resistência, sendo assim, sua nomenclatura indicando seu tipo e sua resistência, como CP II-E 32. De acordo com Salgado (2012), a resistência do cimento interfere na relação entre água e cimento da mistura de concreto e também na resistência inicial do mesmo.

2.3.2 Agregados

Os materiais agregados constituem cerca de 70% da mistura do concreto. São materiais particulados e que não participam da reação entre o cimento e a água, formando a fase heterogênea da mistura. São utilizados para o ganho de volume de massa, que ajuda na redução de custos na obra, visto que, geralmente, são os elementos de valor mais baixo por unidade de volume do concreto. Os agregados promovem qualidades decisivas para o concreto, como a redução da retração (muito evidente na pasta de cimento), no aumento de resistência ao desgaste, contribuem com a massa unitária, módulo de elasticidade e sua estabilidade dimensional. As características do concreto são formadas, fundamentalmente, a partir das propriedades físicas dos agregados, que possuem maior importância do que as propriedades químicas, mesmo assim, as propriedades químicas podem ser reativas, como as reações álcali-agregados (BAUER, 1980; MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Conforme Salgado (2012), os agregados devem ser compostos por grãos de minerais que possuam como características a dureza, compacidade, estabilidade, durabilidade e serem

limpos, não devem conter elementos deletérios. Para a classificação dos agregados, utiliza-se, com maior frequência, a distinção por seu diâmetro.

2.3.2.1 Agregados miúdo

O material utilizado como agregado miúdo é a areia, que possui interferência secundária na mistura, sendo uma das principais influências é dar volume à pasta de cimento e contribuir para sua coesão. Ela pode ser obtida por diversos meios naturais como nos leitos e margens de rios. Mares e minas; e artificialmente pelo britamento de rochas; areias retiradas do mar necessitam de um processo de beneficiamento rigoroso, como as retiradas dos mares e minas, que possuem materiais deletérios em sua composição, pois os sais encontrados nela são prejudiciais para o concreto, e só podem ser utilizadas após a lavagem rigorosa, sendo as que são retiradas de rios e arroios as mais propícias para a utilização no desenvolvimento do material (KOMAR, 1962; PIANCA, 1979; NEVILLE & BROOKS, 2010; SALGADO, 2012)

A areia pode ser classificada quanto suas características geométricas, como areia fina, média e grossa, em função do diâmetro de seus grãos resultantes do ensaio de granulometria. Entretanto, essa caracterização é abordada pela literatura, apresentando diferenças entre autores. Ademais, este agregado possui pequenos diâmetros, abaixo de 4,8 mm. Podem ser caracterizadas entre elas como sendo grossa, passando pela peneira de 4,8 mm e retidas nas de furo de 2,4 mm; médias, passantes da peneira de 2,4 mm e são retidas nos furos 0,6 mm; e finas, que passam pela peneira com furos de 0,6 mm e ficando retidas nas de 0,15 mm (PIANCA, 1979; BAUER 1980; SALGADO, 2012).

Quanto à composição química da areia, as silicosas são as melhores para a utilização, uma vez que a sílica é benéfica ao concreto; areias calcárias com boa resistência, grãos duros e friáveis também podem ser utilizadas sem promover qualidades deletérias; porém as areais argilosas são as mais prejudiciais ao concreto, certo que a argila em grande quantidade interfere na reologia do cimento com a água, torrões de argila e terra possuem elementos deletérios e influenciam na adesão e resistência do concreto, sendo que estas devem ser lavadas até a retirada total desse material ou reduzidas, de acordo com a NBR 7211:2009 (Agregado para concreto – Especificação), à 3%, que é o mínimo aceitável, também deve-se preocupar com a quantidade de impurezas orgânicas, devendo permanecer ao máximo de 10% da composição. Entretanto, a lavagem da areia não é conveniente devido a redução dos finos que a compõem, diminuindo sua compacidade, devendo ser controlado, podendo ser 3% quando o concreto está submetido ao desgaste superficial e 5% quando estiver protegido. Já para agregados

industrializados, podendo ser 3% para agregados expostos à desgaste superficial e 10% para os protegidos (KOMAR, 1962; PIANCA, 1979; NBR 7211, 2009).

O teor de umidade da areia influencia na composição do concreto e no traço ao final da dosagem, uma vez que a umidade afasta os grãos da areia, aumentando relativamente seu volume, em areias finais podem ser aumentados até 30% do volume seco. O inchamento da areia pode fornecer falsas dosagens de concreto, certo que modificado seu volume, podem aparentar um concreto mais rico, enquanto o traço medido em peso pode apresentar-se mais pobre. A granulometria da areia interfere na plasticidade e no consumo de água e cimento, alterando a dosagem. Areias com módulo de finura alto resultam em concretos áridos e que necessitam de maior hidratação por conta de sua superfície de contato, e com pouca aderência; já areias médias e grossas resultam em uma mistura mais áspera, diminuindo o tempo de pega e aumentando a resistência do concreto, também reduz a quantidade de aglomerante e água, por conta da redução de superfície de contato (PIANCA, 1979; RODRIGUES, 1984).

2.3.2.2 Agregados graúdo

O material utilizado como agregado graúdo é a brita, que é obtida através da britagem das pedras de granito, basalto ou quartzo. Este agregado pode ser classificado conforme seu diâmetro, resultante do ensaio de granulometria, sendo classificados entre brita fina, média ou grossa, sendo denominado de brita grossa quando passam pelos furos de 70 mm e ficam retidos nos de 30 mm da peneira do ensaio; média, quando não são passantes na malha de 15 mm, em média possuem diâmetro máximo de 19 mm; e fina, quando são retidos nos furos de 7 mm (PIANCA 1979; SALGADO 2012).

A granulometria do agregado graúdo influencia na resistência do concreto, uma vez que quanto maior o diâmetro da brita, maior será sua capacidade de carga, entretanto, utilizar diâmetros elevados implicam em mudança no consumo de água e cimento, pois reduz a trabalhabilidade, induzindo o operário que o executa manualmente ou pela betoneira, a acrescentar mais água para melhorar a consistência. Outro ponto a ser apontado para a utilização de altos diâmetros são os cálculos estruturais, uma vez que a disposição da armadura pode impedir a boa distribuição deste ingrediente na peça devido ao espaçamento da armadura (PIANCA, 1979; NEVILLE & BROOKS, 2010; SALGADO, 2012)

De acordo com Pianca (1979), a principal influência da brita na mistura de concreto é dado em função da sua forma, que melhora sua resistência. Estas devem possuir formas ligeiramente cúbicas, excluindo agregados com formas laminadas e fragmentos em grande

quantidade. A laminação da brita pode impedir a mistura completa da pasta de cimento, formando bolhas de ar e aglomerantes não misturados. Como a areia, estes agregados devem possuir a porcentagem de torrões de argila controlada, não devendo ultrapassar os valores determinados pela NBR 7211:2009. Esta estabelece que o agregado graúdo pode conter 1% de torrões de argila quando exposto, 2% quando protegido de desgaste superficial e 3% outros tipos de concreto, devendo ser lavadas quando apresentar além dessa porcentagem em sua composição. Os materiais pulverulentos também devem ser controlados ao máximo de 1% da massa do agregado graúdo.

2.3.3. Água de amassamento

De acordo com Salgado (2012) e a NM 137 (Argamassa e Concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland), a água é o material que reage com o cimento formando a pasta de cimento, resultando no endurecimento oriundo das reações químicas que acontecem no contato da água com o cimento. Esta deve ser armazenada de forma que não entre em contato com materiais reagentes, e deve estar isenta de elementos deletérios, tais como barro, óleos, graxas, folhas e galhos.

Este é o material mais importante na mistura do concreto, pois ela proporciona, mesmo em variações pequenas de quantidade, importantes mudanças nas propriedades da massa deste material de construção, como a trabalhabilidade da mistura, e não apenas para hidratar o cimento, quando comparada com outros componentes do mesmo. A relação água/cimento de uma mistura de concreto é a razão entre a massa de água e massa de materiais cimentícios (cimento Portland, cinzas volantes, fíler, sílicas, escórias e pozolanas). A água é fixada de acordo com trabalho que irá ser executado, quando para facilitar a mistura, são postas quantidades excessivas, que podem não se misturar com a quantidade de cimento, causando a exsudação e, quando o concreto endurecido, esta água evapora causando porosidade, bolhas, fissuras e, em geral, diminuindo a resistência da peça (ABRAM 1919; KOMAR, 1962; PIANCA 1979).

A água destinada ao concreto deve ser límpida, pura, doce (provenientes das chuvas, ou fontes ou rios) e estarem em temperaturas convenientes. Águas turvas podem conter terra ou substâncias orgânicas, que quando inseridas ou decompostas na massa de concreto podem gerar sulfatos ou componentes ácidos corroendo o concreto; já águas salgadas possuem sais que são prejudiciais ao concreto; folhas e galhos podem deixar espaços vazios no concreto

endurecido; temperaturas muito altas ou muito baixas aumentam ou retardam o tempo de pega da pasta de cimento (PIANCA, 1979).

2.3.4. Pasta de cimento

No que tange a pasta de cimento, Mehta & Monteiro (2008) afirmam que esta é uma mistura homogênea entre um aglomerante e água, formando um sistema homogêneo irreversível, ou seja, que não se pode obter o aglomerante novamente. Quimicamente, esta mistura é a reação de hidratação dos íons dos elementos constituintes do cimento, gerando, em horas e dias, cristais que formam o concreto endurecido e resistente.

2.3.5 Aditivos

Os aditivos contribuem para a confecção de um concreto com suas propriedades melhoradas, que, de acordo com Neville & Brooks (2010), podem ser escórias, pozolanas, fílers e cinzas volante. As propriedades que eles podem influenciar varia desde a redução e o aumento do tempo de pega; aumento da resistência; redução da quantidade de água colocada; e redução ou aumento do tempo de cura do concreto (utilizados em concreteiras, para sua distribuição e controle).

Conforme exposto pela ABCP (2002), as escórias de alto forno, que são obtidas no processo siderúrgico de produção de ferro-gusa, é o aditivo que, quando em contato com a água, torna-se um material aglomerante. Entretanto, apenas a utilização da escória não se torna viável devido ao alto tempo de reação para se obter resistência, porém, ao adicionar este aditivo à moagem do clínquer, melhoram algumas propriedades do concreto como a durabilidade e a resistência final.

As pozolanas são materiais que podem ser obtidos de rochas vulcânicas, materiais orgânicos fossilizados, alguns tipos de argila queimada em alta temperatura, derivadas da queima de carvão mineral em termelétricas, entre outros. Este material, quando em estado pulverulento, possui propriedade aglomerante diferente dos demais materiais ligantes, sendo que as pozolanas não reagem apenas com a presença de água, sendo necessário a adição de outro aglomerante para que aconteça a reação, proporcionando melhor resistência e impermeabilidade do concreto. As pozolanas são ideais quando moídas junto ao clínquer e o gesso, até certa quantidade (ABCP, 2002).

De acordo com a ABCP (2002), o fíler calcário são materiais carbonáticos derivados de rochas moídas de maneira a ficarem pulverulentos e que possuem carbonato de cálcio em sua

constituição. Este aditivo promove melhor trabalhabilidade à mistura do concreto, pois como possui granulometria fina, aloja-se entre os agregados e a pasta de cimento agindo de maneira a proporcionar melhor deslize das partículas.

2.4. Controle e qualidade do concreto

O controle de qualidade e aceitação do concreto produzido em obras, com mistura manual ou mecanizada, não sendo produzido por concreteira, é preconizado pela NBR 12655:2015 que demonstra como deve ser o procedimento da confecção da mistura, englobando os cuidados necessários com os materiais, o correto armazenamento em obra, dosagem, ensaio e definindo parâmetros que o traço definido deve respeitar em relação a quantidade de materiais utilizado.

2.4.1 Ensaio dos materiais

De acordo com a NBR 12655:2015, para o controle de qualidade e aceitação do concreto, devem ser realizados ensaios nos materiais utilizados além dos ensaios com o concreto no estado fresco e no estado endurecido.

2.4.1.1. Ensaio do concreto no estado fresco

O ensaio realizado com o concreto no estado fresco é o ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, conhecido como *slump test*, preconizado pela NBR NM 67:1998. Este método consiste em determinar a consistência do concreto a partir do abatimento do tronco de cone formado com o equipamento utilizado e medindo, com o auxílio de uma régua, o abatimento da massa, o quanto ela assenta, com a altura original do cone do equipamento. Podendo ter abatimentos de troncos curtos ou altos, alterando assim, a consistência observada. Quando o abatimento é curto, ou seja, possui baixo *slump*, significa que a mistura está rígida, seca e áspera, possui dificuldade para ser adensada e compactada, com risco do agregado gráudo se separar da pasta de cimento, o concreto com baixa consistência possui baixa trabalhabilidade, sendo um fator complicador para misturas realizadas manualmente, exigindo mais água; quando o concreto possui grande abatimento, ou grande *slump*, o concreto está plástico ou fluído, com fácil adensamento ou até mesmo auto adensável e possui boa trabalhabilidade, entretanto concretos fluidos podem acontecer a segregação dos materiais e a exsudação da água, diminuindo assim a qualidade deste juntamente com a resistência final (KOSMATKA, 2002; NBR 12655, 2015).

2.4.1.2. Ensaio do concreto endurecido

A resistência do concreto é a propriedade mais importante no estado endurecido, e este deve ser estimado através do ensaio de compressão preconizada pela NBR 5739:2007 (Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos), a qual estabelece requisitos para o equipamento de compressão tais quais estão os ajustes dos pratos que executam essa força. Ademais, como deve ser realizado o cálculo da resistência, sendo que, para obter esse resultado é necessário dividir a carga de ruptura pela área da face do corpo de prova, que devem ser realizados conforme a NBR 5738:2015 (Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova) (NBR 5739, 2007; NBR 12655, 2015).

Para realizar o ensaio de compressão do concreto, é necessário que seja moldado os corpos de prova, que são exemplares retirados de dosagens experimentais desenvolvidos em laboratório ou para estudo de concretos executados em obras. Para que sejam moldados os corpos de prova, é necessário a utilização da NBR 5738:2015, a qual descreve o modo de preparo, junto com a relação entre o diâmetro e a altura dos exemplares, e principalmente a quantidade de golpes para o amassamento do concreto junto a quantidade de camadas que ele deve ser disposto (NBR 5738:2015).

Como o concreto para estudo laboratorial precisa seguir rigorosamente as datas de rompimento em relação à data de moldagem, a cura destes moldes deve ser feita de maneira diferente da cura convencional, sendo abordada pela NBR 5738:2015. De acordo com Isaia (2007), a cura com água ou imersa do concreto é necessária para que não haja fissuração prematura e permite a reação de hidratação no começo de sua vida útil, sem que aconteça a perda da umidade necessária para que aconteça as reações químicas necessárias e que podem ser difundidas com o meio ambiente, assim, permitindo aumentar a resistência do concreto.

Para desenvolver o ensaio de compressão, é necessário que haja a planificação das faces dos moldes de concreto, sendo que estas podem ser realizadas, conforme NBR 5738:2015, através de uma camada de pasta de cimento cuja resistência seja equivalente ou superior à resistência almejada; pode-se realizar o capeamento com enxofre, sendo esta a opção que fornece a melhor regularização dos exemplares; e, também, existe a possibilidade de realizar a retificação das extremidades com o auxílio de uma lixadeira, sendo que esta deve ser realizada com devido cuidado e atentando ao fato da possível danificação dos corpos de prova. Após a regularização das faces, e realizado o ensaio de compressão, determina-se a resistência à compressão do concreto, a partir da força aplicada no exemplar, utilizando a equação 1.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

f_c é a resistência a compressão do concreto (em MPa);

F é a força resistida (em N);

D é o diâmetro do corpo de prova (em milímetros).

De acordo com Helene & Andrade (2010), outra questão a ser abordada é a resistência nas idades iniciais do concreto, que devem ser verificadas com o ensaio de compressão, para assim modelar um gráfico que demonstra o comportamento do concreto até sua resistência final. Como parâmetro de ordem de grandeza de como ele se comporta, de acordo com a tabela 1, para concretos que tiveram cura úmida entre 21°C a 30°C, expressa em decimais, a qual deve ser multiplicado na resistência final prevista.

Tabela 1- Estimativa de resistência em determinadas idades.

Cimento Portland	Idades, em dias			
	3	7	14	28
CP III	0,46	0,68	0,85	1
CP IV				
CP I	0,59	0,78	0,9	1
CP II				
CP V	0,66	0,82	0,92	1

Helene & Andrade (2010)

2.4.1.3. Ensaio dos agregados

Conforme a NBR 12655:2015, todos os agregados utilizados na composição do concreto feito a partir do cimento Portland, devem atender aos requisitos preconizadas pela NBR 7211:2009. A caracterização dos elementos utilizados na produção do concreto é importante devido às características que são atribuídas a ele após a realização da mistura, uma vez que as qualidades dos agregados influenciam no concreto final (PIANCA, 1979). Dentre os ensaios da areia e da brita, pode-se destacar:

A granulometria, que, a classificação dos agregados quanto sua granulometria é exigida por norma, uma vez que essa característica influencia na compacidade e resistência do concreto, além de aplicações nos métodos de dosagem. O ensaio granulométrico, que deve ser aplicado tanto nos agregados miúdos quanto nos graúdos, e consiste em determinar a porcentagem de cada faixa de diâmetro de um determinado tipo de agregado, utilizando peneiras para a separação dessas faixas. Este ensaio é realizado conforme NBR NM 248:2003 (Agregados - Determinação da composição granulométrica), que preconiza a porcentagem de cada diâmetro

que deve ser aceita para os agregados. De acordo com a norma vigente, conforme a tabela 2 e 3, é demonstrado os valores mínimos e máximos de porcentagem de massa que devem ficar retidas nas peneiras, referente aos agregados miúdos e graúdos, respectivamente. Quando se tratando da tabela dos agregados graúdos, é importante ressaltar que os valores da tabela são determinados em relação à zona granulométrica em que se divide o menor pelo maior diâmetro do agregado graúdo (HELENE & TERZIAN, 1993; NBR 7211, 2009). No anexo A é possível verificar as curvas granulométricas disponibilizada pela pedreira Santo Antônio, juntamente com dados acerca dos agregados disponibilizados;

Tabela 2 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Z. utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Z. utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NBR 7211 (2009)

Tabela 3 - Limites da composição granulométrica do agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0-5
63 mm	-	-	-	-	5-30
50 mm	-	-	-	5-30	75-100
37,5 mm	-	-	-	5-30	90-100
31,5 mm	-	-	0-5	75-100	95-100
25 mm	-	0-5	5-20 ^b	87-100	-
19 mm	-	2-15 ^b	65 ^b -95	95-100	-
12,5 mm	0-5	40 ^b -65 ^b	92-100	-	-
9,5 mm	2-15 ^b	80 ^b -100	95-100	-	-
6,3 mm	40 ^b -65 ^b	92-100	-	-	-
4,75 mm	80 ^b -100	95-100	-	-	-
2,36 mm	95-100	-	-	-	-

^a Zona granulométrica correspondente à menor (*d*) e à maior (*D*) dimensões do agregado graúdo;

^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2). Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.

NBR 7211:2009

Para as substâncias nocivas, conforme a NBR 7211:2009, os agregados devem ser testados quanto a substâncias nocivas que podem estar presentes em sua composição, devendo ser respeitado os limites impostos por normas. Estes elementos são torrões de argila, preconizado pela NBR 7218:2010 (Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis); quantidade de materiais pulverulentos (finos), determinada pela NM 46:2003 (Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem); impurezas orgânicas, prescrita pela NM 49:2001 (Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas), porém se o resultado do ensaio demonstrar que existe elementos orgânicos, deve ser ensaiado de acordo com a NBR 7221:2012 (Agregado — Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas — Método de ensaio) para determinar a quantidade deste elemento e materiais carbonosos, de acordo com a ASTM C 123. A quantidade destes materiais deve respeitar os limites preconizados pela norma, conforme a tabela 4 e 5, respectivos aos agregados miúdo e graúdo;

Tabela 4 - Limites máximos de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo (%)
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218		3,0
Materiais carbonosos	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Materiais finos que passam através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 46	Concreto submetido a desgaste superficial	3,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	5,0
Impurezas orgânicas	ABNT NBR NM 49		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução padrão
	ABNT NBR 7221	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10,0

NBR 7211:2009

Tabela 5 - Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado graúdo.

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa de agregado graúdo (%)
Torrões de argila e materiais friáveis	ABNT NBR 7218	Concreto aparente	1,0
		Concreto sujeito a desgaste superficial	2,0
		Outros concretos	3,0
Materiais carbonosos	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Materiais finos que passam através da peneira 75 µm por lavagem (material pulverulento)	ABNT NBR NM 45		1,0

NBR 7211:2009

Os ensaios para formas dos grãos e desgastes, são aplicados em relação aos agregados graúdos, uma vez que a forma dos grãos deve ser padronizado e deve possuir geometrias adequadas, este é preconizada pela NBR 7809:2006 (Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio). O desgaste do agregado é

ensaiado pelo desgaste por abrasão *Los Angeles*, prescrita na NM 51:2001 (Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "*los angeles*") (NBR 7211, 2009);

A massa específica é determinada através da NBR NM 52:2009 (Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente) e 53:2009 (Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água), sendo respectivos aos agregados miúdos e graúdos, onde são especificados o ensaio para a determinação destes. De acordo com Rodrigues (1984), que descreve o método de dosagem abordado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, denominado ABCP, é necessário ter a massa específica dos materiais que serão utilizados;

A massa unitária e volume de vazios de uma amostragem de agregados é realizado pela NBR NM 45:2006 (Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios). Conforme Bauer (1980), a massa unitária é utilizada para transformar a quantidade de agregados de massa para volume e vice-versa. Para a areia, a massa unitária média é de 1,4 g/cm³ e a massa unitária média da brita é de 1,5 g/cm³;

A absorção de água dos agregados miúdos é determinada com o ensaio apresentado pela NM 30 (Agregado miúdo – Determinação da absorção de água). Ademais, a absorção, de acordo com a NM 30, é a capacidade da água se adentrar nos poros permeáveis presentes no corpo sólido, que possui porosidade;

O inchamento da areia, de acordo com Pianca (1979) e Rodrigues (1984), é a propriedade da areia de absorver umidade, o que promove a alteração de seu volume aparente, que pode gerar erro quando utilizados em métodos de dosagem cujo traço é dado em relação ao volume dos materiais. Este deve ser ensaiado conforme preconizado pela NBR 6467:2006.

Conforme é demonstrado na NBR 6467:2006, o inchamento da areia pode ser determinado através de sua disposição em uma curva, onde o eixo das abcissas é a umidade da areia expressa em porcentagem e o eixo das ordenadas é o coeficiente de inchamento, utilizado para a correção do traço do concreto. Para a modelagem desta curva de inchamento, é necessário ensaiar o agregado em laboratório obedecendo os seguintes passos:

- a) Secar a areia em estufa por 24 horas;
- b) Após este tempo, colocar a amostra em um misturador mecânico e adicionar água até obter o teor de umidade próximos aos valores de: 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%;
- c) A cada adição de água deve ser realizada a medição de sua massa unitária e o preenchimento de capsulas para realização de cálculos;

- d) Com capsulas preenchidas com todos os teores de umidade, são medidas e registradas suas massas (m_i), e colocadas para secagem em estufa por 24 horas;
- e) Decorridas as horas, verificar a massa do agregado seco (m_f);
- f) Após o ensaio, são realizados os cálculos para a determinação do teor de umidade (h) do agregado, de acordo com a equação 2:

$$h\% = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \cdot 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

- h é o teor de umidade (%);
- m_i é a massa inicial da capsula com agregado (em g);
- m_f é a massa seca da capsula com agregado (em g);
- m_c é a massa inicial da capsula (em g).

- g) É determinado, também, o coeficiente de inchamento (V_h/V_s) para cada teor de umidade encontrado, conforme a equação 3:

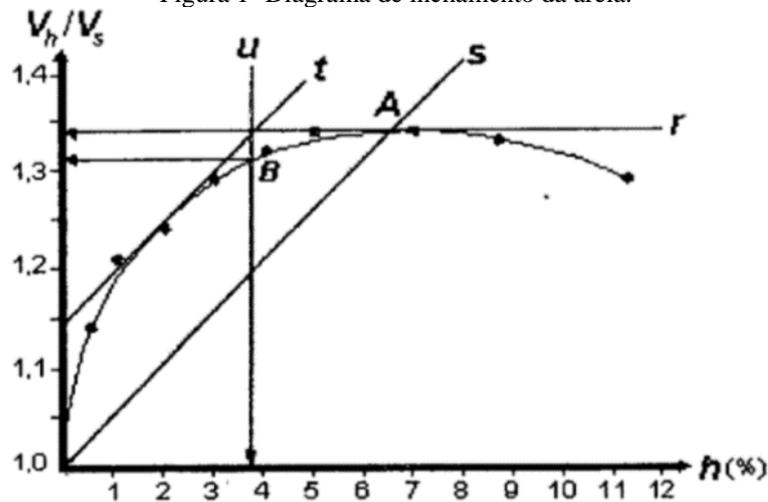
$$\frac{V_h}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

- V_h/V_s é o inchamento da areia (adimensional);
- γ_h é a massa unitária do agregado com referente “h” (em g/cm³);
- γ_s é a massa unitária do agregado seco em estufa com referente “h” (em g/cm³);
- h é o teor de umidade do agregado (%).

- h) Com os resultados obtidos através das equações, é possível montar o gráfico de inchamento da areia, conforme a figura 1.

Figura 1- Diagrama de inchamento da areia.



NBR 6467:2006

2.4.2. Influência do método de mistura

O método utilizado para a mistura do aglomerante, da água e dos agregados varia, podendo ser misturado manualmente ou misturado por meios mecânicos como a betoneira. Ambos os métodos influenciam no resultado final do concreto, ainda considerando a ordem de inserção dos ingredientes colocados, que podem solicitar maior ou menor quantidade de água, porém a variação da ordem implica, também na quantidade de tempo e a velocidade de mistura (KOSMATKA et al, 2002; NBR 12655, 2015).

2.4.3. Aceitação da resistência à compressão do concreto

Conforme preconizado pela NBR 8953:2015 os concretos com finalidade estrutural devem ser iguais ou superiores à classe C20, sendo que os inferiores a essa classificação não podem ser aplicados em peças estruturais, podendo ser utilizados para lastro de concreto, porém devem ser respeitadas as NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) e 12655:2015 para sua produção.

A principal característica do concreto endurecido é a resistência a compressão. De acordo com especificações da NBR 12655:2015, para a aplicação do concreto em obra é necessário que seja realizada a dosagem experimental antes de serem utilizados. Uma vez a necessidade da dosagem do concreto, é necessário o cálculo da resistência prevista para o estado endurecido em certas quantidades de dias (CARVALHO & FILHO, 2015).

O cálculo da resistência característica à compressão por Carvalho & Filho (2015), visa atender as condições de variabilidade que existem na construção, levando em consideração o rigor que se confecciona o concreto. Como o concreto deve ser dosado experimentalmente, existe a necessidade do rompimento de corpos de prova, preconizadas na NBR 5739:2007, em uma determinada quantidade de um mesmo lote, para a verificação da resistência à compressão aos 28 dias (respeitando o tempo de cura). Esta característica é ensaiada pela aplicação de uma carga de maneira rápida, ensaio de curta duração, portanto, a resistência (f_{cj}) é a razão entre a carga de ruptura e a área da seção transversal do corpo de prova utilizado. Após a determinação dos valores de cada peça utilizada no ensaio, é calculado a resistência média à compressão (f_{cm}), que é a média aritmética dos valores de f_{cj} , porém este não é o valor verdadeiro, pois o concreto, em obra, pode sofrer dispersões, devido a isso é adotado a resistência característica do concreto (f_{ck}), que é determinado pela equação 4:

$$f_{ck} = f_{cm} \cdot (1 - 1,645 \cdot \delta) \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

f_{ck} a resistência característica à compressão do concreto;

f_{cm} a resistência média;

δ é o coeficiente de variação que é determinado pela equação 5:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

f_{cm} a resistência média;

f_{ci} a resistência inicial prevista para o concreto;

n é a quantidade de corpos de prova ensaiados.

De acordo com a NBR 12655:2015, para lotes de concreto que possuem quantidades entre 6 e 20 exemplares, a resistência do concreto pode ser estimada de acordo com a equação 6:

$$f_{ck,est} = 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m - 1} - f_m \quad \text{Eq. 6}$$

Em que:

m é $n/2$. Despreza-se o maior valor se for ímpar;

f_1, f_2, \dots, f_m são as resistências dos exemplares, em ordem crescente;

Conforme a NBR 12655:2015, é necessário determinar a resistência de dosagem, ou seja, a resistência que o concreto terá em j dias, estabelecido como 28 dias. Para que se calcule essa resistência necessita-se do desvio padrão da qualidade do concreto, que pode ser determinada através de ensaio com no mínimo 20 corpos de prova, onde pode ser estimado o desvio padrão por meio de ensaios, entretanto este não deve ser menor do que 2 MPa em nenhuma condição. Porém, a norma brasileira estabelece valores conforme a condição de preparo do concreto, quando este parâmetro é desconhecido, que, de acordo com a norma, o concreto pode ser produzido na condição: A, em que o cimento e os agregados são medidos em massa e a água é medida em massa ou volume; B, quando o cimento é medido em massa, a água é medida em volume e os agregados medidos em massa combinada com volume; C, é apenas aplicada para concreto classe 10 e 15, portanto não pode ser aplicado em concretos estruturais. Conforme estabelecido o meio de produção, o valor do desvio padrão (s_d) é determinado pela tabela 6:

Tabela 6 – Desvio-padrão do concreto (s_d).

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

NBR 12655:2015

Definido o valor de desvio padrão, têm-se o valor médio de resistência aos 28 dias pela equação 7:

$$f_{cmj} = f_{ck} + 1,65 \cdot s_d \quad \text{Eq. 7}$$

Em que:

f_{cmj} a resistência média aos 28 dias;

f_{ck} a resistência característica do concreto;

s_d é o desvio-padrão.

Após a realização do cálculo de resistência à compressão do concreto, é possível adequá-lo a uma classe de resistência, que pode ser observado pela NBR 8953:2015 (Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência). De acordo com a tabela 7 é possível verificar as classes de resistências em relação a resistência característica à compressão do concreto.

Tabela 7 - Resistência característica à compressão.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão (MPa)	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

NBR 8953:2015

2.5. Dosagem e traço do concreto

De acordo com Boggio (2000) e Mehta & Monteiro (2008) dosar o concreto é a técnica de definir as quantidades de seus materiais componentes, contrabalanceando as propriedades necessárias com determinados materiais, a fim de garantir as características exigidas para seu estado físico fluido e após seu endurecimento. Quanto mais completo é a experiência e o domínio dos fatores que envolvem o concreto, conhecendo o conceito e as características dos

materiais envolventes, maiores são as chances de satisfazer as necessidades no campo da engenharia civil no parâmetro de qualidade das peças de concreto.

Uma vez que existe grande preocupação na redução de custos na construção civil, a dosagem do concreto, elaborada pelo responsável técnico, visa a racionalização dos materiais a fim de evitar desperdícios e custos adicionais, uma vez que o valor do cimento é maior que a da areia e brita. A dosagem do concreto consiste em desenvolver uma mistura que possua o consumo menor de aglomerante em relação aos agregados para uma mesma quantidade de água, ou seja, é um procedimento que tem como finalidade melhorar a proporção dos elementos mantendo as propriedades e sendo capazes de atender às condições de serviço (BAUER, 1980; TUTIKIAN & HELENE, 2011).

A dosagem do concreto é responsabilidade do técnico, que precisa levar em consideração especificações do concreto endurecido e no estado fresco. As características do concreto endurecido, normalmente, são pré-estabelecidas pelo responsável pela construção e execução de acordo com o projeto estrutural, como a resistência mínima do concreto; condições de exposição, ou seja, classe de agressividade do meio em que o concreto será empregado, tamanho e forma dos elementos de construção, considerando a armadura das peças. Já as propriedades do concreto fresco são definidas por conta da técnica de execução a ser aplicada na edificação, como o método de mistura, transporte, lançamento e adensamento. Embasados nestes dois pontos é possível determinar a composição da mistura, considerando a quantidade de exercício a ser executado em campo pelos trabalhadores. Em geral, a dosagem pode ser definida como o processo de selecionar os materiais adequados para a produção do concreto, determinando a quantidade dos ingredientes com o propósito de produzir um concreto econômico com as propriedades mínimas exigidas, como uma notável trabalhabilidade, força, resistência e durabilidade (HELENE & LANDI, 1992; KOSMATKA et al., 2002; NEVILLE & BROOKS, 2010; YAZIGI, 2011).

O resultado final da dosagem do concreto é fornecer um traço, que consiste na proporção dos ingredientes podendo ser fornecidos em massa, que é um meio difícil de ser aplicado em campo por conta da precisão; e fornecidos em volume, que é a prática mais aplicada em campo devido a utilização de padiolas para que se possam ser medidos o volume dos materiais (RIPPER, 1986). Alguns traços básicos podem ser retirados da literatura, e é aplicado em obras de pequeno vulto, ou seja, obras correntes da engenharia civil como residências de pequeno e médio porte. Ripper (1986) dispõe alguns traços básicos testados em laboratório, que podem ser aplicados em peças de concreto armado, para obras de pequeno vulto, conforme tabela 8.

Tabela 8 - Traços básicos para obras de pequeno porte, em volume.

Consistência	Tipo de concreto	Emprego	Traço			
			Cimento	Areia	Brita	Água/ Cimento
Plástica	Estrutural sem controle tecnológico	Estruturas de pequeno vulto – peças esbeltas	1	1 ^{1/2}	3	0,37
		Estruturas de pequeno vulto – elementos em geral	1	2	3	0,41
		Fundação de residência	1	2	4	0,49
		Fundação de estrutura média – muro de arrimo – piso armado	1	2 ^{1/2}	4	0,53

Ripper (1986)

2.5.1. Parâmetros que influenciam na dosagem do concreto

De acordo com Neville & Brooks (2010), é importante considerar alguns fatores que influenciam na produção de um concreto de boa qualidade e econômico. Os fatores a serem considerados consistem na relação entre a água e o cimento, trabalhabilidade e consumo de água, escolha do agregado e o consumo de cimento.

2.5.1.1. Relação água/cimento

A relação entre a água e o cimento influencia para a obtenção de uma significativa resistência à compressão, sendo necessário que haja o ensaio, de corpos de prova de concreto, aplicando diferentes relações entre os ingredientes considerando os aditivos (NEVILLE & BROOKS, 2010).

De acordo com Neville & Brooks (2010), quando há adição de aditivos como a pozolana e a escória, é necessário que seja revisto o traço desenvolvido pela dosagem. Conforme exposto pela *American Concrete Institute (ACI) 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Revisto em 2009)*, a massa da pozolana é aproximada da massa do cimento Portland, então quando a dosagem é relacionada às massas destes ingredientes não há necessidade de alterar o traço final, considerando a soma da massa do aditivo com a massa do cimento. Entretanto, o volume dos aditivos é maior devido a graduação de seus grãos, ou seja, sua pulverulência, considerando esta alteração deste aspecto, o traço fornecido em relação ao volume é alterado.

Conforme é fornecido pela *ACI 211.1-91 (Revisto em 2009)* e exposto, por Neville & Brooks em seu livro, uma tabela na qual relaciona a relação água/cimento com a resistência à compressão aos 28 dias em MPa. Entretanto, os dados são fornecidos com experimentos realizados com agregados com as dimensões máximas, pois, de acordo com o aumento da relação entre estes dois ingrediente, a resistência à compressão irá diminuir. Esta relação é exposta pela tabela 9, a qual foi simplificada para que fosse direcionada às obras de pequeno vulto nas quais não utilizam ar-incorporado na mistura de concreto.

Tabela 9 - Relação entre água/cimento e a resistência média a compressão do concreto, simplificada.

Resistência média à compressão aos 28 dias (MPa)	Relação água/cimento efetiva, em massa
41,4	0,41
34,5	0,48
27,6	0,57
20,7	0,68
13,8	0,82

ACI 211.1:91 (Revisto 2009)

Entretanto, apesar da especificação da norma americana, a norma brasileira NBR 12655:2015, exige valores máximos, em relação ao fator água/cimento. Os quais são influenciados pela classe de resistência à compressão do concreto e a classe de agressividade do meio em que está inserido, disposto conforme tabela 10.

Tabela 10 - Relação água e cimento (a/c).

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	Concreto armado	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe do concreto (ABNT NBR 8953)	Concreto Armado	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$

NBR 12655:2015

2.5.1.2. Trabalhabilidade e consumo de cimento

A trabalhabilidade desejada depende de dois fatores em que, o primeiro fator é o tamanho da peça a ser concretada e o espaçamento da armação; o segundo é o método de adensamento, que influencia na consistência da mistura. O principal motivo para melhorar a trabalhabilidade do concreto é em relação a quem irá executá-lo, uma vez que o método de mistura solicita trabalhabilidade, sendo que concretos misturados manualmente exigem maior trabalhabilidade devido ao esforço humano, e misturadores mecânicos evitam concretos demasiadamente fluidos (NEVILLE & BROOKS, 2010);

De acordo com Nevile & Brooks (2010), para que se possa melhorar a trabalhabilidade do concreto, este pode ser controlado através do consumo de água, a taxa de agregado miúdo e o maior diâmetro dos agregados graúdo. Para executar essa melhora, pode-se acrescentar água e cimento na mistura, reduzindo o consumo de agregado miúdo e mantendo o consumo de agregado graúdo, mantendo as condições estabelecidas entre a relação entre água e cimento e o consumo de cimento estabelecido pela NBR 12655:2015; outra alternativa para aprimorar a trabalhabilidade, é aplicando aditivos na massa de concreto, também respeitando os limites impostos normativamente.

A medição da trabalhabilidade é realizada através do *slump test*, ou ensaio de abatimento de tronco, preconizado pela NBR NM 67:1998. De acordo com a NBR 8953:2015, têm-se a tabela 11, em que são expostos valores para o abatimento de tronco de cone, para avaliação de sua trabalhabilidade.

Tabela 11 - Abatimentos de tronco de cone sugeridos por norma.

Classe	Abatimento (mm)	Aplicação típica
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimento e elementos de fundação
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armadura

NBR 8953 (2015)

Porém, Ripper (1995) fornece sugestões de valores para abatimento de tronco para certos tipos de peças de concreto, definindo o tipo de consistência, demonstrado pela tabela 12, de maneira simplificada para obras de pequeno porte.

Tabela 12 - Limites impostos, por Ripper, para abatimento de tronco de diversas aplicações do concreto.

Tipos de construções	Consistência (trabalhabilidade)	Tipo de execução do concreto					
		Regular ou razoável. Agregados em volume. Sem ou com controle tecnológico				Rigorous, agregados em peso	
		Sem vibração (mm)		Com vibração (mm)		Com vibração (mm)	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Fundações e muros não armados	Firme	20	40	20	60	10	50
Fundações e muros armados	Firme até plástico	30	80	30	70	20	60
Estruturas comuns	Plásticos	60	80	50	70	40	60
Peças esbeltas ou com excesso de armadura	Mole até plástico	80	110	70	90	60	80
Concreto aparente	Plástico até mole	70	100	60	80	50	70

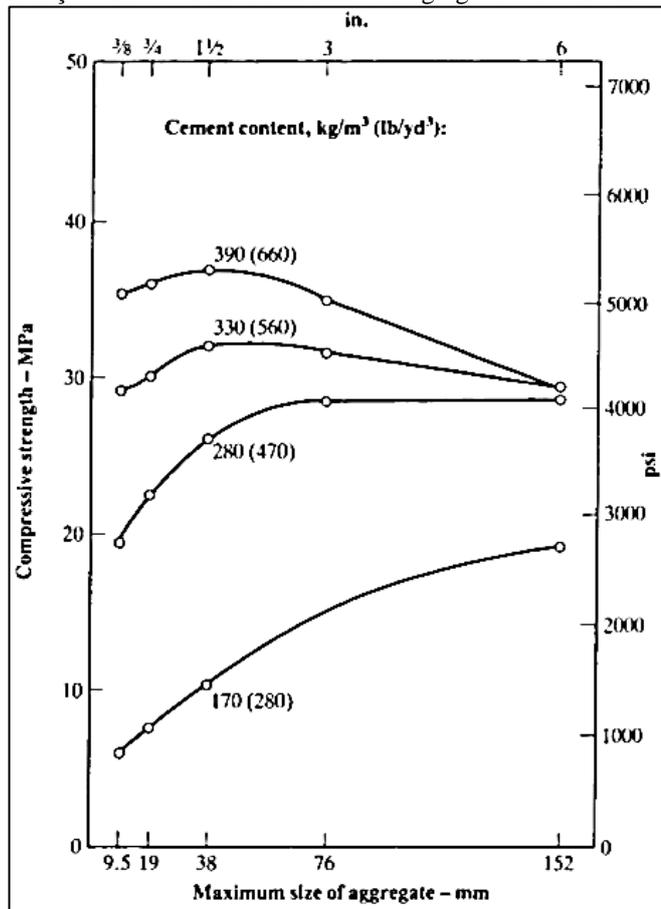
Ripper (1995)

2.5.1.3. Escolha dos agregados

A escolha dos agregados é importante devido ao fato de que o diâmetro escolhido influencia no consumo de água e cimento na massa produzida, produzindo efeito indireto na resistência final do concreto. Ressalta-se que quanto maior o diâmetro do agregado graúdo, mais resistente é o concreto no estado endurecido (NEVILLE & BROOKS, 2010)

Em relação ao diâmetro dos agregados, Neville & Brooks (2010) afirmam que para se produzir um ótimo concreto, a granulometria destes agregados precisa estar dentro da faixa ótima ou ao menos na faixa aceitável estabelecida pela norma vigente. Ressaltando que areias, que possuem alto índice de pulverulência, devem ser evitadas por aumentarem a compacidade do concreto e reduzir a resistência final, enquanto agregados graúdos com diâmetros grandes podem reduzir a consistência e aumentar, conseqüentemente, a quantidade de água no concreto. Conforme a figura (ábaco) 2, é possível ver a interferência da dimensão máxima do agregado graúdo no consumo de cimento da massa de concreto.

Figura 2 - Relação entre o diâmetro máximo do agregado e o consumo de cimento.



Neville & Brooks (2010)

2.5.1.4. Consumo de cimento

O consumo de cimento é definido pela NBR 12655:2015, a qual dispõe o consumo mínimo a ser aplicado para cada lote de produção de concreto, conforme tabela 13. Esta relação é dada através da massa de cimento utilizada na mistura em quilograma em razão do volume de concreto produzido ao todo em metro cúbico, os parâmetros mínimos a serem aplicados é dado em função da classe de resistência do concreto e, também, em relação à classe de agressividade do meio em que será aplicado.

Tabela 13 - Consumo de cimento.

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Classe do concreto (ABNT NBR 8953)	Concreto armado	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto (kg/m³)	Concreto armado e concreto protendido	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

NBR 12655:2015

2.5.1.5. Traço para aplicação em obra

Para aplicação do traço em obra é importante determinar alguns parâmetros e realizar algumas conversões acerca do traço determinado previamente, sendo estes elementos a conversão do traço em massa para traço combinado de massa e volume, alteração da quantidade de água em função do inchamento e absorção de água da areia e a determinação de padriolas para a medição do volume dos materiais.

A conversão do traço em massa para o traço em volume combinado com massa, dá-se pela facilidade de medição em obra, uma vez que a massa do cimento se mantém referente à massa proveniente do saco de cimento, basta multiplicar os demais componentes para saber a quantidade a ser aplicada em volume. Para que haja essa conversão, de acordo com a equação 8, é necessário que haja a divisão do componente areia e brita por sua massa unitária, mantendo-se constante o cimento e a água a ser adicionado (VARELA, 2012).

$$c: \frac{a}{\delta_a} : \frac{b}{\delta_b} : a/c = c: a_v: b_v: a/c \quad \text{Eq. 8}$$

Em que:

c é o traço do cimento em massa;

a é o traço da areia em massa;

b é o traço da brita em massa;

a /c é a relação água e cimento em massa;

δ_a é a massa unitária da areia (kg/dm³);

δ_b é a massa unitária da brita (kg/dm³);

a_v é o traço da areia em volume;

b_v é o traço da brita em volume.

Ainda de acordo com a NBR 6467:2006 e Varela (2012), há a necessidade da correção do volume de areia e água em relação à umidade da areia, uma vez visto que o inchamento da mesma é capaz de aumentar seu volume consideravelmente, e ainda assim, alterar o volume de água a ser adicionado por conta de já existir água embutida na areia. Para essa correção é necessário que saiba o teor de umidade do agregado (h), o volume do agregado para este teor de umidade (V_h), o volume do agregado quando seco (V_s) e seu coeficiente de inchamento (I):

- a) Determinação do volume úmido utilizando a quantidade de areia (em volume) do traço e seu coeficiente de inchamento, conforme equação 9;

$$I = \frac{V_h}{V_s} \therefore V_h = I \cdot V_s \quad \text{Eq. 9}$$

Em que:

I é o inchamento da areia;

V_h é o volume úmido;

V_s é o volume seco, que corresponde ao volume a ser aplicado na mistura;

- b) Determinação da massa seca do agregado, conforme equação 10;

$$M_s = \delta_a \cdot V_s \quad \text{Eq. 10}$$

Em que:

M_s é a massa seca da areia;

δ_a é a massa unitária da areia (kg/dm^3);

V_s é o volume seco, que corresponde ao volume a ser aplicado na mistura;

- c) Determinação da massa úmida da areia, conforme com a equação 11;

$$h = \frac{M_h - M_s}{M_s} \therefore M_h = M_s \cdot (1 + h) \quad \text{Eq. 11}$$

Em que:

h é o teor de umidade relativo à areia;

M_h é a massa úmida da areia;

M_s é a massa seca da areia.

- d) Determinação da massa de água incorporada na massa de areia, de acordo com a equação 12;

$$M_{\text{água,areia}} = M_h - M_s \quad \text{Eq. 12}$$

Em que:

$M_{\text{água,areia}}$ é a massa de água presente na massa úmida de areia;

M_h é a massa úmida da areia;

M_s é a massa seca da areia.

- e) A partir da determinação da quantidade de água presente na areia, é possível determinar a quantidade real de água a ser adicionada à mistura, uma vez que isso corresponde ao inchamento da areia devido a umidade, sendo que isto é determinado pela equação 13.

$$M_{\text{água,corrigida}} = M_{\text{água}} - M_{\text{água,areia}} \quad \text{Eq. 13}$$

Em que:

$M_{\text{água,corrigida}}$ é a quantidade real de água a ser incrementada;

$M_{\text{água}}$ é a quantidade original de água a ser incrementada;

$M_{\text{água,areia}}$ é a massa de água presente na massa úmida de areia.

- f) Ao final, a alteração feita no traço do concreto é a substituição do volume de agregado miúdo seco (a_v) para o volume úmido do agregado miúdo (V_h) e a quantidade de água (a/c) para a massa de água real ($M_{\text{água,real}}$), conforme o traço demonstrado a seguir, pela equação 14.

$$c: V_h: b: M_{\text{água,corrigida}} \quad \text{Eq. 14}$$

Em que:

c é o traço do cimento em massa;

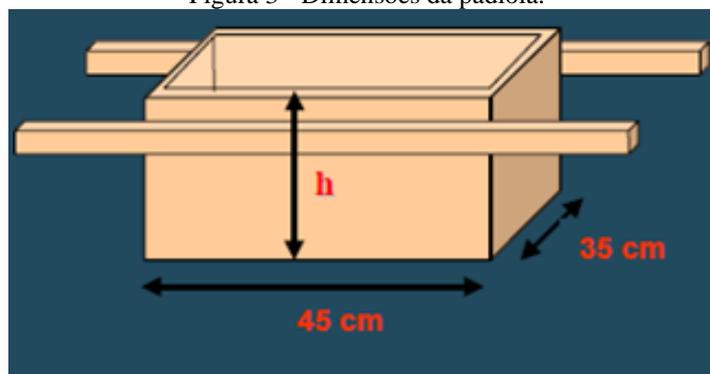
V_h é o volume da areia úmida;

b é o traço da brita em massa;

$M_{\text{água,corrigida}}$ é a massa de água presente na massa úmida de areia.

Outro ponto importante para a aplicação do traço em campo, é determinar o método de medição do volume dos agregados, devido a isso, Varela (2012), indica as padiolas moldadas para cada tipo de elemento seco que são aplicados em volume, ou seja, a areia e a brita. Para o dimensionamento das padiolas, fixa-se as medidas da base em 45x40cm, para assim determinar sua altura em função do volume de cada agregado, conforme demonstrado na figura 3.

Figura 3 - Dimensões da padiola.



Varela (2012)

Para a determinação da altura da padiola a ser utilizada, é necessário conhecer o volume a ser aplicado de areia e brita, conforme o traço utilizado, e as dimensões da base do recipiente, já fixados.

As padiolas utilizadas para a medição da areia ou brita, utiliza-se a equação 15, uma vez que o valor resultante possui a dimensão em decímetros (dm), é importante realizar a conversão para centímetros (cm), multiplicando por 10. Ademais, outro ponto a ser ressaltado, é que devem ser feitas dois recipientes para que não fique difícil de ser transportado os elementos devido seu peso, então o elemento altura é dividido pela metade e assim serão determinadas as duas padiolas.

$$H_{a,b} = \frac{V_{a,b}}{L \cdot C} \cdot 10 \therefore H_{a,b,aplicado} = \frac{H_{a,b}}{2} \quad \text{Eq. 15}$$

Em que:

$H_{a,b}$ é a altura da padiola referente à areia ou à brita (cm);

$v_{a,b}$ é o volume da areia ou da brita aplicado pelo traço;

L é a largura da padiola, definida como 45 cm;

C é o comprimento da padiola definido como 40 cm;

$H_{a,b,aplicado}$ é a altura utilizada para a confecção de duas padiolas (cm), para areia ou brita;

2.5.2. Métodos de dosagem

Conforme Boggio (2000), há diversos métodos de dosagens que podem ser aplicados com os materiais disponíveis no Brasil, levando em conta a divulgação dos métodos pelo renome de seu criador e/ou renome da instituição em que os pesquisadores desenvolveram suas pesquisas, podem ser evidenciados o método de dosagem ABCP e o método IPT, devido a melhor precisão pelo fato de utilizarem informações sobre ensaios que devem ser realizados com os agregados antes de ser aplicados em um traço.

2.5.2.1. Métodos de dosagem ABCP/ACI

Este é o método de dosagem de concreto para obras convencionais, desenvolvido pelo ACI publicado na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com autoria do engenheiro Públio Penna Firme Rodrigues, em 1984, como um estudo técnico intitulado “Parâmetros de Dosagem do Concreto”. Este método baseia-se em aplicar o método de dosagem americano nas condições brasileiras, como a utilização de agregado britado e areia de rios que se enquadram na NBR 7211:2009, considerando a utilização de ábacos derivados de valores experimentais médios (BOGGIO, 2000).

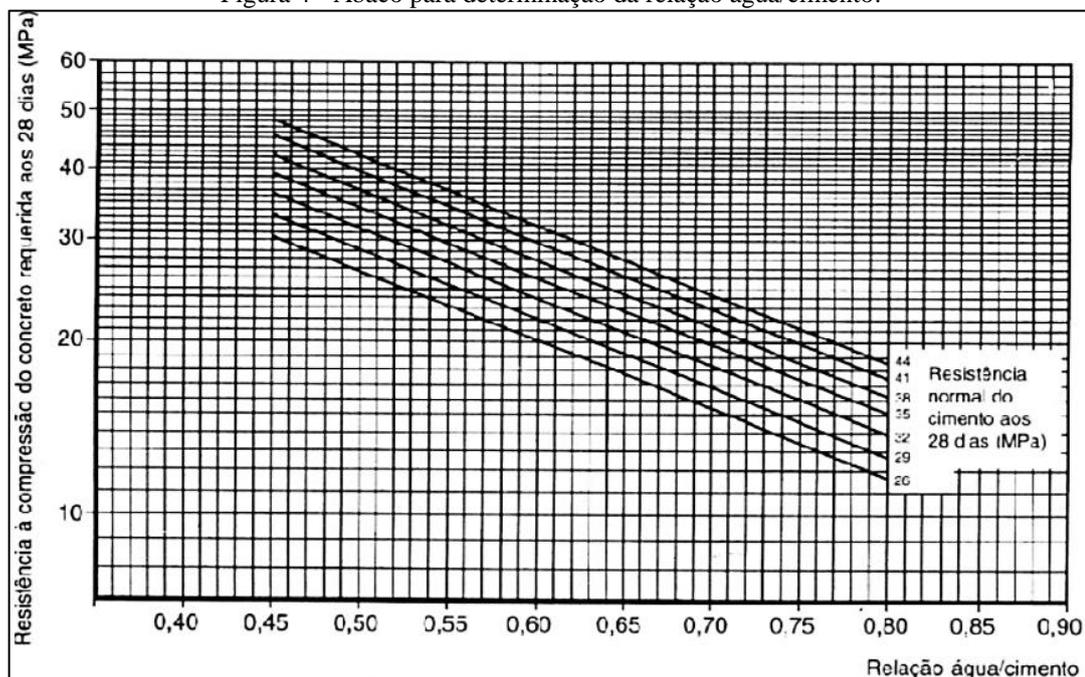
De acordo com Rodrigues (1984), o método se baseia em três etapas:

- a) Necessita-se a caracterização dos materiais disponíveis, determinando, principalmente a resistência à compressão do cimento aos 28 dias; dimensão

máxima característica, massa unitária e absorção dos agregados graúdos; módulo de finura e absorção dos agregados miúdos e a massa real específica de cada material;

- b) Deve-se determinar a propriedade do concreto no estado físico, a plasticidade e as propriedades do concreto endurecido, coeficiente de agressividade e resistência mecânica;
- c) Esta etapa pode ser dividida em cinco partes, levando em consideração as informações das duas primeiras etapas e o consumo de cada material da mistura:
 - i. Fixação da relação água/cimento (a/c): este é definido de acordo com o grau de agressividade meio em que a peça se encontra e a resistência final do concreto endurecido. Pode ser determinado de acordo com a figura (ábaco) 4, utilizando uma das curvas apresentadas, entretanto é necessário conhecer a classe de resistência do cimento utilizada, conforme indicado na legenda;

Figura 4 - Ábaco para determinação da relação água/cimento.



Rodrigues (1984)

- ii. Água estimada por metro cúbico de concreto (C_w): esta deve ser determinada em relação à dimensão característica máxima do agregado graúdo e de sua consistência, levando em consideração o ensaio de abatimento de tronco, a tabela 14 fornece valores aproximados da

estimativa de água, podendo variar de acordo com o material utilizado como agregado graúdo;

Tabela 14 – Consumo aproximado de água.

ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE (mm)	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (mm)			
	9,5	19,0	25,0	32,0
40 a 60	215	185	180	175
60 a 80	220	190	185	180
80 a 100	225	195	190	185

Rodrigues (1984)

- iii. Consumo de cimento: o consumo de cimento (C): o consumo por metro cúbico de concreto é dado pela razão entre o consumo de água (C_w) e a relação água/cimento (a/c), expressa pela equação 16;

$$C = \frac{C_w}{a/c} \quad \text{Eq. 16}$$

Em que:

C é o consumo de cimento;

C_w é o consumo de água;

a/c é a relação água/cimento.

- iv. Consumo de agregado graúdo (C_b): é gerado em função da dimensão máxima característica do agregado graúdo com o módulo de finura da areia. O consumo é dado pela multiplicação entre o volume de brita, demonstrada na tabela 15 pelo valor da massa unitária seca da brita, conforme equação 17;

Tabela 15 – Relação entre a dimensão máxima do agregado graúdo e módulo de finura da areia.

$D_{max}(mm)$	9,5	19,0	25,0	32,0
MF				
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660

Rodrigues (1984)

$$C_b = V_b \cdot M_{unitária} \quad \text{Eq. 17}$$

Em que:

C_b é o consumo de brita;

V_b é o volume de brita;

$M_{unitária}$ é a massa unitária da brita.

- v. Consumo de agregado miúdo (C_a): o consumo deste material é relacionado de acordo com o consumo de cada material com o peso específico de cada um deles, representados pelas equações de volume de areia (V_a) e o consumo de areia (C_a), dispostas nas equações 18 e 19;

$$V_a = 1 - \left(\frac{C}{P_c} + \frac{C_b}{P_b} + \frac{C_w}{P_w} \right) \quad \text{Eq. 18}$$

Em que:

V_a é o volume de areia;

C é o consumo de cimento;

P_c é o peso específico do cimento;

C_b é o consumo de agregado graúdo;

P_b é o peso específico do agregado graúdo;

C_w é o consumo de água;

P_w é o peso específico da água.

$$C_a = M_a \cdot V_a \quad \text{Eq. 18}$$

Em que:

C_a é o consumo de areia;

M_a é a massa específico da areia;

V_a é o volume de areia.

O traço obtido é demonstrado através da relação à massa de cimento, bastando dividir o consumo de brita e areia pelo consumo de cimento, conforme a relação estabelecida a seguir, pela equação 19, além de especificar a relação entre a água e o cimento (RODRIGUES, 1984).

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{a}{c} \quad \text{Eq. 18}$$

Em que:

C_c é o consumo de cimento;

C_a é o consumo de areia;

C_b é o consumo de brita;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

2.5.2.2. Método de dosagem IPT/EPUSP

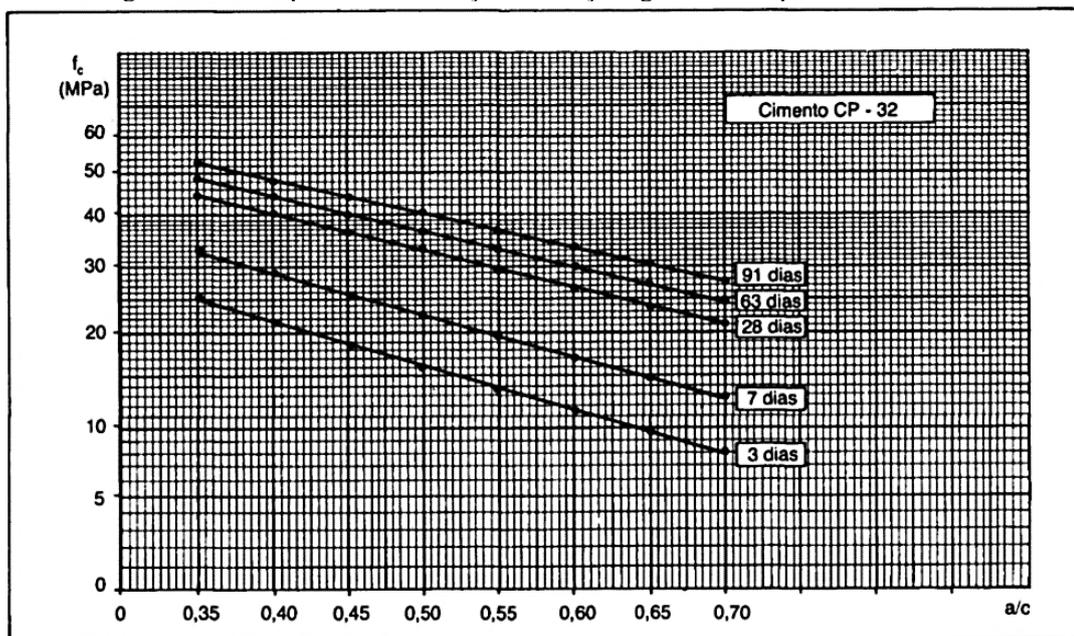
O método de dosagem IPT foi definido pelo Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT) e atualizado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Sendo este um método de dosagem em que se mistura partes experimentais e empíricas, uma vez que para a aplicação deste método é necessária a utilização das denominadas “leis de comportamento”, onde necessita-se utilizar ensaios e realizar dosagens experimentais utilizando materiais da região, e assim construindo um diagrama para se utilizar empiricamente (BOGGIO, 2000). De acordo com Helene & Terzian (1993), autores que aplicam esta dosagem, é necessário conhecer algumas especificações dos materiais a serem utilizados, tais como, do cimento, sua finura e resistência à compressão (classe); do agregado miúdo, o estudo granulométrico, módulo de finura, massa unitária e massa específica; do agregado graúdo, a granulometria, finura, massa unitária e massa específica.

De acordo com Helene & Terzian (1993), para que sejam determinados os traços e o gráfico de definições destes, é necessário estudo prático e aplicação de teoria para sua montagem, conforme a seguinte ordem:

Determinação da resistência característica à compressão, que é demonstrado no projeto estrutural;

Definição da relação entre a água e o cimento. De acordo com o método, deve-se aplicar a *lei de Abrams*, a qual fornece uma fórmula relacionando a resistência característica à compressão e constantes que são propriedades dos materiais. Entretanto, Helene & Terzian (1993), definiram ábacos para a verificação, aplicados para cimento com classe de resistência CP-32, variando conforme os aditivos colocados. A figura 5 representa o ábaco referente ao cimento simples;

Figura 5 - Ábaco para a determinação da relação água/cimento para cimento CP-32.



Helene & Terzian (1993)

Definido a relação água/cimento, de acordo com os autores Helene & Terzian (1993), é importante anotar, em um quadro resumo, as características básicas do concreto, conforme tabela 16;

Tabela 16 - Resumo das características básicas do concreto.

Itens	Definições
Número da dosagem	
f_{ck} (projeto) – MPa	
Elementos estruturais em que o concreto será aplicado	
Espaçamento entre as barras de aço	Crítico Predominante
D _{máx} do agregado graúdo	
Abatimento adotado (mm)	
Cimento; marca, tipo e classe	
Relação água/cimento	
Desvio padrão da dosagem (MPa)	
Resistência da dosagem (MPa)	
Relação água/cimento de dosagem	
Idade de ruptura dos corpos de prova (dias)	
Estimativa de perda de argamassa no sistema de transporte e lançamento do concreto (%)	
Traço (1:m) para a primeira mistura experimental (Kg/Kg)	1:5,0
Obra:	Data:

Helene & Terzian (1993)

Após a fixação da relação a/c, é determinado o teor de água (H%) de acordo com a tabela 17;

Tabela 17 - Teor de água na mistura de concreto.

D_{máx}	H (%)		
	Vibração manual	Vibração moderada	Vibração mecânica
9,5	11,0	10,0	9,0
19,0	10,0	9,0	8,0
25,0	9,5	8,5	7,5
38,0	9,0	8,0	7,0
50,0	8,5	7,5	6,5

Helene & Terzian (1993)

Com a fixação do teor de água, é possível determinar a relação da massa de agregados, com base na lei de Lyse, uma vez que o teor de água é fixado, conforme a equação 19;

$$H(\%) = \frac{a/c}{1 + m} \cdot 100 \quad \text{Eq. 19}$$

Em que:

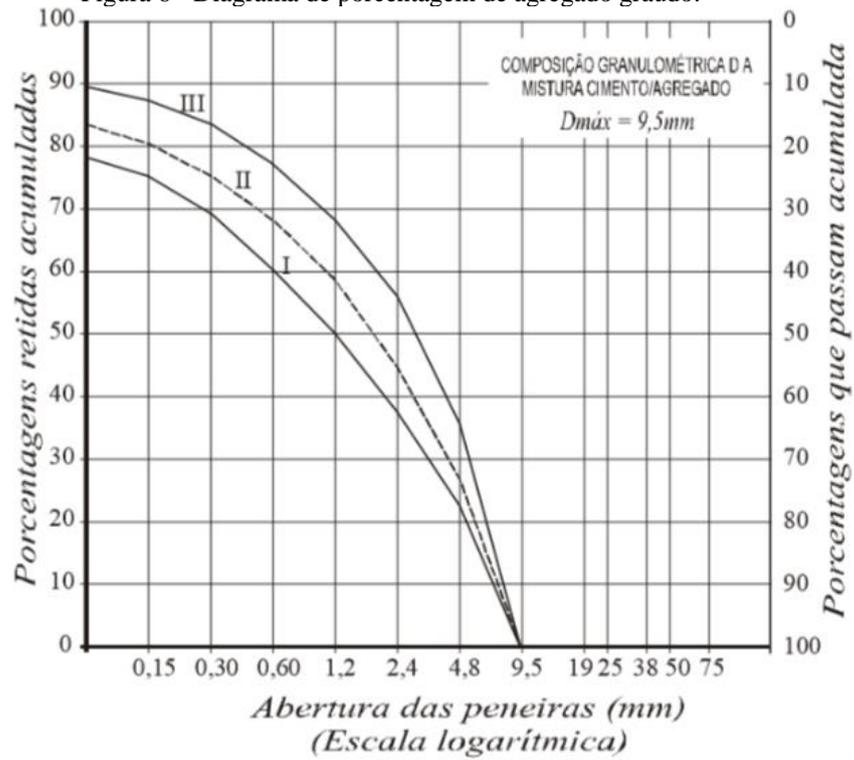
H é o teor de água;

a/c é a relação entre água e cimento;

m é a quantidade de mistura seca da massa.

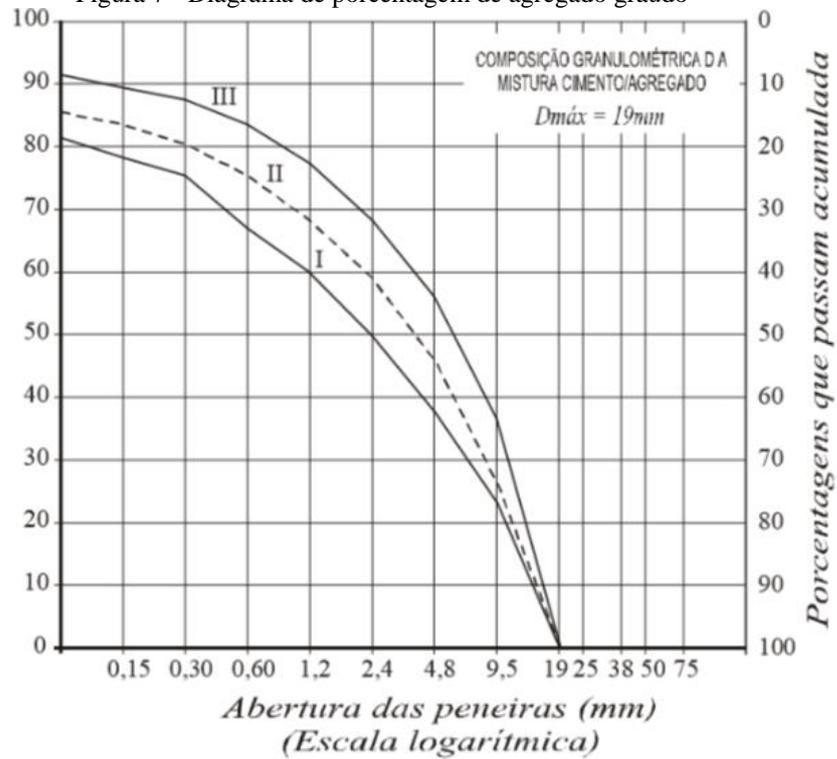
Determinados a quantidade de mistura seca na massa, é realizado o desdobramento dessa mistura em areia, cimento e pedra, entretanto, para que aconteça esse desdobramento é necessário utilizar os diagramas fornecidos por Carneiro (1953), que desenvolveu diagramas para a análise desta relação, conforme figura 6 e 7, referentes às pedras com D_{máx} de 9,5 mm e 19,0 mm;

Figura 6 - Diagrama de porcentagem de agregado graúdo.



Carneiro (1953)

Figura 7 - Diagrama de porcentagem de agregado graúdo



Carneiro (1953)

Após a determinação da porcentagem de agregado graúdo (pedra) na mistura, é determinada a quantidade de cimento aplicando a equação 20;

$$\%Cimento = \frac{1}{1 + m} \cdot 100 \quad \text{Eq. 20}$$

Em que:

%Cimento é a porcentagem de cimento na mistura;

m é a quantidade de mistura seca da massa.

Definido a porcentagem de cimento, pode-se determinar a quantidade de areia que a mistura irá conter quando se aplica a equação 21.

$$\%Areia = 1 - \%Pedra - \%Cimento \quad \text{Eq. 21}$$

Em que:

%Areia é a porcentagem de areia na mistura;

%Pedra é a porcentagem de pedra na mistura;

%Cimento é a porcentagem de cimento na mistura.

Preenchida a tabela 16, é realizado o estudo experimental definindo três traços bases fixados por Helene & Terzian (1993), sendo estes 1:m (cimento/soma das massas dos agregados), sendo este o traço piloto; 1:(m-1), denominado traço rico; e 1:(m+1), denominado traço pobre;

Definição do teor ideal de argamassa, de forma experimental, seguindo os seguintes passos:

- a) Imprimir na betoneira o traço 1:m e a/c;
- b) Introduzindo os materiais seguindo 80% da água, 100% da brita, 100% da areia, 100% do cimento e os 20% restantes da água;
- c) Após a mistura realizada do concreto é verificado o teor ideal de argamassa:
 - i. Com a betoneira desligada, retirar a pá e deitar a betoneira;
 - ii. Acumular todo o concreto na parte inferior da betoneira;
 - iii. Alisar o concreto com a colher de pedreiro e analisar se a massa se demonstra lisa ou com porosidades;
 - iv. O concreto deve ficar liso e, ao virar a colher verticalmente, o concreto deve escorrer e permanecer uma fina camada na colher;
 - v. Apertar o concreto verticalmente na massa de concreto, este deve permanecer estável com a forma em que foi imprimida;
 - vi. Moldagem do tronco de cone, verificar o abatimento. Após bater suavemente, com a haste de adensamento, na lateral do cone de concreto

para verificar o assentamento, que deve acontecer homogêneo sem se despedaçar;

- vii. As faces laterais devem ser lisas e isenta de vazios;
 - viii. Verificar se há vazamentos oriundos da mistura, o que demonstra quantidade a mais de água, caracterizando exsudação;
 - ix. Com o teor ideal de argamassa fixado, é possível definir que a taxa de perda está entre 2% a 4%.
- d) O teor de argamassa deve ser corrigido adicionando cimento e areia, mantendo a quantidade de agregado graúdo inalterado, conforme é demonstrado na tabela 18;

Tabela 18 - Acréscimo de areia e cimento na mistura experimental.

Teor de argamassa (%)	Traço	Quantidade de areia		Quantidade de cimento	
		Massa total	Acréscimo	Massa total	Acréscimo
35	1:1,10:3,90	8,46	-	7,69	-
37	1:1,22:3,78	9,68	1,22	7,94	0,25
39	1:1,34:3,66	10,99	1,31	8,20	0,26
41	1:1,46:3,54	12,36	1,37	8,47	0,27
43	1:1,58:3,42	13,86	1,50	8,77	0,30
45	1:1,70:3,30	15,45	1,59	9,09	0,32
47	1:1,82:3,18	17,17	1,72	9,43	0,34
49	1:1,94:3,06	19,02	1,85	9,80	0,37
51	1:2,06:2,94	21,02	2,00	10,20	0,40
53	1:2,18:2,82	23,19	2,17	10,64	0,44
55	1:2,30:2,70	25,55	2,36	11,11	0,47
57	1:2,42:2,58	28,14	2,59	11,63	0,52
59	1:2,54:2,46	30,98	2,84	12,20	0,57
61	1:2,66:2,34	34,10	3,12	12,82	0,62
63	1:2,78:2,22	37,57	3,47	13,51	0,69
65	1:2,90:2,10	41,43	3,86	14,29	0,78

Helene & Terzian (1993)

- e) Após a definição do teor ideal de argamassa, deve ser determinado o fator entre água e cimento, consumo de água, massa específica do concreto fresco e o abatimento do tronco de cone;
- f) Moldagem de 7 exemplares de corpo de prova de concreto, sendo estes para rompimento nas idades de 3 dias (1 corpo de prova), 7 dias (1 cp), 28 (2 cp), 63 (2 cp) e 91 (1 cp).

Definido o traço que possui o teor ideal de argamassa, é importante produzir os traços auxiliares, para a montagem do diagrama de dosagem. Este são definidos com diferença de 1,5

unidades do traço piloto, devendo manter o teor de argamassa original, conforme o seguinte passo. Porém, Helene & Terzian (1993) definiram os possíveis traços utilizando a tabela de correção do teor ideal de argamassa, conforme pode ser visto, uma exemplificação, na tabela 19:

a) Traço rico, seguindo a medida de 1:3,5 (1:m), de acordo com a equação 22:

$$a_r + p_r = 3,5$$

$$\frac{1 + a_r}{1 + a_r + p_r} = \alpha \rightarrow \begin{matrix} a_r = \alpha(1 + 3,5) - 1 \\ p_r = 3,5 - a_r \end{matrix} \quad \text{Eq. 22}$$

Em que:
 a_r é massa de areia;
 p_r é a massa de pedra;
 α é o teor de argamassa.

b) Traço pobre, seguindo a medida de 1:6,5 (1:m), conforme equação 23:

$$a_p + p_p = 6,5$$

$$\frac{1 + a_p}{1 + a_p + p_p} = \alpha \rightarrow \begin{matrix} a_p = \alpha(1 + 6,5) - 1 \\ p_p = 6,5 - a_p \end{matrix} \quad \text{Eq. 23}$$

Em que:
 a_p é massa de areia;
 p_p é a massa de pedra;
 α é o teor de argamassa.

Tabela 19 - Definição dos traços auxiliares - exemplificação.

Teor de argamassa (%)	Traço 1:3,5	Traço 1:5,0	Traço 1:6,5
	Traço unitário individual rico (1:a _r :p _r)	Traço unitário individual normal (1:a _n :p _n)	Traço unitário individual pobre (1:a _p :p _p)
37	1:0,67:2,83	1:1,22:3,78	1:1,78:4,72
39	1:0,76:2,74	1:1,34:3,66	1:1,93:4,57
41	1:0,85:2,65	1:1,46:3,54	1:2,08:4,42
43	1:0,94:2,56	1:1,58:3,42	1:2,23:4,27
45	1:1,03:2,47	1:1,70:3,30	1:2,38:4,12
47	1:1,12:2,38	1:1,82:3,18	1:2,53:3,97
49	1:1,21:2,29	1:1,94:3,06	1:2,68:3,82
51	1:1,30:2,20	1:2,06:2,94	1:2,83:3,67
53	1:1,39:2,11	1:2,18:2,82	1:2,98:3,52
55	1:1,48:2,02	1:2,30:2,70	1:3,13:3,37
57	1:1,57:1,93	1:2,42:2,58	1:3,28:3,22
59	1:1,66:1,84	1:2,54:2,46	1:3,43:3,07
61	1:1,75:1,75	1:2,66:2,34	1:3,58:2,92
63	1:1,84:1,66	1:2,78:2,22	1:3,73:2,77

Helene & Terzian (1993)

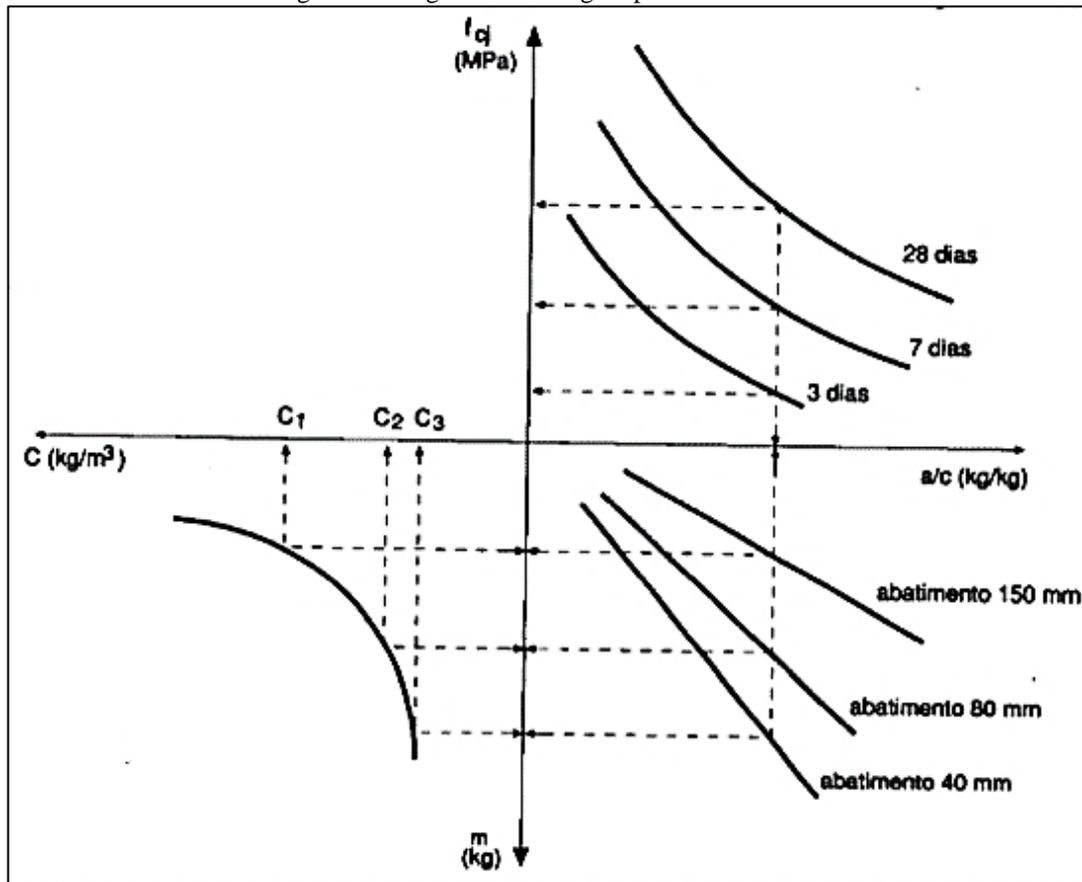
- c) Com os traços definidos, deve ser determinado o fator entre água e cimento, consumo de água, massa específica do concreto fresco e o abatimento do tronco de cone, bem como preencher a tabela 16;

2.5.2.2.1. Diagrama de dosagem

Para a confecção do diagrama de dosagem, é necessário obter resultados de acordo com as leis de comportamento do concreto, sendo estas, de acordo com Helene & Terzian (1993), a *lei de Abrams*, a *lei de Lyse* e a *lei de Molinari*.

O diagrama de dosagem é demonstrado pela figura 8, onde se tem, no segundo quadrante, a *lei de Abrams*, no terceiro quadrante a *lei de Lyse* e no quarto quadrante, a *lei de Molinari*. As relações estabelecidas são: relação a/c e a força de resistência à compressão; relação a/c e a massa de agregado, determinando o abatimento de tronco de cone; e a relação da massa dos agregados para determinar o consumo de cimento.

Figura 8 - Diagrama de dosagem pelo método IPT.



Helene & Terzian (1993)

2.5.2.2.1.1. Lei de Abrams

De acordo com Abrams (1919), a lei de resistência do concreto pode ser definida pela equação 24, onde se tem a força resistida do concreto (f_c), em função de k_1 e k_2 , que são constantes que mudam de acordo com as propriedades do concreto, podendo ser o consumo de cimento, diâmetro máximo dos agregados e consistência relativa, também em relação ao fator água e cimento (a/c).

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \quad \text{Eq. 24}$$

Em que:

f_c é a resistência do concreto;

k_1 e k_2 são constantes que variam de acordo com o concreto;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

Helene & Terzian (1993), de maneira empírica, definiram algumas equações para a força do concreto na idade de 3, 7 e 28 dias, conforme demonstrado nas equações 25, 26 e 27, respectivamente.

$$f_c = \frac{79,4}{25,9^{a/c}} \quad \text{Eq. 25}$$

Em que:

f_c é a resistência do concreto;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

$$f_c = \frac{86,8}{14,9^{a/c}} \quad \text{Eq. 26}$$

Em que:

f_c é a resistência do concreto;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

$$f_c = \frac{92,8}{7,9^{a/c}} \quad \text{Eq. 27}$$

Em que:

f_c é a resistência do concreto;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

Entretanto, como Abrams (1919) expõe, o modelo matemático depende das propriedades dos materiais, ainda que, assim, é necessário determinar a equação para cada tipo de concreto produzido obedecendo sua progressão do crescimento do concreto e a variação da relação entre

a água e o cimento. De acordo com Helene & Terzian (1993), com a aplicação dos mínimos quadrados pode-se determinar as constantes k_1 e k_2 .

2.5.2.2.1.2. Lei de Lyse

Conforme exposto por Helene & Terzian (1993), a equação que determina a *lei de lyse* é representada pela equação 28, onde se tem a massa de agregados (areia somado à brita) em função de constantes k_3 e k_4 que são determinadas a partir de características do concreto e a relação entre a água e o cimento.

$$m = k_3 + k_4 \cdot a/c \quad \text{Eq. 28}$$

Em que:

m é a soma dos agregados;

k_3 e k_4 são constantes que variam de acordo com o concreto;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

Ao se analisar a equação de teor de água na mistura de concreto, isolando o termo “ m ”, que se refere à soma dos agregados, tem-se um modelo matemático que segue o padrão descrito na equação 26. O esquema apresentado na equação 29 expõe essa condição, onde o termo que multiplica o fator água e cimento é k_3 e a constante “-1” é k_4 (HELENE & TERZIAN, 1993).

$$H = \frac{a/c}{1 + m} \therefore m = \frac{1}{H} \cdot (a/c) - 1 \quad \text{Eq. 29}$$

Em que:

m é a soma dos agregados;

H é o teor de água na mistura de concreto;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

2.5.2.2.1.3. Lei de Molinari

Com os dados obtidos pelos estudos experimentais, pode-se obter, pela *lei de Molinari*, dados para completar o diagrama de dosagem, estabelecendo o consumo de cimento para cada traço definido, sendo que este é definido pela seguinte equação 30, 31 e 32:

$$1:3,5 - 1:a_r:p_r:(a/c)_r \rightarrow C_r = \frac{\gamma_r}{1 + a_r + p_r + (a/c)_r} \quad \text{Eq. 30}$$

$$1:5,0 - 1:a:p:(a/c) \rightarrow C = \frac{\gamma}{1 + a + p + (a/c)} \quad \text{Eq. 31}$$

$$1:6,5 - 1:a_p:p_p:(a/c)_p \rightarrow C_p = \frac{\gamma_p}{1 + a_p + p_p + (a/c)_p} \quad \text{Eq. 32}$$

Em que:

a_r, a_p, a são as massas de areia;

P_r, p_p, p são as massas de pedra;

a/c é a relação entre a água e o cimento

γ é o peso específico.

Após a definição dos consumos de cimento, a partir da fórmula disposta pela *lei de Molinari*, é possível realizar uma correlação e definir o consumo a ser utilizado no diagrama, conforme as equações 33, 34 e 35, fornecida pelos autores Helene & Terzian (1993):

$$C_r = \frac{1000}{K_5 + K_6 + 3,5} \quad \text{Eq. 33}$$

$$C = \frac{1000}{K_5 + K_6 + 5,0} \quad \text{Eq. 34}$$

$$C_p = \frac{1000}{K_5 + K_6 + 6,5} \quad \text{Eq. 35}$$

Definindo, pela equação 36, que:

$$K_5 = Q - K_6 \cdot 5,0 \quad \text{Eq. 36}$$

Onde “Q” é definido pela equação 37:

$$Q = \frac{1000}{3} \left(\frac{1}{C_r} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C_p} \right) \quad \text{Eq. 37}$$

E “K₆” pela equação 38:

$$K_6 = \frac{100}{0,3} \left(\frac{1}{C_p} - \frac{1}{C_r} \right) \quad \text{Eq. 38}$$

Em que:

C_r é o consumo de cimento do traço rico;

C é o consumo de cimento do traço normal;

C_p é o consumo de cimento do traço pobre;

K₅ e K₆ são coeficientes determinados.

3. METODOLOGIA

Constitui como objeto de estudo desta pesquisa o concreto produzido em obras correntes da engenharia civil, ou seja, obras residenciais de pequeno e médio porte, na cidade de Varginha, em Minas Gerais. Para preservar, de maneira ética, a privacidade dos operadores, engenheiros civis e arquitetos, as obras serão denominadas, como caráter meramente indicativo, de “Obra 1”, “Obra 2”, “Obra 3” seguindo até “Obra 15”, escusando a necessidade de identificações particulares de cada uma das obras e dos responsáveis que responderam o questionário apresentado.

3.1. Estudo qualitativo do concreto produzido em campo

O primeiro passo para a realização da pesquisa em campo foi o desenvolvimento de um questionário a ser aplicado com as pessoas que executaram o concreto em obra, como pode ser verificado no apêndice A. Este questionário tem como objetivo alcançar informações sobre o concreto produzido, uma vez que é perguntado qual a peça que será confeccionada, quem definiu o traço, o motivo de sua utilização e o processo de sua execução, além de informações sobre o conhecimento do operador como a resistência prevista e a função que os agregados e a água desempenham no concreto, outro aspecto pesquisado foi o traço que foi utilizado no desenvolvimento da massa. Estas perguntas estão relacionadas, de maneira simplificada, na tabela 20.

Tabela 20 – Perguntas do questionário aplicado em campo.

PERGUNTAS
Qual a sua função na obra?
Para qual finalidade está sendo feito o concreto?
Quem definiu o traço do concreto?
Por que a utilização deste traço?
Como chegou ao conhecimento de que este traço funciona?
Você sabe a resistência do concreto que está produzindo?
Como o concreto foi desenvolvido: Materiais utilizados e suas características (tipo de brita e areia); quantidade destes materiais postos e a ordem de inserção deles na mistura.
Método de mistura;
Você sabe qual a importância dos agregados na composição do concreto?
Você sabe o que pode acontecer com o excesso ou a falta de água no concreto?

O autor

Para a aplicação deste questionário, foram apontadas algumas obras de maneira aleatória e pontual, sendo estas aquelas que estivessem produzindo concreto no momento da pesquisa, em diversos bairros da cidade de Varginha. Como critério, foi definido que o concreto deveria

ter finalidade estrutural produzido *in loco* com a mistura manual, figura 9 ou mecânica, figura 10, e que pudesse ser coletado uma amostra de concreto para a realização do ensaio de compressão.

Figura 9 - Concreto produzido manualmente.



O autor

Figura 10 - Concreto sendo produzido por meio mecânico.



O autor

Após a realização das perguntas ao executor do concreto, é feita a coleta de uma amostra da mistura. A NBR 5738:2015 preconiza como é o procedimento para a moldagem dos corpos de prova, determinando, através das medidas dos moldes, as camadas que devem ser colocadas no recipiente e o número de golpes aplicados para o adensamento da mistura de concreto, variando as medidas entre o método de adensamento, podendo ser realizados à mão ou por meios mecânicos, a fim de compactar de maneira ideal os exemplares, sem ocorrer a segregação dos materiais. Utilizando a norma, foram desenvolvidas as moldagens da seguinte forma:

- a) Os moldes utilizados na pesquisa foram disponibilizados pelo Centro Universitário do Sul de Minas (UNIS-MG), do laboratório de pesquisa de materiais de construção. Possuindo diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm;
- b) De acordo com a NBR 5738:2015, os moldes devem ser revestidos com material lubrificante, o qual tem como função facilitar a remoção dos exemplares sem que os danifiquem. Para a pesquisa foram utilizados óleo para lubrificação de máquinas e vaselina;
- c) A norma brasileira dispõe, em sua resolução, a quantidades de camadas de concreto que devem ser postas no molde, em relação a variação dos diâmetros das bases dos exemplares, bem como o número de golpes para seu adensamento, em função do método que será aplicado. No trabalho, em relação a medida do diâmetro da base dos moldes, a massa produzida foi colocada em duas camadas, sendo golpeada 12 vezes em cada camada, para o método de adensamento manual, com uma haste de metal. O adensamento foi realizado sem que relasse no fundo do recipiente e sendo cuidadoso para que não ultrapassasse demasiadamente entre uma camada e outra.
- d) Após a confecção dos moldes, evitou-se deslocamentos prolongados e agitação, para que não acontecesse a segregação dos materiais. O molde repousou na obra por 24 horas, o tempo necessário de cura para a desforma. Conforme demonstrado na tabela 21, onde é demonstrada as datas de coleta para cada exemplar de concreto.

Tabela 21 - Data de coleta das amostras de concreto.

CORPO DE PROVA	DATA DA COLETA
Obra 1	17/04/17
Obra 2	17/04/17
Obra 3	17/04/17
Obra 4	17/04/17
Obra 5	17/04/17
Obra 6	18/04/17
Obra 7	25/04/17
Obra 8	18/04/17
Obra 9	18/04/17
Obra 10	20/04/17
Obra 11	25/04/17
Obra 12	25/04/17
Obra 13	26/04/17
Obra 14	26/04/17
Obra 15	26/04/17

O autor

Decorridas 24 horas do processo de moldagem do corpo de prova de concreto, é necessário realizar a desforma das amostras, conforme a NBR 5738:2015, demonstrada na figura 11 e 12, onde é demonstrado o concreto desformado, A correlação dos corpos de prova pode ser verificada no apêndice B.

Figura 11 - Desforma da amostra de concreto.



O autor

Figura 12 - Corpo de prova de concreto.



O autor

Após a cura inicial de 24 horas e a desforma dos exemplares, conforme expresso na NBR 5738:2015, os corpos de prova foram colocados em cura saturada na câmara úmida para realizar a cura por 28 dias. Podendo ser verificados conforme a figura 13.

Figura 13 - Amostras de concreto em cura saturada na câmara úmida.



O autor

Com a idade de cura do corpo de prova de concreto atingido, foram realizadas as retificações das faces com o auxílio de uma lixadeira, para que estas fossem regularizadas e pudessem ser realizados os ensaios de compressão.

3.2. Ensaio de compressão

Após a regularização das faces dos exemplares de concreto, foram desenvolvidos os ensaios de compressão axial, respeitando as datas da cura do concreto (28 dias), conforme a tabela 22 onde são mostradas as datas de rompimento. Para realizar o ensaio, foi utilizando o equipamento de compressão, figura 14, localizado no laboratório de materiais de construção, disponibilizado pelo grupo UNIS-MG.

Tabela 22 - Data de rompimento do corpo de prova de concreto.

CORPO DE PROVA	DATA DO ROMPIMENTO
Obra 1	15/05/2017
Obra 2	15/05/2017
Obra 3	15/05/2017
Obra 4	15/05/2017
Obra 5	15/05/2017
Obra 6	16/05/2017
Obra 7	23/05/2017
Obra 8	16/05/2017
Obra 9	16/05/2017
Obra 10	18/05/2017
Obra 11	23/05/2017
Obra 12	23/05/2017
Obra 13	24/05/2017
Obra 14	24/05/2017
Obra 15	24/05/2017

O autor

Figura 14 - Equipamento para realização do ensaio de compressão.



O autor

O ensaio de compressão foi realizado colocando os corpos de provas retificados nas tampas onde foram recebidas as cargas, sendo acoplados no centro da prensa para que pudessem recebe-las, sendo o valor da força aplicada demonstrada no visor do equipamento a medida que a alavanca é puxada. Quando o concreto rompe, ele não consegue suportar a carga aplicada, então o valor que é demonstrado no visor diminui, entretanto, ao pressionar o botão de pico máximo, é mostrado o valor máximo que o concreto resistiu, sendo este utilizado para o cálculo de resistência. O equipamento fornece o valor em tonelada força (tf), sendo necessária a conversão para a aplicação na equação fornecida pela NBR 5739:2007.

De acordo com a figura 15, é possível verificar o concreto rompido, da obra 3, onde ficou evidente onde foi o rompimento, após a realização do ensaio de compressão, todos os concretos rompidos são apresentados no apêndice C. Após o ensaio e a coleta dos dados necessários, foram realizados o refinamento destes, para que pudessem ser transformados em informações, tabelas e, posteriormente, em gráficos, para traduzir as informações e demonstrar os resultados e as discussões geradas a partir destes dados.

Figura 15- Corpo de prova após a realização do ensaio de compressão.



O autor

3.3. Dosagem do concreto em laboratório

Com a constatação da não conformidade com a norma e com a má qualidade do concreto, foi decidido o desenvolvimento de traços para auxiliar a execução de misturas em campo, aplicando o método de dosagem IPT, com o intuito de oferecer, de maneira rápida e sucinta, combinações dos componentes já misturados em laboratório, ao se utilizar os mesmos materiais, quando aplicado no diagrama a ser desenvolvido.

Ademais, para a elaboração desta dosagem foram realizadas dosagens utilizando dois tipos de brita juntamente com as seguintes características dos materiais:

- a) Cimento Portland CII E-32, recomendado para obras correntes da engenharia;
- b) Areia média, sendo a maior granulometria de areia oferecida pela pedreira Santo Antônio, a qual forneceu os materiais necessários para a realização da pesquisa;
- c) Brita 0 – denominada assim pelo fornecedor (possuindo diâmetro máximo de 12,50 mm) e brita 1 (possuindo diâmetro máximo de 19,00 mm), que também foi fornecida pela pedreira Santo Antônio;
- d) Não foram colocados aditivos nas misturas.

Ao escolher os materiais, foram determinadas as características estruturais impostas para a elaboração do traço, como:

- a) Classe de agressividade do meio sendo II, caracterizando meios urbanos;
- b) Resistência do concreto de 25 MPa. De acordo com a NBR 12655:2015, a qual estabelece que para classe de agressividade II (meios urbanos), a classe de concreto utilizado deve ser maior do que C25;
- c) Dimensão máxima característica dos agregados sendo de 19,00 mm para a dosagem da brita 1; e dimensão máxima característica de 12,50 mm para a brita 0;
- d) Abatimento do tronco de cone de 60 ± 10 mm, retirada na tabela de abatimentos de tronco de cone, disponibilizada por uma tabela retirada do material de Ripper (1995).

Também foram determinadas as características da execução do concreto:

- a) Vibração manual;
- b) Os materiais secos serão medidos em massa, utilizando a balança de alta precisão e a água de amassamento será medida em volume, utilizando o dispositivo dosador.

3.3.1. Dosagem do concreto com brita 1

O primeiro traço elaborado foi utilizando a brita 1 como agregado, sendo seu D_n de 19,00 mm. Para se iniciar a dosagem, é necessário realizar o cálculo de resistência de dosagem, utilizando as condições de preparo:

- a) A resistência de dosagem foi calculada considerando a condição de preparo “B”, que significa que a condição está submetida à medição da quantidade de água em volume, a quantidade dos agregados, também, em volume e a quantidade de cimento medido em massa. Sendo que “B” equivale a 5,5, determinando que a resistência de dosagem (f_{cj}) seja equivalente à 34,07 MPa;
- b) O segundo passo para a dosagem é a determinação da relação entre a água e o cimento (a/c), sendo esta determinada através do diagrama disponibilizado por Helene & Terzian (1993), para cimento CII E-32. A relação a/c inicial foi fixada sendo 0,49;
- c) Após estabelecer a relação a/c, é fixado o teor de água e determinado a quantidade de mistura seca na mistura, sendo que:
 - a. O teor de água (H%) é determinado pela lei de Lyse, utilizando a quantidade de massa seca da mistura. Entretanto, o teor de água foi tabelado e fixado de acordo

com o método de adensamento do concreto em obra (no caso, vibração manual), em relação ao D_n (19,00 mm), sendo, portanto, “H” equivalente à 10,00 %;

- b. Uma vez fixado o teor de água, a massa de agregado (m) é calculada, sendo que “m”, para o caso desta dosagem, é de 3,9.
- d) O quarto passo é o desdobramento da massa seca em porcentagens que representam a quantidade de areia, brita e cimento na mistura do concreto, de acordo com o diagrama proposto por Carneiro (1953), em que se definiu, através de cálculos, estas porcentagens;
 - a. Porcentagem de pedra equivalendo a 47% da mistura;
 - b. Porcentagem de cimento equivalendo a 20% da mistura e;
 - c. Porcentagem de areia equivalendo a 33% da mistura.
- e) Com as porcentagens estabelecidas, pode-se definir o traço básico que será submetido à correção, sendo este expresso através da tabela 23, a qual se pode verificar, também, o teor de argamassa (α) na massa de concreto para este traço, bem como o teor de água (H) e o consumo de cimento (C_c);

Tabela 23 - Traço básico da dosagem com brita 1

Cimento	Areia	Pedra	a/c	α	H	C_c
1	1,60	2,30	0,49	53%	10,0%	461,2

O autor

- f) Tomando como base o traço básico e realizando o ensaio laboratorial, foi possível desenvolver a correção deste traço, que foi executado seguindo:
 - i. Executado o concreto de maneira mecânica para verificar se a mistura já se encontrava no teor ideal de argamassa, conforme figura 16, identificando excesso de poros;

Figura 16 - Concreto imprimido demonstrando-se poroso



O autor

- ii. Também foi verificado o ensaio de abatimento do tronco de cone, em que o abatimento foi superior ao estabelecido (60 ± 10 mm), no valor de 130,0 mm;
- iii. Com este parâmetro foram adicionadas 400 gramas de areia junto a mais 100 mililitros de água, resultando um novo traço, sucessivas vezes até se encontrar, ao imprimir a colher de pedreiro na massa de concreto, uma massa lisa e sem porosidade, e o correto abatimento de tronco de cone, até encontrar a massa ideal de concreto, conforme demonstrado na tabela 24, onde é possível verificar a relação entre o teor ideal de argamassa e sua alteração conforme a adição de areia e água, notando-se que o traço ideal é o que possui “ α ” com 61%; na tabela 25 é possível verificar os resultados finais do *slump test* e do teor de água final, na qual foi estabelecido o traço.

Tabela 24 - Correção do traço básico da dosagem da brita 1

α (%)	Traço			Cc	Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Acresc. areia (kg)	Massa brita (kg)	Volum e água (L)	a/c	Abatim ento inicial
	c	a	p								
53	1	1,6	2,3	461,2	4,1	6,55	0,40	9,44	2,01	0,49	x
55	1	1,7	2,2	456,0	4,1	6,95	0,40	9,44	2,11	0,51	x
57	1	1,8	2,1	451,0	4,1	7,35	0,40	9,44	2,21	0,54	x
59	1	1,9	2,0	451,0	4,1	7,75	0,40	9,44	2,21	0,54	x
61	1	2,0	1,9	448,7	4,1	8,15	x	9,44	2,21	0,54	x

O autor

Tabela 25 - Continuação da correção do traço básico da dosagem da brita 1

água-adição (L)	a/c - final	Abatimento final (mm)	H
0,1	0,51	x	10,00%
0,1	0,54	x	10,50%
x	0,54	130	11,00%
x	0,54	x	11,00%
0,05	0,55	50	11,2%

O autor

- g) Contudo, tomando como base o traço básico obtido através da correção, é possível determinar o traço rico e o traço pobre, o qual também é utilizado para realizar os ensaios de compressão axial, sendo definido com a soma (pobre) ou subtração (rico) na massa dos elementos secos, mostrado na tabela 26, resumindo todos os parâmetros da dosagem.

Tabela 26 - Resumo dos dados da dosagem com brita 1

	Cimento	Areia	Brita	a/c	α	H	Cc
Rico	1	1,39	1,51	0,44	61%	11,22%	564,9
Básico	1	2,00	1,90	0,55	61%	11,22%	448,7
Pobre	1	2,61	2,29	0,65	61%	11,22%	373,9

O autor

3.3.2. Dosagem do concreto com brita 0

O segundo traço elaborado foi utilizando a brita 0 como agregado graúdo, sendo seu diâmetro máximo de 12,50 mm, de acordo com o estudo de granulometria realizado pela empresa Pedreira Santo Antônio. Para se iniciar a dosagem, foi realizado o cálculo de resistência de dosagem, utilizando as condições de preparo, sendo os mesmos da brita 1:

- a) A resistência de dosagem foi calculada considerando a condição de preparo “B”, que significa que a condição está submetida à medição da quantidade de água em volume, a quantidade dos agregados, também, em volume e a quantidade de cimento

medido em massa. Sendo que “B” equivale a 5,5, determinando que a resistência de dosagem (f_{cj}) seja equivalente à 34,07 MPa;

- b) O segundo passo para a dosagem é a determinação da relação entre a água e o cimento (a/c), sendo esta determinada através do diagrama disponibilizado por Helene & Terzian (1993), para cimento CII E-32. A relação a/c inicial foi fixada sendo 0,49;
- c) Após estabelecer a relação a/c, é fixado o teor de água e determinado a quantidade de mistura seca na mistura, sendo que:
 - i. O teor de água (H%) é determinado pela lei de Lyse, utilizando a quantidade de massa seca da mistura. Entretanto, o teor de água foi tabelado e fixado de acordo com o método de adensamento do concreto em obra (no caso, vibração manual), em relação ao D_n (12,50 mm), sendo, portanto, “H” equivalente à 11,00 %;
 - ii. Uma vez fixado o teor de água, a massa de agregado (m) é calculada, sendo que “m”, para o caso desta dosagem, é de 3,45.
- d) O quarto passo é o desdobramento da massa seca em porcentagens que representam a quantidade de areia, brita e cimento na mistura do concreto, de acordo com o diagrama proposto por Carneiro (1953), em que se definiu, através de cálculos, estas porcentagens;
 - i. Porcentagem de pedra equivalendo a 40% da mistura;
 - ii. Porcentagem de cimento equivalendo a 22% da mistura e;
 - iii. Porcentagem de areia equivalendo a 38% da mistura.
- e) Com as porcentagens estabelecidas, pode-se definir o traço básico que será submetido à correção, sendo este expresso através da tabela 27, a qual se pode verificar, também, o teor de argamassa (α) na massa de concreto para este traço, bem como o teor de água (H) e o consumo de cimento (C_c);

Tabela 27 – Traço básico dosagem com brita 0.

Cimento	Areia	Brita	a/c	α	β	H	C_c
1	1,67	1,78	0,49	60%	1	11%	496,5

O autor

- f) Tomando como base o traço básico e realizando o ensaio laboratorial, foi possível notar que o teor de argamassa se encontrava de maneira ideal, demonstrado conforme figura 17, onde se nota o concreto sem porosidade e não voltando ao

estado original quando imprimida a colher em sua lateral; bem como o *slump test* realizado, encontrando-se no intervalo previsto (60 ± 10);

Figura 17 - Concreto (com brita 0) imprimido na betoneira.



O autor

- g) Com o traço definido, o teor de argamassa foi fixado sendo 60% e o teor de água 11,0%. Desenvolvendo, desta maneira, o traço rico e pobre, para a moldagem do corpo de prova posteriormente, sendo resumidos e expostos pela tabela 28.

Tabela 28 - Resumo dos dados da dosagem com brita 0.

	Cimento	Areia	Brita	a/c	α	β	H	Cc
Rico	1	1,07	1,38	0,38	60%	1	11,00%	641,7
Base	1	1,67	1,78	0,49	60%	1	11,00%	496,8
Pobre	1	2,27	2,18	0,60	60%	1	11,00%	404,8

O autor

3.4. Moldagem dos corpos de prova com concreto

Os corpos de prova de concretos com produção laboratorial foram moldados após a análise crítica sobre sua dosagem, juntamente com sua aplicação em laboratório (verificação do teor de argamassa e *slump test*) e correção do traço.

Para este processo foram utilizados moldes de plástico disponibilizado pelo laboratório de pesquisa da universidade, possuindo 10 cm de diâmetro em sua base e 20 cm de altura. A partir disso foram determinados os volumes total a ser produzido para cada traço, considerando 10% de perda, devido a aderência do concreto no fundo da betoneira, bem como o derrubamento dele para fora dos moldes. Determinados, utilizando peso específico de cada material, foram apontados o volume de água e o peso de cada componente da mistura. A determinação da quantidade de corpos de prova produzidos e a idade de rompimento, segue-se:

- a) Os traços utilizados para a aplicação do concreto foram embasados na variação dos traços bases de cada dosagem, sendo elas variando entre o tipo de pedra (brita 1 e 0), definidos como traços rico, base e pobre, sendo um total de 6 traços;
- b) As idades de rompimento do corpo de prova foram definidas como sendo aos 3, 7 e 28 dias para a produção do diagrama de dosagem. As datas de confecção e de rompimentos são demonstradas na tabela 29;

Tabela 29 - Datas de confecção e rompimentos.

Traço	Data confecção	Data rompimento			
		3 dias	7 dias	28 dias	
Pedra 1	Rico	17/out	sexta-feira, 20 de outubro de 2017	terça-feira, 24 de outubro de 2017	terça-feira, 14 de novembro de 2017
	Básico	17/out	sexta-feira, 20 de outubro de 2017	terça-feira, 24 de outubro de 2017	terça-feira, 14 de novembro de 2017
	Pobre	17/out	sexta-feira, 20 de outubro de 2017	terça-feira, 24 de outubro de 2017	terça-feira, 14 de novembro de 2017
Pedra 0	Rico	17/out	sexta-feira, 20 de outubro de 2017	terça-feira, 24 de outubro de 2017	terça-feira, 14 de novembro de 2017
	Básico	17/out	sexta-feira, 20 de outubro de 2017	terça-feira, 24 de outubro de 2017	terça-feira, 14 de novembro de 2017
	Pobre	17/out	sexta-feira, 20 de outubro de 2017	terça-feira, 24 de outubro de 2017	terça-feira, 14 de novembro de 2017

O autor

- c) Foi decidido a confecção de 2 exemplares de concreto, com um corpo de prova adicional sendo denominado contraprova, para caso de variação no rompimento, para cada traço definido e para cada dia de rompimento;

- d) Contudo, a quantidade de corpo de prova para cada tipo de traço se resume em 7, conforme figura 18, onde é exibida o agrupamento de corpos de prov. Contudo, o total, 21 exemplares de corpo de prova de concreto para cada dosagem;

Figura 18 - Corpos de prova de concreto moldados.



O autor

- e) Ao todo, foram 42 corpos de prova de concreto.

Após a moldagem dos corpos de prova, eles ficaram em repouso por 24 horas, para que fossem desmoldados e colocados em submersão até a idade de rompimento.

3.5. Rompimento dos corpos de prova

Para o rompimento dos corpos de prova de concreto foram utilizadas as idades de 3, 7 e 28 dias, para assim construir os diagramas de dosagem. Contudo foi utilizado a prensa de compressão, disponibilizada no laboratório de pesquisa da universidade, a qual pode-se realizar o estudo. De acordo com a figura 19 é possível verificar o concreto após o ensaio de compressão.

Figura 19 - Corpo de prova rompido.



O autor

De acordo com o rompimento de cada data, foram convertidos os valores de força (exibidos em t_f) aplicada na resistência à compressão do concreto, a correção é feita utilizando o método disponibilizado pela NBR5739:2007.

Antes de realizar o rompimento do corpo de prova de concreto, foram medidos, com auxílio de um paquímetro, conforme a figura 20, o diâmetro no topo e na base do corpo de prova de concreto para obter a resistência mais precisa, obtendo a média entre eles. As medidas colhidas dos corpos de prova podem ser observadas de acordo com a tabela 30, onde também é demonstrada a força (em t_f) resistida por cada um.

Figura 20 - Medição do topo do exemplar com o paquímetro.



O autor

Tabela 30 - Diâmetros dos corpos de prova

Idade	Pedra	Traço	Nº exemplar	Dt	Db	Dm	F (tf)
3 dias	Pedra 1	Rico	1	99,38	100,32	99,85	23,67
			2	99,19	99,88	99,535	23,67
		Básico	1	98,8	100,42	99,61	10,11
			2	98,69	100,52	99,605	11,2
		Pobre	1	99,48	99,66	99,57	9,47
			2	99,95	99,5	99,725	10,28
	Pedra 0	Rico	1	98,57	100,7	99,635	16,47
			2	98,74	99,46	99,1	17,55
		Básico	1	99,63	99,73	99,68	14,6
			2	99,77	99,73	99,75	13,55
		Pobre	1	98,64	100,4	99,52	4,97
			2	99,06	100,36	99,71	5,25
7 dias	Pedra 1	Rico	1	98,9	100,71	99,805	29,2
			2	98,43	100,07	99,25	30,66
		Básico	1	98,23	100,16	99,195	16,89
			2	99,18	100,24	99,71	16,16
		Pobre	1	98	100,29	99,145	13,54
			2	99,16	100,44	99,8	12,87
	Pedra 0	Rico	1	99,4	100,89	100,145	27,52
			2	99,9	99,61	99,755	25,24
		Básico	1	99,87	99,86	99,865	22,28
			2	99,39	100,62	100,005	21,79
		Pobre	1	99,16	99,49	99,325	13,28
			2	99,8	99,06	99,43	10,41
28 dias	Pedra 1	Rico	1	98,3	100,32	99,31	37,45
			2	99,18	100,17	99,675	35,5
			3	98,4	100,52	99,46	27,55
		Básico	1	99,02	100,43	99,725	22,86
			2	99,4	99,88	99,64	24,18
			3	99,12	100,39	99,755	24,68
	Pobre	1	99,5	99,8	99,65	18,6	
		2	99,6	99,6	99,6	19,01	
		3	98,41	100,36	99,385	18,76	
	Pedra 0	Rico	1	98,3	100,68	99,49	39,73
			2	99,49	99,35	99,42	38,36
			3	98,01	100,05	99,03	37,5
Básico		1	98,48	99,84	99,16	34,8	
		2	98,48	99,59	99,035	29,28	
		3	99,74	99,24	99,49	30,35	
Pobre	1	98,7	99,94	99,32	17,7		
	2	99,6	99,92	99,76	20,32		
	3	98,7	99,87	99,285	20,18		

O autor

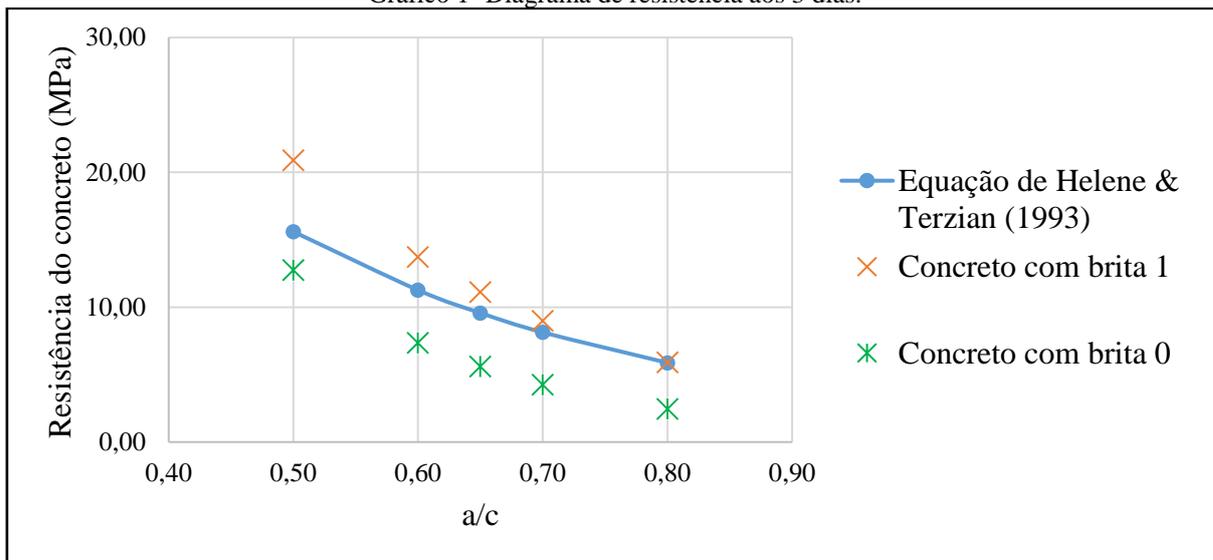
3.6. Diagrama de dosagem

Para a montagem do diagrama de dosagem é necessário estabelecer os gráficos referente às leis de comportamento, como a *lei de Abrams*, *lei de Lyse* e *lei de Molinari*, depois realizar a junção destes para estabelecer o diagrama completo.

3.6.1. Diagrama da *lei de Abrams*

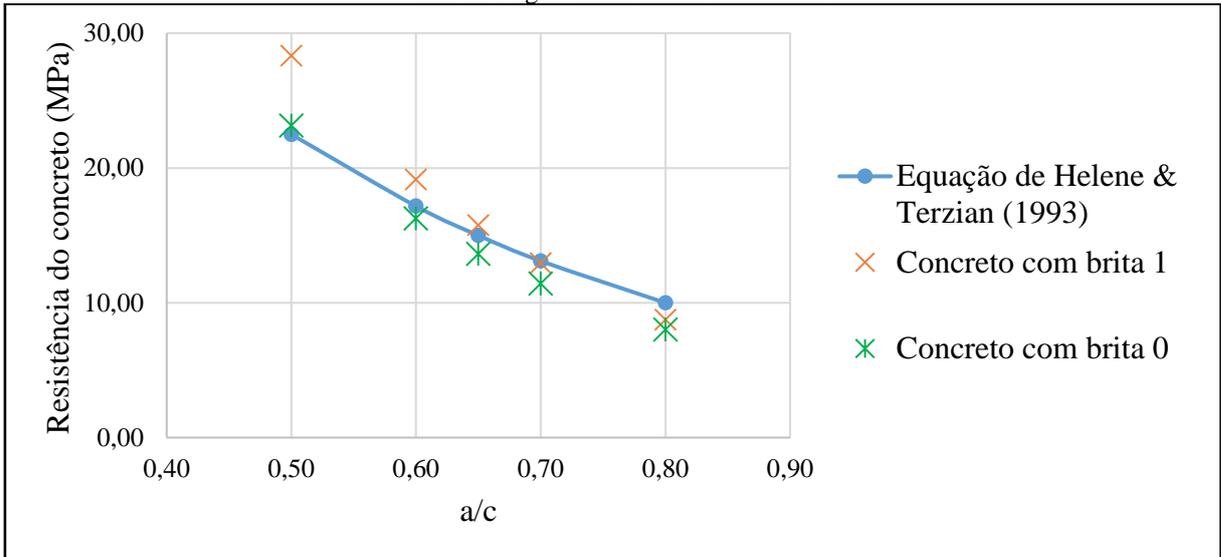
Para definir o gráfico da lei de Abrams, em primeira instância, foram utilizados os parâmetros da estabelecidos por Helene & Terzian (1993), onde é gerado os gráficos 1, 2 e 3, para as idades de 3, 7 e 28 dias, respectivamente. Juntamente a esses gráficos, foram adicionados os valores resistidos dos concretos em laboratório, separados pela legenda presente nos quadros.

Gráfico 1- Diagrama de resistência aos 3 dias.



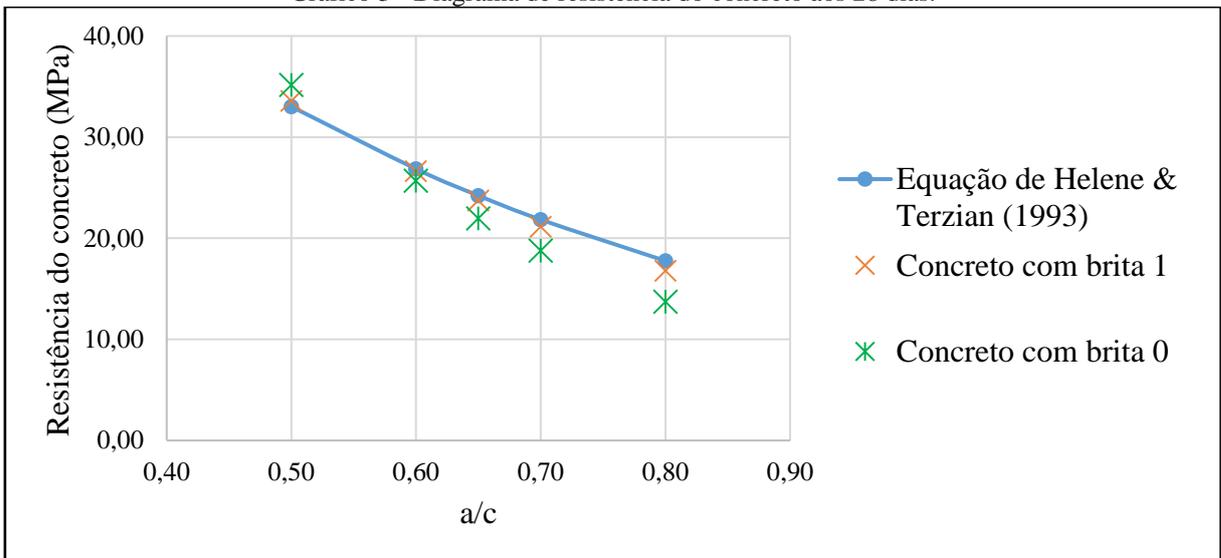
O autor

Gráfico 2 - Diagrama de resistência aos 7 dias.



O autor

Gráfico 3 - Diagrama de resistência do concreto aos 28 dias.



O autor

Para a construção do diagrama de resistência à compressão nos dias expostos foi definido através das equações disponibilizadas por Helene & Terzian (1993), onde foram estabelecidos os valores de resistência à compressão para as idades variando o fator a/c de 0,1 a 1. Também foram dispostos os valores resultantes da dosagem do concreto, para a realização da comparação e verificação da compatibilidade da equação com os dados obtidos do ensaio de compressão e o fator a/c obtido através da dosagem dos concretos.

Ao analisar os gráficos é possível verificar que alguns dados, os das dosagens dos concretos, destoam dos dados do autor, uma vez notado essa situação, foi necessário realizar a correção da equação, desenvolvido pelo método da redução aos mínimos quadrados, conforme a sequência a seguir.

- a) Ao desenvolver a equação de resistência de dosagem em função da relação entre a água e o cimento, chega-se em uma equação logarítmica, onde o logaritmo da resistência do concreto (f_c) é isolado;
- b) Devido à equação logarítmica, é possível estabelecer, através do método da redução aos mínimos quadrados, alguns parâmetros correlacionando a equação à uma expressão simples, sendo estabelecidos por y , a , x e b , onde y é o logaritmo da resistência do concreto, a é o logaritmo da constante k_1 , x é o fator água cimento (a/c) e b é o logaritmo da constante k_2 ;
- c) Aplicando o desenvolvimento dos termos a e b da equação, pelo desenvolvimento do método da redução aos mínimos quadrados, tem-se as equações de resistência do concreto aos 3, 7 e 28 dias, para a dosagem com brita 1, conforme equações 39, 40 e 41, respectivamente. O gráfico 4 mostra a progressão das curvas de resistência, variando a relação entre água e cimento de 0,1 a 1;

$$f_{c,3} = \frac{171,34}{67,19^{a/c}} \quad \text{Eq. 39}$$

$$f_{c,7} = \frac{200,67}{50,18^{a/c}} \quad \text{Eq. 40}$$

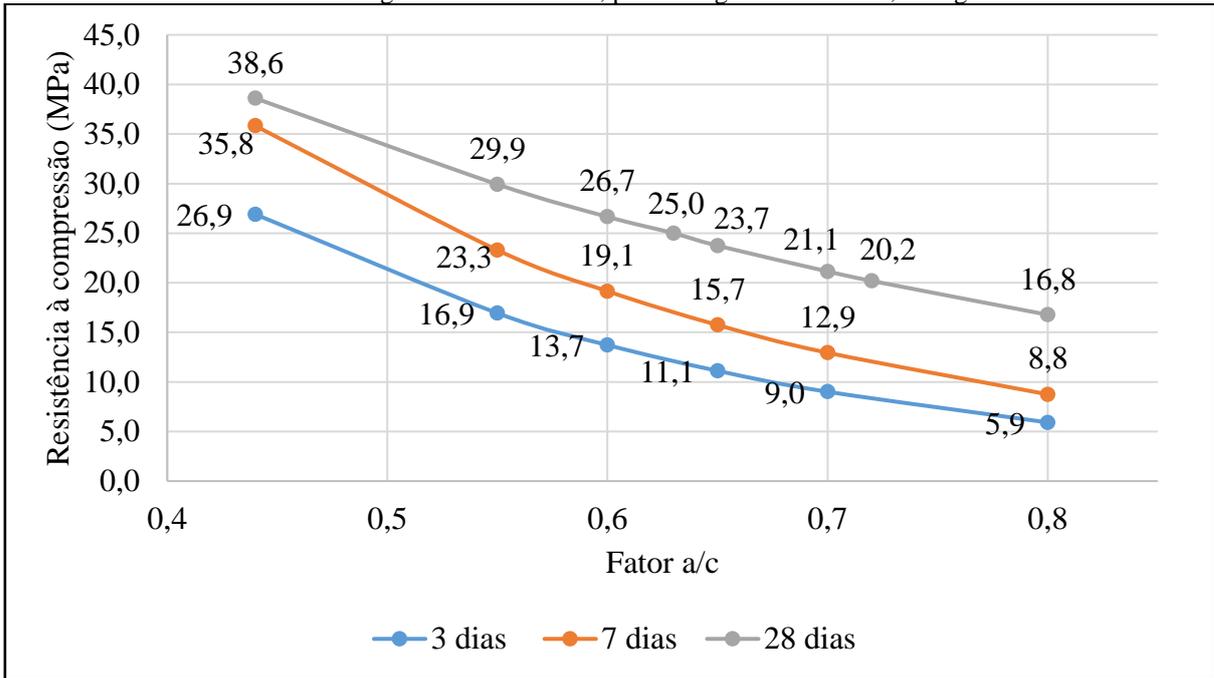
$$f_{c,28} = \frac{106,9}{10,12^{a/c}} \quad \text{Eq. 41}$$

Em que:

$f_{c,j}$ é a resistência do concreto em j dias;

a/c é a relação entre a água e o cimento.

Gráfico 4 - Diagrama de resistência, para dosagem com brita 1, corrigido.



O autor

- d) E as equações 42, 43 e 44 para os concretos na idade de 3, 7 e 28 dias dosados com a brita 0, juntamente com o gráfico 5, que demonstra o comportamento da resistência do concreto, variando o fator água cimento de 0,1 a 1.

$$f_{c,3} = \frac{198,37}{241,63^{a/c}} \quad \text{Eq. 42}$$

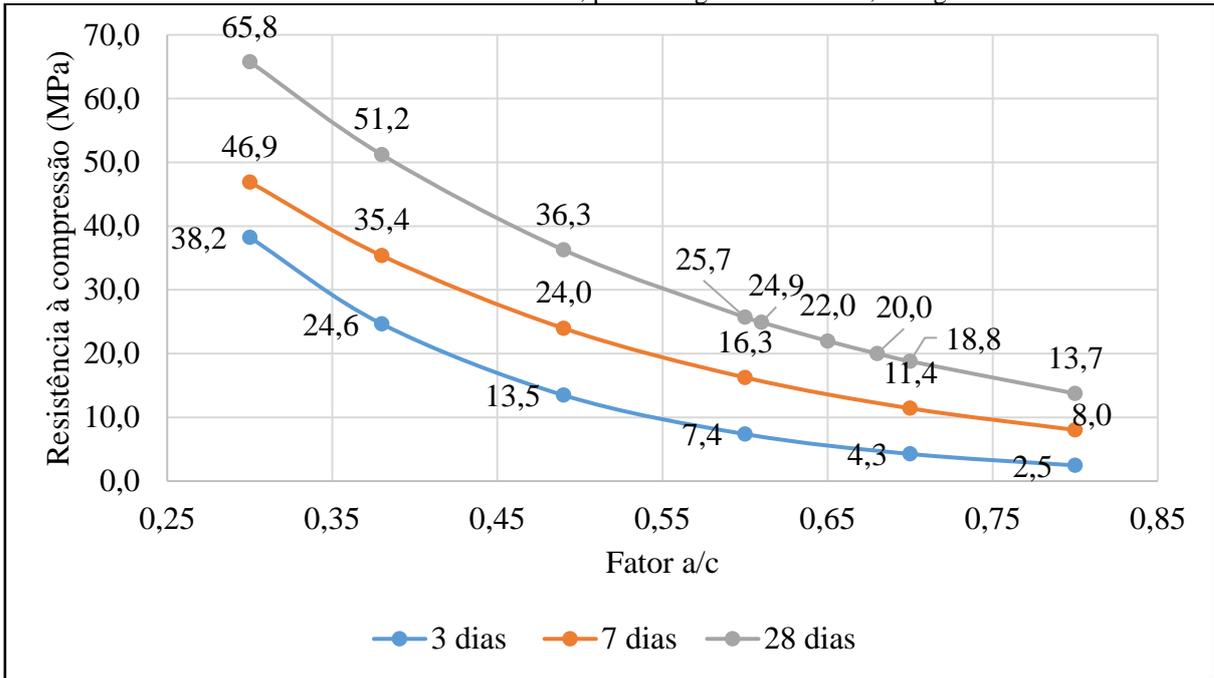
$$f_{c,7} = \frac{135,37}{34,22^{a/c}} \quad \text{Eq. 43}$$

$$f_{c,28} = \frac{168,36}{22,95^{a/c}} \quad \text{Eq. 44}$$

Em que:

$f_{c,j}$ é a resistência do concreto em j dias;
 a/c é a relação entre a água e o cimento.

Gráfico 5 - Curva de resistência, para dosagem com brita 0, corrigido.



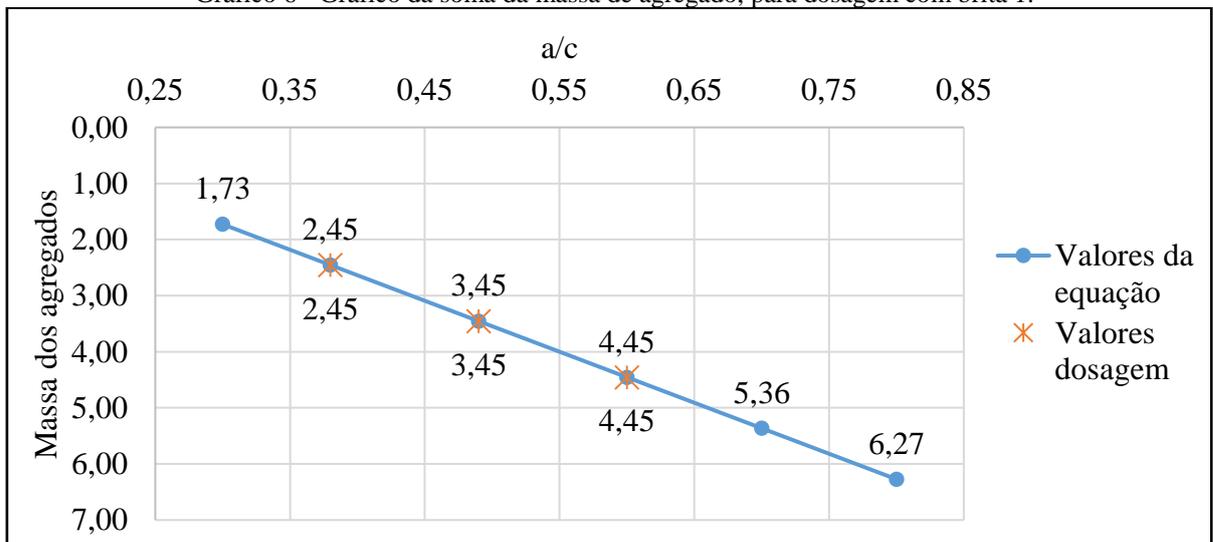
O autor

3.6.2. Diagrama da lei de Lyse

A diagramação da lei de Lyse se dá a partir da relação entre o fator água e cimento, no eixo das abcissas e a soma da massa dos agregados (m). Para a confecção do gráfico foram utilizados a variação de a/c entre 0,2 a 1, e os valores correspondentes de “m”.

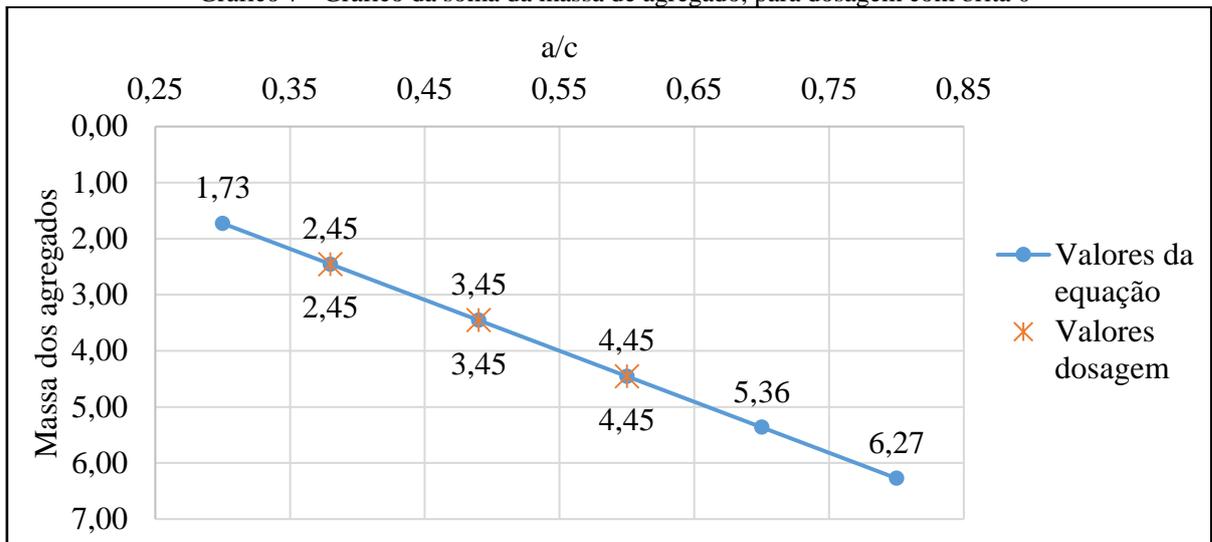
De acordo com o gráfico 6, é possível verificar a disposição referente à dosagem do concreto com brita 1 e; conforme o gráfico 7, referente à dosagem com brita 0.

Gráfico 6 - Gráfico da soma da massa de agregado, para dosagem com brita 1.



O autor

Gráfico 7 - Gráfico da soma da massa de agregado, para dosagem com brita 0



O autor

3.6.3. Diagrama da *lei de Molinari*

Para o desenvolvimento do gráfico que expõe os resultados acerca da *lei de comportamento de Molinari*, foi utilizado a equação exposta pelos autores Helene & Terzian (1993), em que pode definir o consumo de cimento a partir da massa dos agregados e a partir de constantes que se referem às propriedades do concreto, através do método de redução aos mínimos quadrados.

Isolando o consumo de cimento (C), pode-se aplicar o método e extrair as equações equivalentes, resultando as equações 45, para a dosagem com a brita 1, gerando o gráfico 8 e; para 46 para a dosagem com a brita 0, gerando o gráfico 9.

$$C = \frac{1000}{0,45 + 0,46 \cdot m} \quad \text{Eq. 45}$$

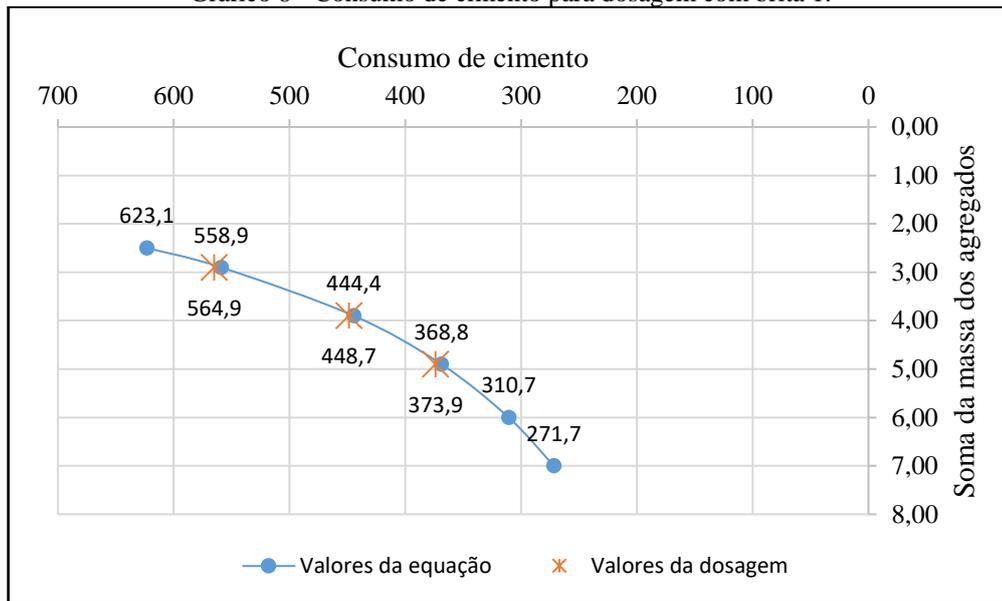
$$C = \frac{1000}{0,46 + 0,44 \cdot m} \quad \text{Eq. 46}$$

Em que:

C é o consumo de cimento;

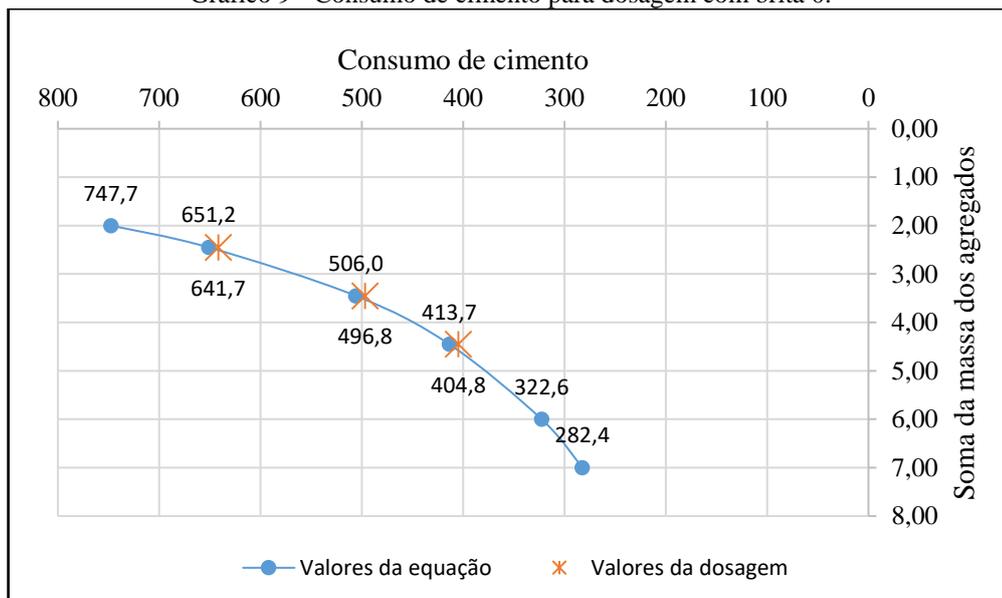
m é a soma da massa dos agregados.

Gráfico 8 - Consumo de cimento para dosagem com brita 1.



O autor

Gráfico 9 - Consumo de cimento para dosagem com brita 0.



O autor

3.7. Curva de inchamento da areia

A curva de inchamento foi desenvolvida para que, com a produção de concreto em obras, o traço de concreto possa ser corrigido, ajustando a quantidade de água a ser adicionada devido a já absorvida pela areia. Para a configuração do diagrama, foi realizado o ensaio de acordo com a NBR 6467:2006, seguindo os passos:

- a) A amostra de areia a ser estudada foi secada na estufa em um período de 24 horas, em temperatura de 105°C, antes de ser realizado qualquer procedimento, conforme a figura 21;

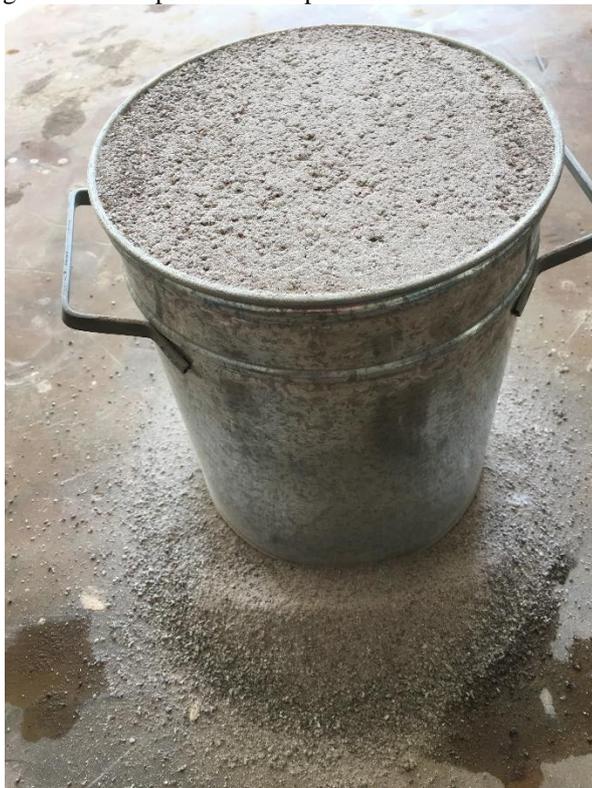
Figura 21 - Areia em secagem na estufa.



O autor

- b) Decorrido este tempo, a areia foi misturada até se tornar homogênea na betoneira, e adicionando água até atingir os teores de umidade indicados pela norma, como 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9 e 12%. Entretanto, o primeiro ensaio é quando a areia está com 0% de umidade;
- c) Após a homogeneização da areia na betoneira sem acrescentar água, é preenchido o recipiente para a realização da medição da massa unitária, conforme NBR NM 45:2006, o recipiente utilizado tinha a capacidade de 10 L, sendo que deveria ser preenchido e rasado com uma haste. A figura 22 demonstra o recipiente já rasado, preenchido com areia. A tabela 31 refere-se ao cálculo da massa unitária;

Figura 22 - Recipiente rasado para ensaio de massa unitária.



O autor

Tabela 31- Massa específica das areias úmidas.

Identificação	Massa do recipiente (Kg)	Massa pesada (Kg)	Volume do recipiente (m³)	Massa unitária (Kg/m³)
0%	0,96	18,42	0,001	17460
0,50%	0,96	17,61	0,001	16650
1%	0,96	16,68	0,001	15720
2%	0,96	14,96	0,001	14000
3%	0,96	14,35	0,001	13390
4%	0,96	14,07	0,001	13110
5%	0,96	14,27	0,001	13310
7%	0,96	14,34	0,001	13380
9%	0,96	15,1	0,001	14140
12%	0,96	16,38	0,001	15420

O autor

- d) Após a realização de cada medição da massa, para cálculo da massa unitária, re acordo com cada umidade acrescida na areia, foram separadas capsulas para serem preenchidas com o material, sendo que a massa de cada recipiente (m_c) foi aferida antes de preenchidas com areia;

- e) Com a medição da massa das capsulas e resultados da massa da areia anotado, a cada adição foram retiradas amostras da areia e pesadas (m_i), e devidamente anotadas;
- f) Após o preenchimento de todas as capsulas, estas foram colocadas novamente para secagem, em período de 24 horas, para que fosse realizado a pesagem de sua massa seca (m_f). A figura 23 demonstra as capsulas preenchidas com as areias em suas diferentes umidades;

Figura 23 - Capsulas preenchidas com areia.



O autor

- g) Com auxílio da tabela 31, foram calculados o teor de umidade ($h\%$) e o coeficiente de inchamento da areia (V_h/V_s), conforme tabela 32;

Tabela 32 - Tabela de determinação do teor de umidade e coeficiente de inchamento da areia.

Identificação	Massa da capsula	Massa capsula + amostra seca	Massa capsula + amostra úmida	Teor de umidade (h)	Coeficiente de inchamento
0,50%	13,64	197,62	197,75	0,07%	1,05
1%	13,76	183,95	184,62	0,39%	1,11
2%	13,68	154,88	156,7	1,29%	1,25
3%	11,21	147,87	150,54	1,95%	1,30
4%	14,09	156,39	160,64	2,99%	1,33
5%	14,55	157,74	163,09	3,74%	1,31
7%	11,66	154,59	163,05	5,92%	1,31
9%	11,54	158,63	169,99	7,72%	1,24
12%	13,79	159,36	175,86	11,33%	1,13

O autor

- h) Com os valores correspondentes entre o teor de umidade e o coeficiente de inchamento da areia, foi desenvolvido o diagrama que representa a curva de inchamento.

3.8. Cartilha de dosagem do concreto

Após a elaboração do diagrama de dosagem, para sua aplicação em campo, foi determinado o desenvolvimento de uma cartilha a fim de expor situações ideais para a produção de um bom concreto e a aplicação de sua dosagem respeitando parâmetros da NBR 12655:2015, bem como a transformação do traço de massa para volume e a correção da areia.

Para o desenvolvimento do leiaute da cartilha foi utilizado os esboços disponibilizados pelo aplicativo de dispositivos móveis, *Canva*. Onde foi possível realizar o *download* de maneira gratuita.

O primeiro ponto para a elaboração da cartilha é determinar seu título, sendo escolhido como “Cartilha de dosagem e métodos de produção do concreto”.

Com a colocação do título, a colocação de um texto explicativo acerca do trabalho realizado, expondo a situação da produção do concreto como o alto consumo de água e o baixo consumo de cimento, resultando em um concreto sem qualidade e sem conformidade com a norma vigente, e mostrando qual o intuito da cartilha.

Logo após o texto explicativo é inserido os passos para a realização da dosagem através dos diagramas, abordando as equações que devem ser utilizadas e as conversões para o traço do concreto ser aplicado misturando massa (caso do cimento) e volume (caso dos agregados e água), seguindo da disposição dos diagramas de dosagem. Também será inserido a curva de inchamento da areia, e um texto explicativo acerca da aplicação deste na correção do traço do concreto.

Após a colocação de textos e diagramas, será abordado o método de produção do concreto, sendo demonstrado como deve ser realizado a mistura manual e a mistura mecânica.

Para o encerramento da cartilha, será exposto as referências utilizadas para a aplicação destes conceitos e diagramas, bem como o agradecimento às instituições que apoiaram na realização da pesquisa e a possibilidade de desenvolvimento do trabalho.

4. RESULTADOS

Com base na aplicação do questionário nas obras escolhidas, pode-se levantar dados para a elaboração de conjuntos de informações, como dados sobre as condições de produção do concreto, dados sobre o traço aplicado na obra e dados sobre o conhecimento dos operadores. Pode-se, também, refinar os dados obtidos com o ensaio de compressão do concreto para alcançar o resultado de resistência e, assim, afirmar se há ou não influência da conformidade e do traço em sua qualidade.

4.1. Dados da aplicação do questionário

De acordo com a aplicação do questionário com os operadores, nas obras, pode-se levantar dados em relação as condições de produção do concreto, sendo em primeiro plano a qualificação de quem executou o concreto, bem como a finalidade para qual o concreto foi produzido e o método de mistura utilizado para confecciona-lo. Os dados coletados são demonstrados na tabela 33. O levantamento da finalidade do concreto produzido é necessário para reafirmar a necessidade da resistência mínima prevista pela norma NBR 8953:2015, uma vez que elementos, como lastro de concreto, não necessitam da resistência mínima, havia erro ao analisar a influência do traço utilizado em relação à resistência obtida através de ensaio.

Tabela 33 - Dados sobre a confecção do concreto.

Identificação da obra	Função na obra	Finalidade do concreto
Obra 1	Pedreiro	Pilar
Obra 2	Servente	Fundação
Obra 3	Pedreiro	Fundação
Obra 4	Pedreiro	Fundação
Obra 5	Pedreiro	Laje
Obra 6	Servente	Pilar
Obra 7	Pedreiro	Laje
Obra 8	Pedreiro	Fundação
Obra 9	Servente	Fundação
Obra 10	Pedreiro	Laje
Obra 11	Pedreiro	Laje
Obra 12	Pedreiro	Fundação
Obra 13	Pedreiro	Viga
Obra 14	Pedreiro	Pilar
Obra 15	Pedreiro	Pilar

O autor

Além dos dados referentes a qualificação do concreto, outra abordagem do questionário foi determinar as características referentes ao traço escolhido para a mistura, sendo demonstrados quem definiu o traço que o operador está utilizando, como o servente, pedreiro, mestre de obras ou o responsável técnico; o motivo da utilização do traço, certo de que a necessidade do traço é embasada na finalidade da estrutura e na classe de agressividade do meio a ser empregada; e como o operário determinou que o traço aplicado funciona. Sendo possível analisar através da tabela 34.

Tabela 34 - Informações acerca da definição do traço do concreto.

Identificação da obra	Responsável pela escolha do traço	Razão da utilização do traço	Funcionalidade do traço
Obra 1	Encarregado	Melhor resistência	Engenheiro civil
Obra 2	Servente	Melhor resistência	Mestre de obras
Obra 3	Pedreiro	Melhor resistência	Finalidade do traço
Obra 4	Pedreiro	Melhor resistência	Experiência
Obra 5	Pedreiro	Experiência	Engenheiro civil
Obra 6	Encarregado	Medida certa	Experiência
Obra 7	Pedreiro	Melhor resistência	Experiência
Obra 8	Pedreiro	Experiência	Experiência
Obra 9	Pedreiro	Experiência	Experiência
Obra 10	Engenheiro Civil	Melhor resistência	Experiência
Obra 11	Pedreiro	Quantidade indicada no cimento	Experiência
Obra 12	Pedreiro	Padrão	Experiência
Obra 13	Pedreiro	Engenheiro Civil	Experiência
Obra 14	Pedreiro	Experiência	Experiência
Obra 15	Pedreiro	Padrão	Experiência

O autor

A principal abordagem para discutir quanto ao questionário, é em relação aos traços do concreto aplicados. Uma vez que a relação água cimento é firmada, define-se, por meio da dosagem, a quantidade de material agregado. Esta relação água cimento varia de acordo com o método de dosagem utilizado, também pode ser empregado relações já estabelecidas por literatura, como Ripper (1986) e determinados valores mínimos da relação entre a água e o cimento conforme NBR 12655:2015. Na tabela 35 são demonstrados os traços obtidos expressos em latas, contendo volume de 18 l, por saco de cimento de 50 kg, denominados traços mistos, com massa e volume; o traço em massa (kg), utilizando massa específica de cada material; e o traço convertido para volume (inclusive o cimento), em litros. Ressaltando que todas as obras visitadas utilizaram 1 saco do cimento de 50 Kg para suas devidas misturas.

Tabela 35 - Traços do concreto em Latas/saco de cimento, massa e volume.

Identificação da obra	Traço massa - volume				Traço em massa (kg)				Traço em volume (L)			
	C	A	B	a/c	C	A	B	a/c	C	A	B	a/c
Obra 1	1	8	7	3	1	7,8	7,3	1,1	1	4	3,5	1,5
Obra 2	1	6	6	3	1	5,8	6,2	1,1	1	3	3	1,5
Obra 3	1	8	8	4	1	7,8	8,3	1,4	1	4	4	2
Obra 4	1	6	6	2,5	1	5,8	6,2	0,9	1	3	3	1,3
Obra 5	1	6	6	3	1	5,8	6,2	1,1	1	3	3	1,5
Obra 6	1	6	6	3	1	5,8	6,2	1,1	1	3	3	1,5
Obra 7	1	8	7	3	1	7,8	7,3	1,1	1	4	3,5	1,5
Obra 8	1	8	6	5	1	7,8	6,2	1,8	1	4	3	2,5
Obra 9	1	6	4	3	1	5,8	4,2	1,1	1	3	2	1,5
Obra 10	1	2	2	3	1	1,9	2,1	1,1	1	1	1	1,5
Obra 11	1	6	6	3	1	5,8	6,2	1,1	1	3	3	1,5
Obra 12	1	7	5	3	1	6,8	5,2	1,1	1	3,5	2,5	1,5
Obra 13	1	7	7	3	1	6,8	7,3	1,1	1	3,5	3,5	1,5
Obra 14	1	7	7	3	1	6,8	7,3	1,1	1	3,5	3,5	1,5
Obra 15	1	6	6	3	1	5,8	6,2	1,1	1	3	3	1,5

C equivale ao cimento, A equivale à areia, B equivale à brita e a/c equivale à relação entre a água e o cimento

O autor

Conforme disposto na NBR 12655:2015, também é necessário verificar a relação entre a massa de cimento e o volume de concreto produzido, determinando o consumo de cimento, tal qual seja igual ou acima do mínimo imposto pela norma vigente, disposto na tabela 6. O consumo de cimento das obras analisadas está demonstrado na tabela 36, onde representado pela grafia em vermelha são os traços apontados como superior ao pré-estabelecido. Também pode ser verificada a relação estabelecida a relação entre o traço em massa da areia e da brita, dividida pela massa específica de cada um deste material. Apontando que a relação a/c é referente ao traço em massa.

Tabela 36 - Consumo de cimento.

Identificação da obra	$1/\gamma_c$	a/γ_a	b/γ_b	a/c	C
Obra 1	0,333	2,880	2,520	1,080	146,8
Obra 2	0,333	2,160	2,160	1,080	174,4
Obra 3	0,333	2,880	2,880	1,440	132,7
Obra 4	0,333	2,160	2,160	0,900	180,1
Obra 5	0,333	2,160	2,160	1,080	174,4
Obra 6	0,333	2,160	2,160	1,080	174,4
Obra 7	0,333	2,880	2,520	1,080	146,8
Obra 8	0,333	2,880	2,160	1,800	139,4
Obra 9	0,333	2,160	1,440	1,080	199,5
Obra 10	0,333	0,720	0,720	1,080	350,5
Obra 11	0,333	2,160	2,160	1,080	174,4
Obra 12	0,333	2,520	1,800	1,080	174,4
Obra 13	0,333	2,520	2,520	1,080	155,0
Obra 14	0,333	2,520	2,520	1,080	155,0
Obra 15	0,333	2,160	2,160	1,080	174,4

O autor

Ainda que o ensaio de abatimento de tronco para a analisar a consistência não foi realizado, este pôde ser estimado através da fórmula de consumo de cimento disponibilizado pelo método de dosagem ABCP e analisando a tabela de abatimentos em relação ao diâmetro máximo de agregado junto com o consumo de água da massa produzida, também em função da relação entre água e cimento. Podendo ser analisados de acordo com a tabela 37.

Tabela 37 - Consumo de água e estimativa de abatimento de tronco pelo método ABCP.

Identificação da obra	Consumo de água	Agregado graúdo	Abatimento estimado (mm)
Obra 1	158,51	0	< 40
Obra 2	188,37	0	< 40
Obra 3	191,15	0	< 40
Obra 4	162,06	0	< 40
Obra 5	188,37	1	De 40 a 60
Obra 6	188,37	0	< 40
Obra 7	158,51	0	< 40
Obra 8	250,93	1	> 100
Obra 9	215,43	0	De 40 a 60
Obra 10	378,50	0 e 1	> 100
Obra 11	188,37	0	<40
Obra 12	188,37	1	De 40 a 60
Obra 13	167,36	1	<40
Obra 14	167,36	1	<40
Obra 15	188,37	1	De 40 a 60

O autor

Junto ao traço do concreto, é importante levantar informações sobre as características dos materiais utilizados e a ordem em que foram colocados, uma vez que ambas as características exercem influência acerca da resistência final e qualidade do concreto. Na tabela 38 estão expostas as características dos materiais utilizados, e na tabela 39 demonstra-se a ordem em que foram inseridas em relação ao método de mistura.

Tabela 38 - Características dos materiais empregados na mistura.

Identificação da obra	Característica dos materiais		
	Cimento	Areia	Brita
Obra 1	CP III-32	Média	0
Obra 2	CP III-32	Média/ Grossa	0
Obra 3	CP II-32	Média	0
Obra 4	CP IV-32	Média	0
Obra 5	CP IV-32	Média	1
Obra 6	CP II-32	Grossa	0
Obra 7	CP IV-32	Grossa	0
Obra 8	CP II-32	Grossa	1
Obra 9	CP IV-32	Grossa	0
Obra 10	CP IV-32	Média	0 e 1
Obra 11	CP IV-32	Média/ Grossa	0
Obra 12	CPIV-32	Grossa	1
Obra 13	CP II-32	Média	1
Obra 14	CP IV-32	Grossa	1
Obra 15	CP II-32	Grossa	1

O autor

Tabela 39 - Ordem de inserção dos materiais na mistura de concreto.

Identificação da obra	Método de mistura	Ordem da mistura dos materiais			
		Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 1	Manual	Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 3	Manual	Areia	Brita	Cimento	Água
Obra 4	Manual	Areia	Brita	Cimento	Água
Obra 8	Manual	Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 9	Manual	Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 2	Betoneira	Areia	Brita	Cimento	Água
Obra 5	Betoneira	Brita	Cimento	Água	Areia
Obra 6	Betoneira	Cimento	Brita	Areia	Água
Obra 7	Betoneira	Cimento	Areia	Brita	Água
Obra 10	Betoneira	Brita	Cimento	Areia	Água
Obra 11	Betoneira	Brita	Cimento	Areia	Água
Obra 12	Betoneira	Brita	Cimento	Água	Areia
Obra 13	Betoneira	Água	Areia	Cimento	Brita
Obra 14	Betoneira	Brita	Areia	Cimento	Água
Obra 15	Betoneira	Brita	Areia	Cimento	Água

O autor

O último aspecto a ser considerado acerca do questionário é o conhecimento dos operários em relação ao concreto em geral, como a resistência prevista ao final da cura, que é um item especificado no projeto estrutural e a importância dos materiais utilizados na mistura como a areia, brita e água, onde cada material desempenha uma função importante, sendo que a medida correta de cada qual se faz necessária. Conforme a tabela 40, é possível verificar as respostas às perguntas do questionário, identificada para cada obra.

Tabela 40 - Conhecimento dos operários em relação ao concreto.

Identificação da obra	Resistência do concreto	Importância do agregado	Importância da água
Obra 1	Não sabe	Não sabe	Menos água, mais forte. Muita água, enfraquece
Obra 2	Não sabe	Não sabe	Não sabe
Obra 3	Não sabe	A brita promove volume e a areia força	Tornar o concreto fluido, facilitar o trabalho e lançamento
Obra 4	Não sabe	Não sabe	O excesso e a falta da água enfraquecem o concreto
Obra 5	Não sabe	Não sabe	Serve para amolecer e facilitar o trabalho
Obra 6	Não sabe	Não sabe	Não quis responder
Obra 7	Não sabe	Promove a liga do concreto	Excesso gera o enfraquecimento e a falta ajuda na cura
Obra 8	Não sabe	Não sabe	Não sabe
Obra 9	Não sabe	Não sabe	Fluidez do concreto
Obra 10	Não sabe	Não sabe	Falta de água não promove a liga
Obra 11	Não sabe	Não sabe	Realizar a mistura
Obra 12	Não sabe	Não sabe	Realizar a mistura
Obra 13	Não sabe	Dar consistência e evitar dar trincas	Excesso de água enfraquece e a falta não promove a liga
Obra 14	Não sabe	Resistência e durabilidade	Não promove a liga
Obra 15	Não sabe	Não sabe	Fluidez do concreto

O autor

4.2. Dados do ensaio de compressão do concreto coletado

Após a realização do ensaio de compressão, pode ser analisado a resistência do concreto com base na força resistida pelos exemplares, bem como o valor da força em tonelada força e convertida em Newtons. Os dados podem ser verificados na tabela 41.

Tabela 41 - Resistência do concreto.

Identificação da obra	Força resistida (tf)	Resistência à compressão (MPa)
Obra 1	7,49	9,35
Obra 2	5,95	7,43
Obra 3	3,23	4,03
Obra 4	5,45	6,80
Obra 5	3,78	4,72
Obra 6	1,60	2,00
Obra 7	8,85	11,05
Obra 8	6,64	8,29
Obra 9	5,72	7,14
Obra 10	3,72	4,64
Obra 11	5,93	7,40
Obra 12	7,20	8,99
Obra 13	5,66	7,07
Obra 14	15,58	19,45
Obra 15	12,93	16,14

O autor

4.3. Dados do ensaio de compressão do concreto produzido em laboratório

Com a moldagem dos corpos de prova do concreto produzido em laboratório e a realização do ensaio de compressão respeitando as datas estabelecidas como idades de comprimento, sendo elas de 3, 7 e 28 dias, pôde-se desenvolver uma tabela que converte a força aplicada (em tf) para tensão de compressão resistente do concreto (MPa).

A tabela 42 expõe os dados obtido através do ensaio de compressão do concreto, sendo a resistência (MPa) já se encontra convertida. A divisão da tabela se dá pela idade de rompimento, tipo de dosagem e o traço aplicado.

Tabela 42 - Resistência dos concretos dosados em laboratório.

Idade	Pedra	Traço	Nº exemplar	Resistência (MPa)
3 dias	Pedra 1	Rico	1	29,7
			2	29,8
		Básico	1	12,7
			2	14,1
		Pobre	1	11,9
			2	12,9
	Pedra 0	Rico	1	20,7
			2	22,3
		Básico	1	18,4
			2	17,0
		Pobre	1	6,3
			2	6,6
7 dias	Pedra 1	Rico	1	36,6
			2	38,9
		Básico	1	21,4
			2	20,3
		Pobre	1	17,2
			2	16,1
	Pedra 0	Rico	1	34,3
			2	31,7
		Básico	1	27,9
			2	27,2
		Pobre	1	16,8
			2	13,2
28 dias	Pedra 1	Rico	1	47,4
			2	44,6
			3	34,8
		Básico	1	28,7
			2	30,4
			3	31,0
	Pedra 0	Pobre	1	23,4
			2	23,9
			3	23,7
		Rico	1	50,1
			2	48,5
			3	47,8
Básico	1	44,2		
	2	37,3		
	3	38,3		
Pobre	1	22,4		
	2	25,5		
	3	25,6		

O autor

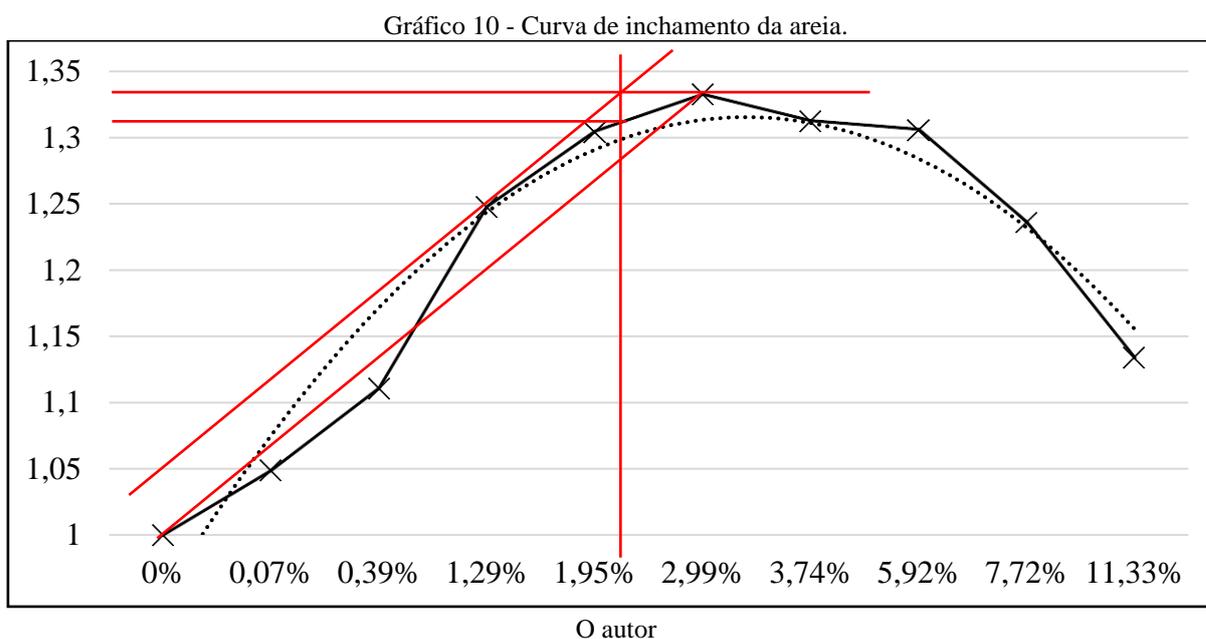
4.4. Diagrama de dosagem

Após a diagramação de cada lei de comportamento estabelecido, foi possível desenvolver os diagramas de dosagem referente à dosagem com brita 1 e a dosagem com brita 0. Utilizando os dados obtidos com através de ensaios laboratoriais realizados com o concreto, foi possível desenvolver os respectivos gráficos, unificando as leis de comportamento de *Abrams*, *Lyse* e *Molinari*, conforme descrito por Helene & Terzian (1993), em seus devidos quadrantes.

O diagrama para dosagem com brita 1 e 0 estão localizados no apêndice D, descritos como diagrama 1 e diagrama 2, respectivamente. Estes foram desenhados no software *AutoCAD*.

4.5. Curva de inchamento da areia

A curva de inchamento da areia foi gerada a partir da aplicação dos resultados obtidos através das formulações preconizadas pela NBR 6467:2006, gerando o gráfico 10.



Ainda com o gráfico, pode-se apontar que o coeficiente de inchamento médio é de 1,31 e umidade crítica por volta de 2%.

4.6. Cartilha de dosagem do concreto

O leiaute da cartilha de dosagem de concreto se encontra disponível no apêndice E, que, em escala reduzida, se encontra em uma folha A04. A cartilha original segue anexa juntamente com o trabalho desenvolvido.

5. DISCUSSÕES

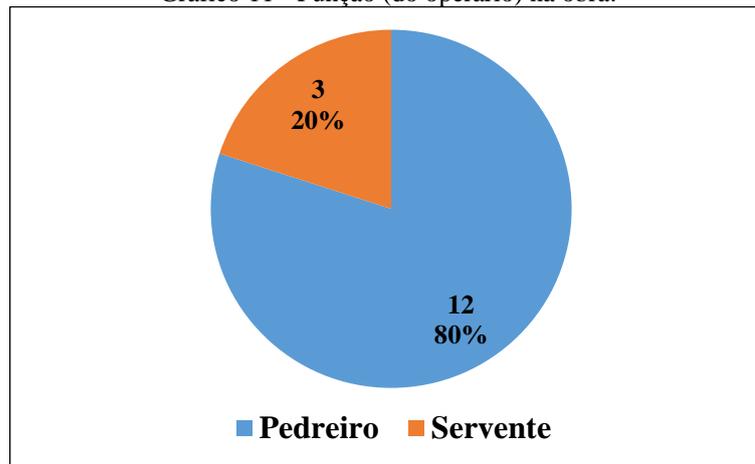
Com os dados coletados em campo, é importante transformá-los em informações, para poder determinar a conformidade do concreto desenvolvido em campo, além de afirmar se há ou não influência na resistência final do material produzido. Em relação a isso foram construídos gráficos para aplicar os dados de forma visual e trabalhar discussões sobre o assunto.

5.1. Discussão dos dados da aplicação do questionário

O parâmetro mais importante para ser comentado acerca do trabalho é o traço escolhido para a produção do concreto. Entretanto, é importante caracterizar cada produção do concreto devido a influência dos materiais no resultado final, além do método de mistura utilizado. Um fato a ser apontado foi a falta de acesso à documentos das obras e contato com engenheiro, portanto não se sabe qual a classe de agressividade e a classe de resistência do concreto aplicado nas obras em questão, entretanto, foram considerados, os materiais produzidos, para obras com agressividade classe I, sendo esta a mais branda e com a classe de resistência C20, também o mínimo exigido por norma para atender elementos estruturais. Em linhas gerais, o concreto foi analisado para os parâmetros mínimos exigidos pela NBR 12655:2015. É importante ressaltar que o concreto possuindo resistência superior à C20, os parâmetros exigidos são modificados.

Os gráficos 11 e 12 foram montados em relação à tabela 33. De acordo com o gráfico 11 é mostrado o qual a qualificação do operário que produziu o material de construção em questão, em forma de porcentagem, onde é possível notar que os concretos foram executados, em sua maioria, por pedreiros, e nas demais obras, foram por serventes.

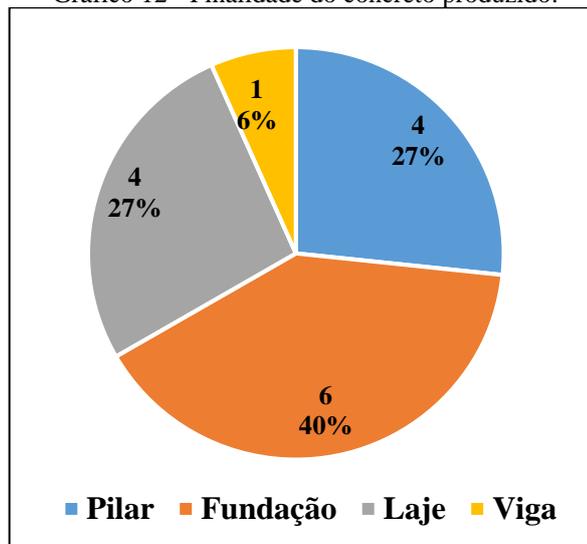
Gráfico 11 - Função (do operário) na obra.



O autor

A finalidade do concreto produzido é exposta, percentualmente, pelo gráfico 12, que se pode notar que foram executados para peças que precisam atender o mínimo de resistência previsto por norma.

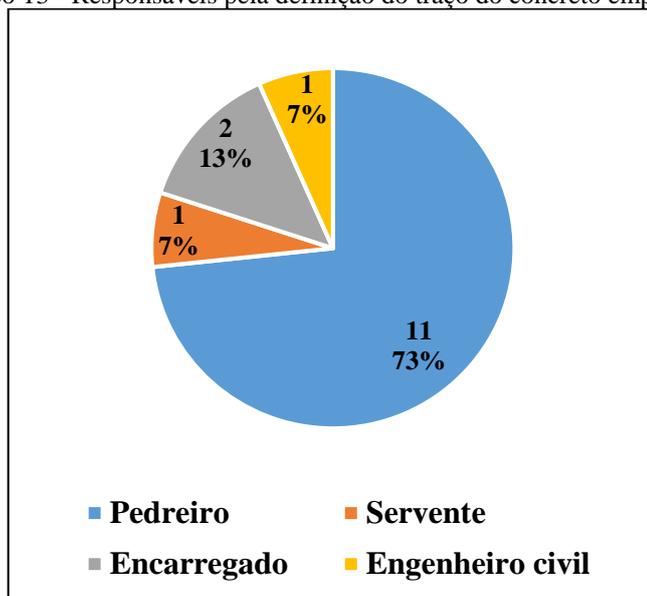
Gráfico 12 - Finalidade do concreto produzido.



O autor

Relacionados à tabela 34, têm-se os gráficos 13, 14 e 15. O primeiro parâmetro a ser considerado é acerca de quem definiu o traço do concreto utilizado, onde percebe-se, através do gráfico 13, que este é definido, na maior parcela do gráfico, pelo pedreiro da obra. É importante salientar que duas vezes o traço foi definido pelo encarregado da obra, uma vez pelo servente e apenas uma vez, pelo engenheiro civil responsável. É importante evidenciar o fato do responsável técnico não possuir influência direta na definição do traço ou informar aos operários sobre isto, uma vez que definições como classe do concreto deve ser exposto no projeto estrutural.

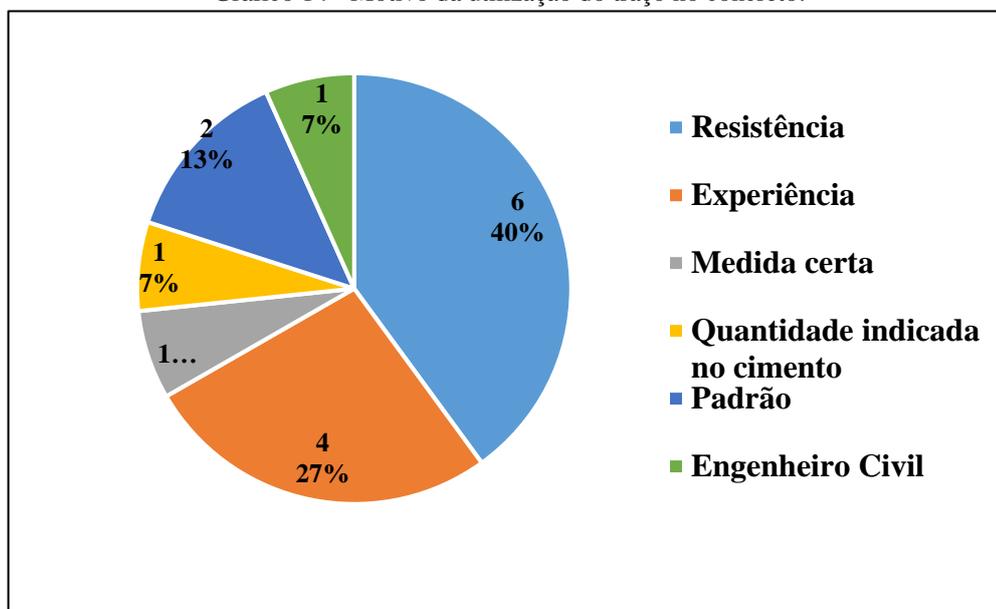
Gráfico 13 - Responsáveis pela definição do traço do concreto empregado.



O autor

Conforme a apresentação dos dados da tabela 34, no gráfico 14, notou-se que a maioria dos operários responderam que o motivo de utilização deste traço dá-se por conta de a medida dos materiais fornecerem uma melhor resistência do concreto, seguido da utilização por conta de ser uma medida que já se utiliza e já possuem experiência. Em apenas uma obra utiliza-se um traço prescrito por uma embalagem de cimento, o traço definido por um engenheiro foi aplicado apenas uma vez.

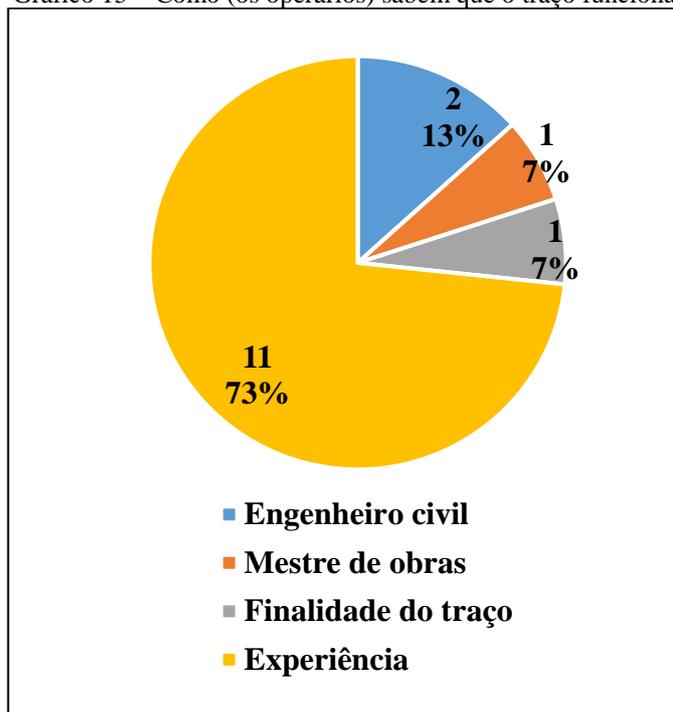
Gráfico 14 - Motivo da utilização do traço no concreto.



O autor

Com o gráfico 15 é possível ressaltar que grande parcela dos operadores utiliza este traço por já terem trabalho antes e aprendido com outros pedreiros, ou seja, sabem que a quantidade dos ingredientes utilizados funciona devido a experiência adquirida com o decorrer dos anos de trabalho. Outro ponto a salientar-se é que dois operários afirmaram que aprenderam o traço utilizado através de um engenheiro civil.

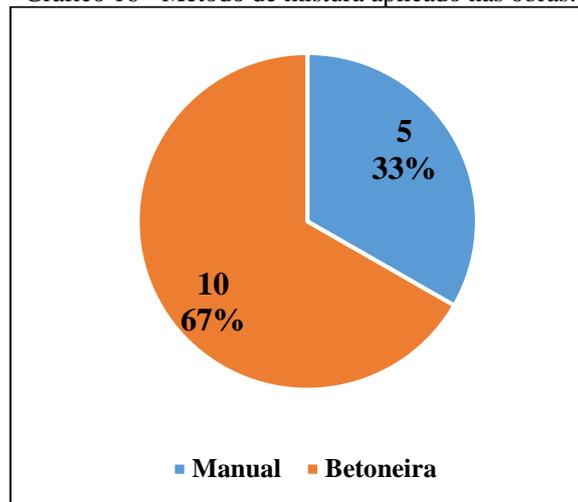
Gráfico 15 – Como (os operários) sabem que o traço funciona.



O autor

Dentre os dados coletados sobre o traço do concreto, o método de mistura é um dos mais importantes, sendo demonstrado na tabela 39, pois em função disso é possível notar que uma maior quantidade de água é adicionada nas obras que o concreto foi misturado manualmente, diferente das obras onde a mistura foi realizada através da betoneira. Entretanto, reparou-se que a quantidade de obras utilizando método mecânicos de mistura é maior do que a mistura manual, representado no gráfico 16. Pode-se afirmar que a utilização de equipamentos tem se propagado, tanto pela funcionalidade quanto por estar mais acessível.

Gráfico 16 - Método de mistura aplicado nas obras.



O autor

Ao analisar o traço do concreto, é possível notar que nenhum traço segue algum padrão literário pré-estabelecido, como a traços propostos por Ripper (1985) na tabela 8, em massa. O fator a ser analisado quanto ao traço do concreto é a quantidade utilizada dos materiais, ao analisar os traços estabelecidos por Ripper (1985), é possível notar que a massa de brita é maior que a massa de areia utilizada, entretanto, quanto aos traços obtidos nas obras, conforme tabela 35, nota-se que apenas 8, das 15 obras, possuem a massa de brita maior que a da areia, e que nas demais, os valores da massa da brita são muito próximos, iguais ou inferiores à massa da areia.

De acordo com o método de dosagem IPT, sugerido por Helene & Terzian (1993), pode-se utilizar como traço (1:m:a/c) 1:5,0: a/c como traço piloto, em que “m” é a soma dos traços dos agregados, produzindo um traço rico em que $m=3,5$ e um traço pobre em que $m=6,5$. Ao realizar uma correlação com os traços em massa aplicados na obra, de acordo com a tabela 43, é possível analisar que, de todas as obras que tiveram traços muito pobres (muito acima de $m=6,5$), apenas a obra 10 possuiu um traço entre o que é considerado rico e traço piloto pelos autores.

Tabela 43 - Soma dos traços dos agregados para correlacionar ao método de dosagem IPT.

Identificação da obra	Traço em massa (1:a:b:a/c)	Soma do traço dos agregados (m)
Obra 1	1:5,8:6,6:1,08	15,1
Obra 2	1:4,3:5,6:1,08	12,1
Obra 3	1:5,8:7,5:1,44	16,1
Obra 4	1:4,3:5,6:0,90	12,1
Obra 5	1:4,3:5,6:1,08	12,1
Obra 6	1:4,3:5,6:1,08	12,1
Obra 7	1:5,8:6,6:1,08	15,1
Obra 8	1:5,8:5,6:1,80	14,0
Obra 9	1:4,3:3,7:1,08	10,0
Obra 10	1:1,4:1,9:1,08	4,0
Obra 11	1:4,3:5,6:1,08	12,1
Obra 12	1:5,0:4,7:1,08	12,0
Obra 13	1:5,0:6,6:1,08	14,1
Obra 14	1:5,0:6,6:1,08	14,1
Obra 15	1:4,3:5,6:1,08	12,1

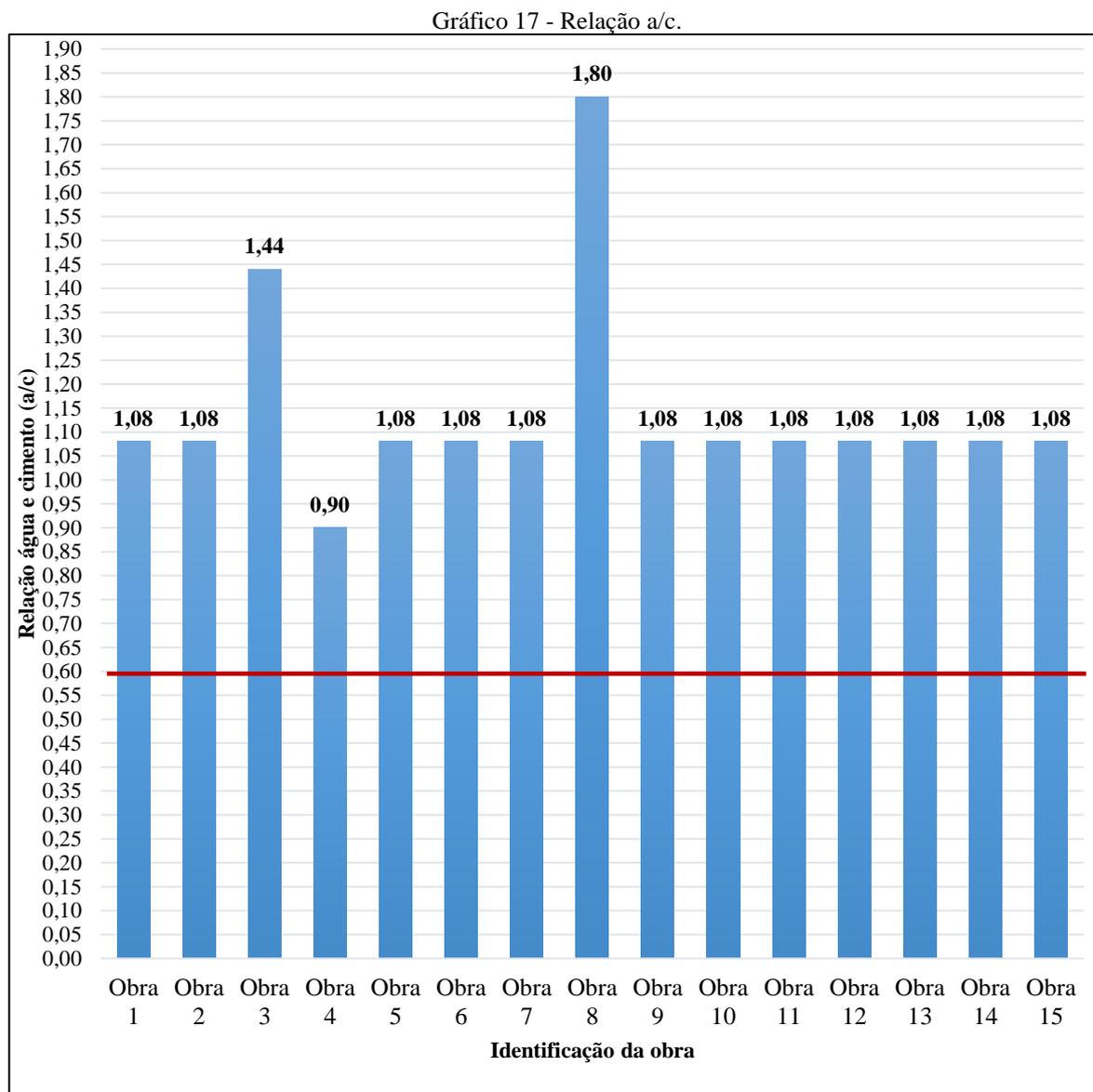
Conforme exposto por Helene & Terzian (1993), considerando m ideal = 5,0; m pobre = 6,5; e m rico = 3,5.

O autor

Em relação ao traço do concreto, é importante evidenciar que a relação água/cimento obtidos através dos questionários aplicados em obra, ao analisar a NBR 12655:2015, que estabelece que a quantidade de água em relação ao cimento em condições de agressividade classe I para o concreto C20, considerando os valores mínimos estabelecidos pela norma, o valor máximo deste coeficiente é de 0,65. Na tabela 36, é possível verificar a relação água/cimento na seção do traço em função das massas dos ingredientes, que se encontram evidenciados em letras negritas e vermelhas, nota-se que todas as obras tiveram adições de água elevadas ou quantidades baixas de cimento na mistura, uma vez que os coeficientes variaram entre 0,9 a 1,8.

É de suma importância relatar que a quantidade de água adicionada no concreto não possui controle, sendo que este material é adicionado continuamente se não promover a consistência necessária para se manipular o concreto e torna-lo fácil de ser lançado e adensado. De acordo com o gráfico 17, são determinadas o fator a/c de cada obra relacionando a uma linha vermelha que estabelece o coeficiente máximo da relação destes materiais imposto pela norma. Ressalta-se que a obra 3 e 8 possuem os maiores valores do gráfico podendo considerar o método de produção manual, que pode ser um fator influenciador da alta adição de água na mistura. Enquanto a obra 4 possui o valor mais próximo do exigido, que também foi

desenvolvida manualmente, concluindo que, mesmo ainda elevado o consumo de água, é possível executar o concreto com a quantidade menor deste ingrediente de forma manual.

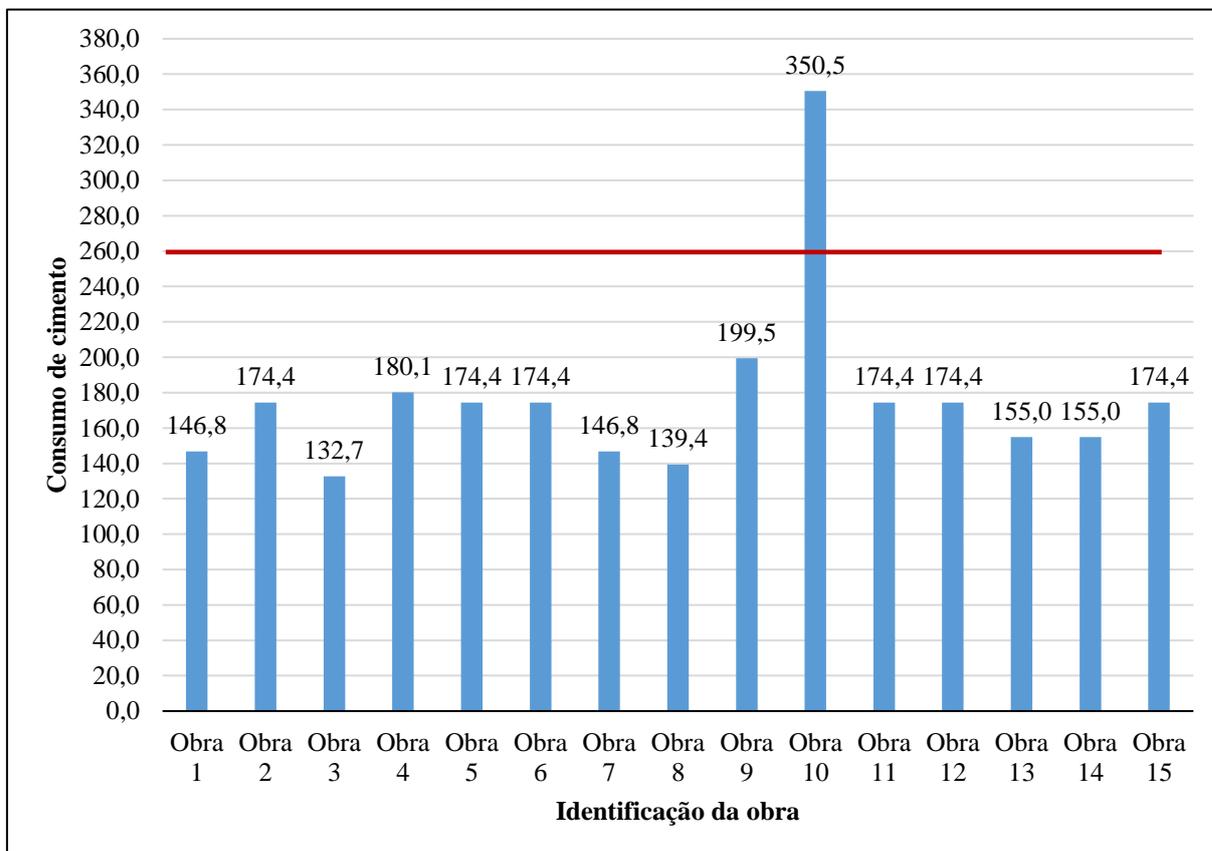


O autor

Ao analisar os aspectos normativos impostos pela NBR 12655:2015, é importante verificar o consumo de cimento utilizado na mistura do concreto, para uma mistura cuja classe de resistência é C20 e a classe de agressividade do meio em que será aplicada é I, o consumo de cimento mínimo, imposto pela norma, deve ser maior ou igual a 260 Kg/m³. Pode-se analisar o gráfico 18, onde são expostos os dados da tabela 36 sobre o consumo de cimento obtido através do refinamento do traço obtido, foi utilizado uma linha vermelha para demarcar, no gráfico, o consumo mínimo exposto por norma para um concreto simples. O gráfico mostra que

apenas a obra 10 atingiu o mínimo estabelecido pela norma e que as demais obras ficaram abaixo do estabelecido.

Gráfico 18 - Consumo de cimento



O autor

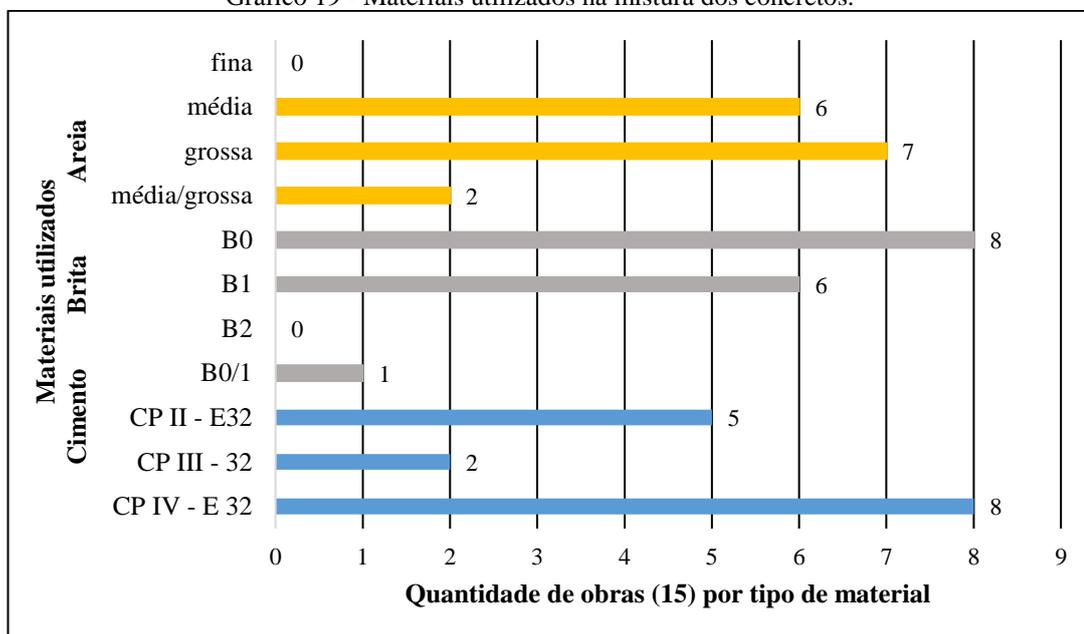
Analisando conjuntamente a relação água/cimento com o consumo de cimento da mistura, pode-se considerar dois parâmetros quanto a produção do concreto coletado nas obras, na cidade de Varginha:

- A quantidade de água da mistura de concreto está elevada. Em decorrência disso, aumenta-se o volume de concreto produzido, reduzindo o consumo de cimento para abaixo do estabelecido por norma e aumentando a relação a/c, deixando o concreto com alta trabalhabilidade e consistência, assim reduzindo a resistência final do concreto;
- A quantidade de cimento na mistura de concreto está reduzida. Em decorrência disso, o volume da massa de concreto produzido é baixo, o que resulta na redução do consumo de cimento e no aumento da relação a/c, deixando o concreto com pouca trabalhabilidade e consistência, e assim reduzindo a resistência final do concreto.

A partir do traço, utilizando o método de dosagem ABCP, é possível definir o abatimento de tronco pelo método inverso, analisando o consumo de água, que foi obtido com uma relação entre o fator água/cimento, o consumo de cimento e o maior diâmetro da brita utilizado. Ao analisar a tabela 37, onde estão expostos os *slumps* obtidos, é possível analisar que nenhum deles estão dentro de valores apreciados pela tabela 11, segundo os dados da norma vigente, e de acordo com a tabela 12, nos quais os valores são inferiores a 40 mm (limite inferior estabelecido) e valores superiores a 100 mm (limite superior estabelecido), onde os valores são estabelecidos por Ripper (1995).

Em relação às características dos materiais utilizados, é importante ressaltar, quando se refere a análise da tabela 38, que não foram utilizados areia fina na mistura do concreto, que possuem finalidade estrutural, uma vez que o uso desta areia é voltado à utilização em argamassas. Os tipos de cimentos foram diversificados, variando entre o cimento tipo CP II – E 32, CP III – 32 e CP IV – E 32. Sendo possível analisar, pelo gráfico 19, os materiais, sendo estes a areia (barras amarelas), brita (barras cinzas) e cimento (barras azuis), em que distribui as 15 obras visitadas dentre os 3 tipos de materiais.

Gráfico 19 - Materiais utilizados na mistura dos concretos.



O autor

A ordem de inserção dos materiais na mistura também interfere na qualidade final do concreto, demonstrada anteriormente na tabela 39. Referente à sequência de inserção, nota-se diversificação na sequência que são inseridos os ingredientes. Para se realizar a análise foram separadas as obras pelo seu método de mistura, especificando a ordem de inserção demonstrada pela literatura e pela norma NM 79:96:

- a) No método de mistura manual, de acordo com Souza Júnior (200-), Bueno (2000) e Couto, et al (2013), a ordem para se misturar os materiais é a areia, seguida do cimento, brita e, por último, a água.
- b) De acordo com Souza Júnior (200-) e Bueno (2000), para o método de mistura mecanizada, a ordem indicada para inserir os materiais na betoneira é, inicialmente, a brita, seguida pela metade da quantidade de água, cimento, areia e, por último, o restante da água. Analisando as obras que utilizaram a betoneira para misturar o concreto, notou-se que nenhuma das obras utilizou a divisão da quantidade de água na ordem da mistura. Entretanto, quando analisando as partes inteiras, as obras 10 e 11 usaram a ordem mais aproximada, enquanto as demais variaram a ordem que se misturou os ingredientes.

De acordo com a tabela 39, é possível analisar que as obras que utilizaram mistura manual, duas obras, 3 e 4, utilizaram um método de mistura diferente do demonstrado pela literatura, sendo a inserção da brita antes do cimento, podendo ser um fator para a má qualidade do concreto observado. Quanto às obras que utilizaram o método de mistura mecânica por meio da betoneira, notou-se que nenhuma obra utilizou a divisão da água na hora da mistura, também sendo um fator no qual pode interferir na qualidade do concreto.

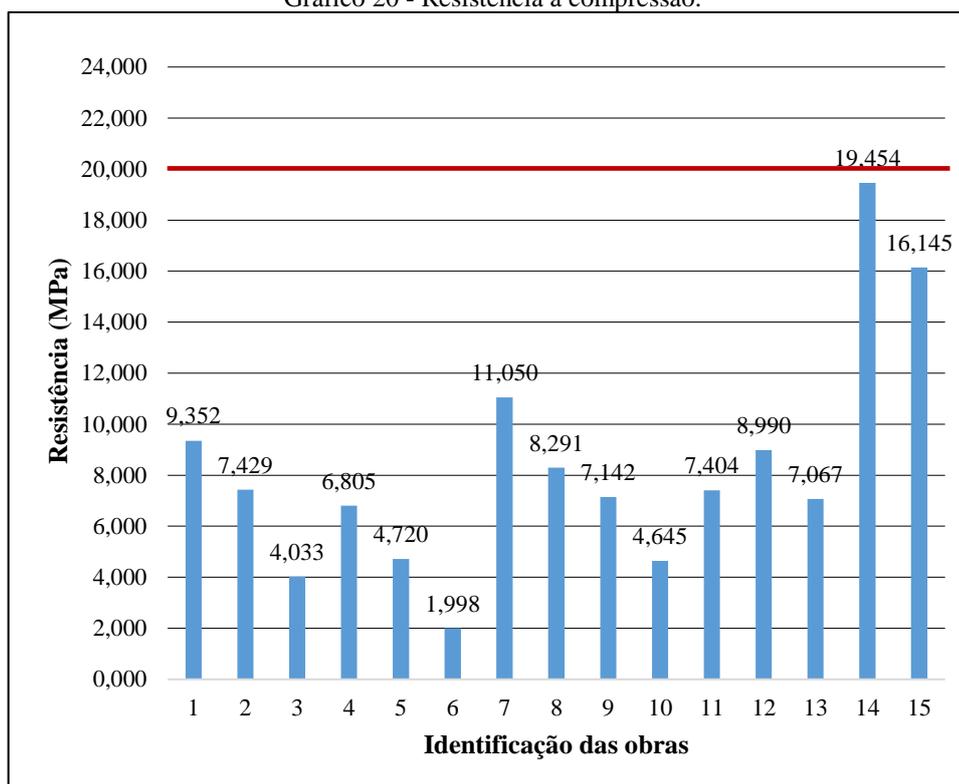
O último parâmetro a ser observado em relação ao questionário aplicado foi acerca do conhecimento sobre os materiais do concreto, sendo estes os agregados e a água, também sobre a resistência de dosagem empregada para estabelecer o traço. Ressalta-se que em todas as obras os operários não souberam responder a resistência prevista. Ainda que alguns operários responderam o que sabem sobre a importância da areia e brita, muitos não souberam responder, sendo que os operários que responderam expuseram equívocos em relação a real importância destes materiais. Em relação a utilização da água, percebe-se que esta, para quem respondeu, possui como maior importância gerar a trabalhabilidade do concreto, enquanto outros demonstraram-se equivocados. Em geral, o conhecimento acerca dos materiais é pouco, ademais, perguntar sobre o assunto gerou desconforto e insegurança para os operários.

5.2. Discussão dos dados obtidos através dos ensaios de compressão

Em relação ao estudo da resistência à compressão analisada pelo ensaio, é importante verificar quais motivos podem ter levado à resistência demonstrada pela tabela 33. O primeiro ponto a ser levantado é a questão de que todos os corpos de prova apresentaram resistência abaixo do previsto por norma em relação a elementos estruturais. Ressaltando a

obras 3, 5, 6 e 10, que tiveram resistência abaixo de 5 MPa, destes, evidenciando a obra 6, a qual teve resistência de 2 MPa e a obra 14, a qual obteve a melhor resistência à compressão, com o valor de 19,45 MPa, sendo o mais próximo da resistência mínima preconizada pela norma. Os valores podem ser analisados conforme o gráfico 20, onde é exposto os valores em colunas e demarcando, com uma linha vermelha, o valor mínimo estabelecido pela NBR 12655:2015.

Gráfico 20 - Resistência à compressão.



O autor

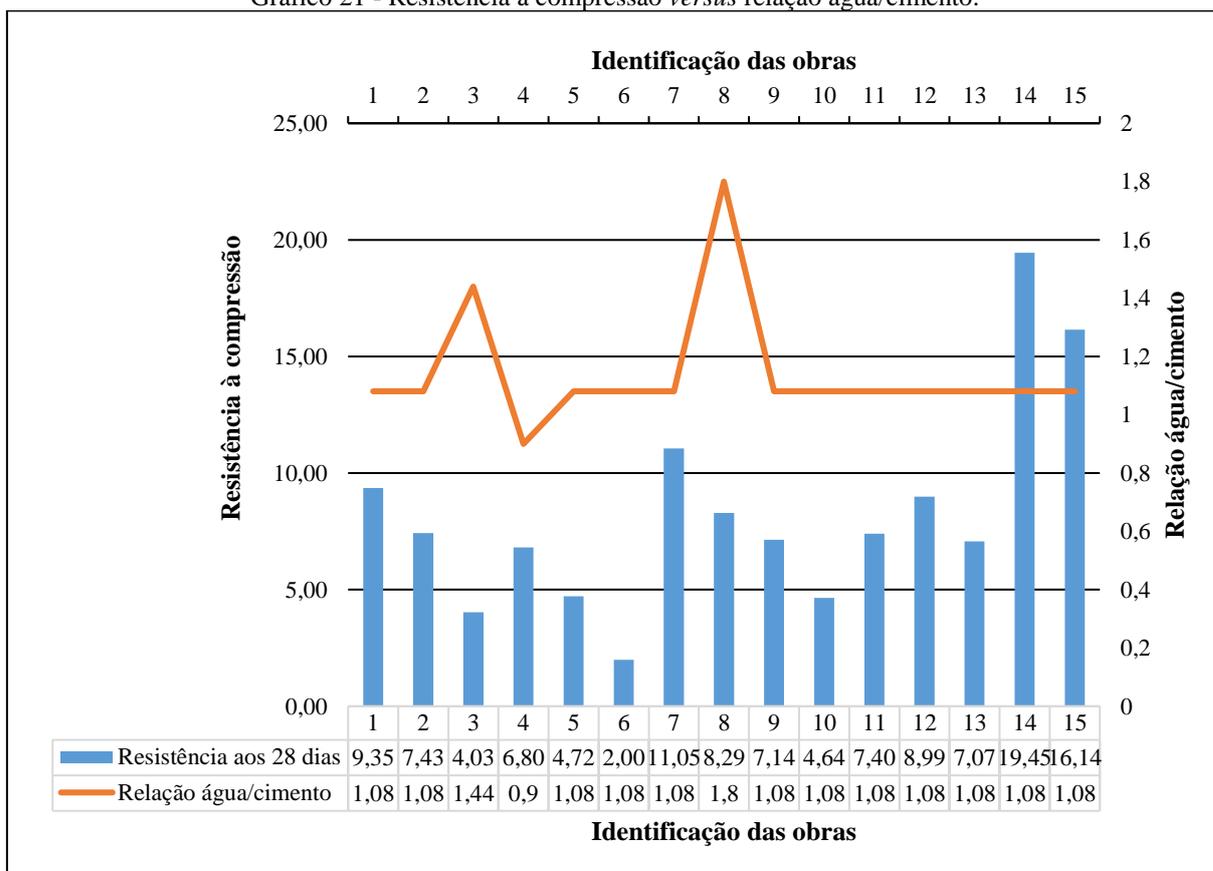
Para ser realizado uma análise do motivo da baixa resistência final dos concretos coletados, é importante realizar correlações entre a resistência e a relação água/cimento, consumo de cimento, quantidade de agregados na massa, método de mistura, qualidade dos materiais e ordem de inserção dos mesmos, para que se possa realizar uma análise geral.

5.2.1. Resistência *versus* relação água/cimento

A relação água/cimento é um fator principal para se estabelecer a qualidade final do concreto, uma vez que se pode observar restrição da NBR 12655:2015 quanto ao limite máximo a ser empregado em relação a classe de resistência do cimento e a agressividade do meio em que se encontra.

Ao analisar a gráfico 21, pode-se destacar 6 obras, as quais possuíram diferentes valores para a relação água/cimento, sendo estas as obras 3, 4, 6, 8 e 14. Em relação à obra 8, esta foi a que possuiu a maior relação a/c, entretanto foi a que apresentou uma das maiores resistências à compressão; a obra 4 foi a que possuiu o valor da relação a/c mais próximo ao estabelecido pela NBR 12655:2015, enquanto a resistência à compressão foi reduzida; a obra 3, também, possui a relação a/c mais elevada e a resistência reduzida quando comparada com a obra 8; a obra 6, a qual possuiu a pior resistência, teve a mesma relação que outras obras que possuíram a resistência melhor, como a obra 14 que possuiu o melhor desempenho, podendo deduzir que quanto a obra 6, o fator influenciador não foi a relação a/c. Em geral, a relação entre a água e o cimento pode ser o fator influenciador da má qualidade de todas as amostras de concreto colhidas. Ao analisar as obras 14, é importante ressaltar que apesar da alta relação entre os dois materiais não afetou a qualidade tanto quanto às outras amostras, devido ao melhor desempenho desta amostra.

Gráfico 21 - Resistência à compressão *versus* relação água/cimento.



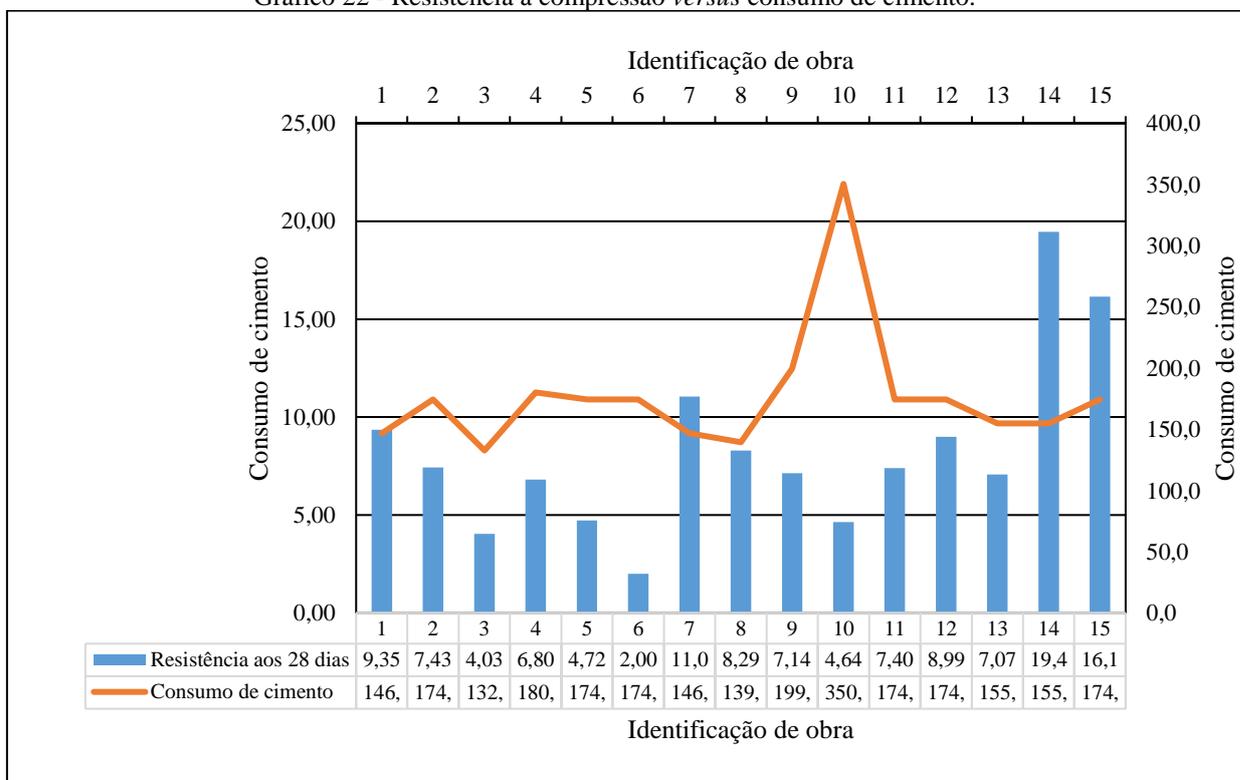
O autor

5.2.2. Resistência *versus* consumo de cimento

O consumo de cimento é outro parâmetro abordado pela norma 12665:2015, a qual estabelece limites mínimos para este consumo, uma vez que existe influência direta na relação água/cimento.

Ao observar o gráfico 22, e como já analisado, apenas a obra 10 obteve o consumo de cimento acima do estabelecido normativamente, entretanto a resistência desta obra foi abaixo da resistência mínima e abaixo da média de resistências obtidas nas obras. É importante analisar a obra 6, a qual possuiu a pior resistência à compressão, obteve o consumo de cimento abaixo do permitido por norma, evidenciando mais um fato para a não conformidade do concreto. Ao analisar a obra 14, cuja resistência foi a mais alta, possuiu um consumo de cimento muito abaixo do permitido por norma. O fator consumo de cimento é um fator que pode ter contribuído pela má qualidade final do concreto, reduzindo a resistência à compressão das amostras colhidas, quando correlacionado à relação água e cimento, nota-se que existe a influência entre eles e com a conformidade do concreto.

Gráfico 22 - Resistência à compressão *versus* consumo de cimento.



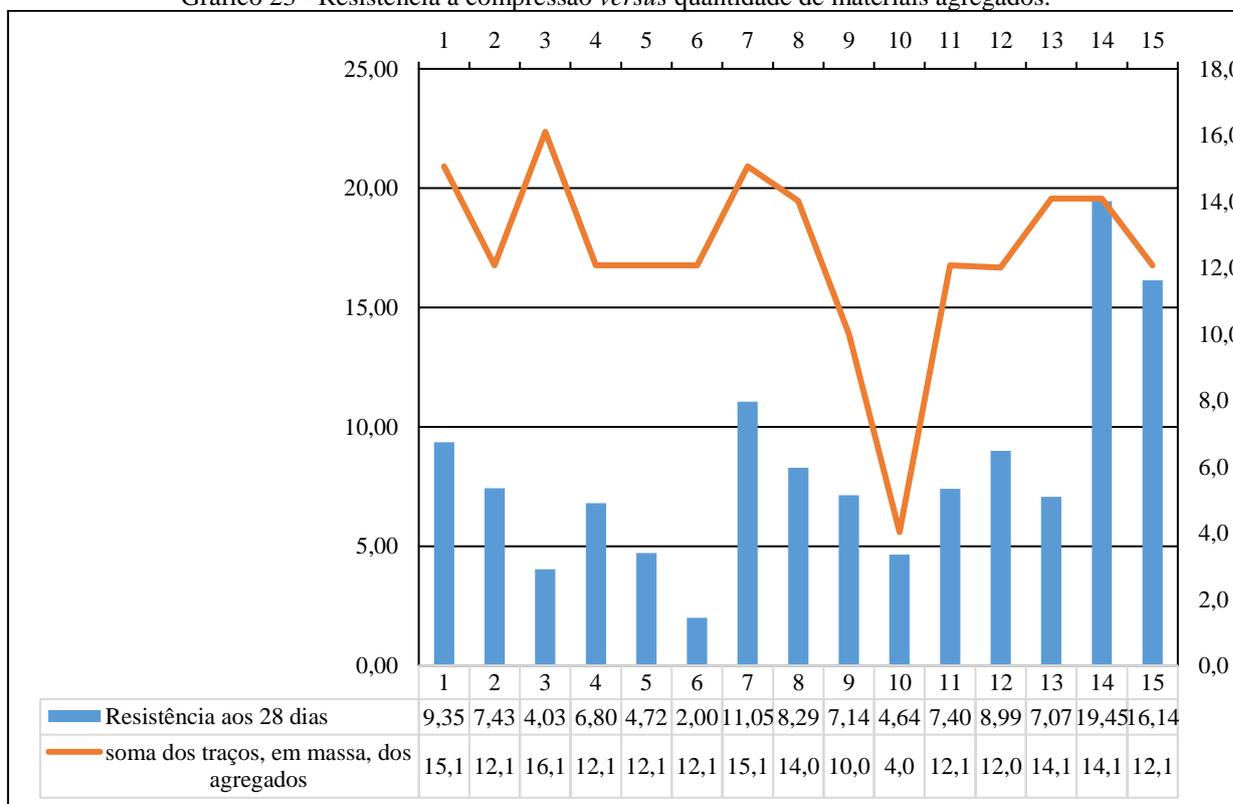
O autor

5.2.3. Resistência *versus* traço dos materiais agregados

De acordo com o método de dosagem IPT, o traço dos agregados, sugerido por Helene & Terzian (1993), pode ser idealizado como $m=5,0$, tendo traços auxiliares com a soma dos materiais agregados sendo rico ($m=3,5$) e pobre ($m=6,5$).

Observando o gráfico 23, é possível notar que todos, exceto a obra 10 que possuiu uma soma de agregados próximo a um traço rico, enquanto os demais possuíram traços acima do valor estabelecido para um traço pobre, podendo afirmar que apesar de possuir aspectos próximos aos normativos, a qualidade foi inferior aos demais. É importante analisar que a obra 6 possuiu um valor próximo ao valor 10 na soma dos agregados, sendo uma alta quantidade de agregados na composição; outra obra a ser analisada é a obra 3 que obteve o maior valor, de 13,2, apontando como fator deletério a redução da qualidade do cimento o aumento da quantidade de materiais agregados, entretanto a qualidade do concreto foi baixa. Ao analisar a obra 14 e 15, pode-se notar que apesar da quantidade de agregado da obra 14 ter sido maior que a 15, a resistência foi melhor, entretanto, a redução da quantidade de agregado pode ter elevado a resistência da obra 15.

Gráfico 23 - Resistência à compressão *versus* quantidade de materiais agregados.



O autor

5.2.4. Resistência *versus* método de mistura

Um fator a ser analisado para possível influência na resistência à compressão do concreto é o método de mistura, visto que a mistura mecânica reduz a quantidade de água inserida e o que melhora a qualidade do concreto. Ao analisar o gráfico 21, é possível ver que os maiores valores da relação água e cimento se dá para as obras 3 e 8, onde são misturadas manualmente.

Verificando a tabela 44, onde mostram, em ordem decrescente a resistência dos exemplares do concreto, em relação ao método de mistura utilizado. Observando-a, é possível notar que as maiores resistências são oriundas do método mecânico de mistura, destacando as obras 14 e 15. Entretanto, a obra 2 foi desenvolvida mecanicamente e possuiu a pior resistência à compressão.

Tabela 44 - Resistência à compressão comparado com o método de mistura, em ordem decrescente.

Identificação da obra	Resistência aos 28 dias	Método de mistura
Obra 14	19,454	Betoneira
Obra 15	16,145	Betoneira
Obra 7	11,050	Betoneira
Obra 1	9,352	Manual
Obra 12	8,990	Betoneira
Obra 8	8,291	Manual
Obra 2	7,429	Betoneira
Obra 11	7,404	Betoneira
Obra 9	7,142	Manual
Obra 13	7,067	Betoneira
Obra 4	6,805	Manual
Obra 5	4,720	Betoneira
Obra 10	4,645	Betoneira
Obra 3	4,033	Manual
Obra 6	1,998	Betoneira

O autor

5.2.5. Resistência *versus* características dos materiais utilizados

Como visto, as características dos agregados podem interferir na qualidade final do concreto. É importante ressaltar que a utilização de materiais, ao analisar a tabela 45, as obras cujas resistências foram as maiores, utilizaram areia grossa e brita 1, sendo que quanto maior o diâmetro dos agregados, maior a resistência desde que estejam na proporção correta. No entanto, ao analisar as obras 12 e 8, nota-se que, mesmo utilizando os mesmos agregados, a

resistência foi inferior. Enquanto o pior concreto coletado, obra 2, utilizou-se areia grossa e brita 0.

Tabela 45 - Resistência à compressão comparado com as características dos materiais utilizados.

Identificação da obra	Resistência aos 28 dias	Cimento	Areia	Brita
Obra 14	19,454	CP IV - E 32	Grossa	1
Obra 15	16,145	CP II - E 32	Grossa	1
Obra 7	11,050	CP IV - E 32	Grossa	0
Obra 1	9,352	CP III - 32	Média	0
Obra 12	8,990	CP IV - E 32	Grossa	1
Obra 8	8,291	CP II - E 32	Grossa	1
Obra 2	7,429	CP III - 32	Média/ Grossa	0
Obra 11	7,404	CP IV - E 32	Média/ Grossa	0
Obra 9	7,142	CP IV - E 32	Grossa	0
Obra 13	7,067	CP II - E 32	Média	1
Obra 4	6,805	CP IV - E 32	Média	0
Obra 5	4,720	CP IV - E 32	Média	1
Obra 10	4,645	CP IV - E 32	Média	0 e 1
Obra 3	4,033	CP II - E 32	Média	0
Obra 6	1,998	CP II - E 32	Grossa	0

O autor

5.2.6. Resistência *versus* ordem de inserção dos materiais

O último ponto a ser analisado separadamente acerca dos possíveis influenciadores da resistência final do concreto, é importante ressaltar a ordem de inserção dos materiais, certo que as reações químicas do cimento acontecem a partir do primeiro contato com a água, e após a adição da água, o tempo de pega se inicia.

Analisando a tabela 46 juntamente com a discussão sobre a inserção dos materiais, onde foi observado que, pela utilização da betoneira não foram utilizados padrões na inserção. Enquanto, ao observar, ao observar a mistura manual, a ordem utilizada seguia padrões literários, e quando analisada a resistência das obras que desenvolveram manualmente os concretos, observa-se que, dentre elas, a que seguiram padrões estabelecidos pela literatura, obtiveram melhores qualidade. No entanto, as obras que realizaram o concreto de maneira mecânica, produziram um concreto de maior qualidade, ao observar a ordem de inserção, nenhuma respeitou a ordem descrita por algum autor, entretanto, as obras 14 e 15 seguiram o mesmo padrão de inserção, sendo que este se aproxima da sequência indicada pela literatura.

Tabela 46 - Resistência à compressão comparado com a ordem de inserção dos materiais.

Identificação da obra	Resistência aos 28 dias	Ordem da mistura dos materiais			
Obra 14	19,454	Brita	Areia	Cimento	Água
Obra 15	16,145	Brita	Areia	Cimento	Água
Obra 7	11,050	Cimento	Areia	Brita	Água
Obra 1	9,352	Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 12	8,990	Brita	Cimento	Água	Areia
Obra 8	8,291	Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 2	7,429	Areia	Brita	Cimento	Água
Obra 11	7,404	Brita	Cimento	Areia	Água
Obra 9	7,142	Areia	Cimento	Brita	Água
Obra 13	7,067	Água	Areia	Cimento	Brita
Obra 4	6,805	Areia	Brita	Cimento	Água
Obra 5	4,720	Brita	Cimento	Água	Areia
Obra 10	4,645	Brita	Cimento	Areia	Água
Obra 3	4,033	Areia	Brita	Cimento	Água
Obra 6	1,998	Cimento	Brita	Areia	Água

O autor

5.2.7. Exemplar de concreto da obra 10

Ao romper o exemplar da amostra de concreto da obra 10, a qual esperava-se um desempenho melhor do que os demais devido a utilização da mistura de diferentes diâmetros de brita e areia grossa; mistura mecânica, por betoneira; único consumo de cimento acima do mínimo estabelecido normativamente; relação entre a água e o cimento na média dos demais exemplares de concreto, não sendo um dos maiores utilizados e possuindo uma massa de agregado próximo a um traço rico definido por Helene & Terzian (1993); teve-se uma resistência baixa, de 4,6 Mpa.

Este baixo desempenho do corpo de prova da obra 10 se deu devido a um elemento deletério encontrado no meio deste exemplar, sendo o elemento pedaços de papelão oriundos do saco do cimento. Ao romper a amostra, pode-se notar que o cisalhamento aconteceu justamente onde se encontravam os resquícios do material, podendo ser analisado o processo de cisalhamento na figura 24 e na figura 25 pode ser observado os elementos no interior do corpo de prova.

Figura 24 - Cisalhamento do corpo de prova colhido na obra 10.



O autor

Figura 25 - Material deletério (papelão) na amostra de concreto.



O autor

5.2.8. Análise geral da resistência à compressão

Ao realizar a análise pontual as razões das baixas qualidades dos concretos encontrados, pôde-se observar que, de maneira geral, os concretos não são realizados conforme a NBR 12655:2015, destoando na razão água/cimento e consumo de cimento. Também, ao utilizar como parâmetro de qualidade os métodos de dosagem, como o ABCP e IPT, é possível analisar que destoam na quantidade de agregados adicionados na mistura. Ao realizar a análise a literatura em relação ao método de desenvolvimento e a ordem de inserção, é necessário que divergem do que é oferecido como parâmetro. De maneira geral, é possível apontar a baixa qualidade dos concretos produzidos nas obras de pequeno e médio vulto, na cidade de Varginha, a não conformidade do concreto com o que é oferecido, como amparo para um concreto de boa qualidade, na literatura por especialistas.

5.3. Discussão acerca da dosagem do concreto

As discussões acerca da dosagem do concreto, em suma, se referem aos aspectos de dosagem obtidos como a relação entre a água e o cimento, consumo de cimento, bem como os resultados do ensaio de compressão aos 28 dias de idade.

Um ponto importante a ser levantado é que a relação do concreto pobre, dosado com a brita 1 se estabelece acima limite permitido normativamente para concretos com classe de agressividade II, podendo ser admitido para classes de agressividade I, e o coeficiente para a dosagem com brita 0, do traço pobre, se encontra no limite permitido. O limite é apontado no gráfico sendo uma linha vermelha disposta no fator água cimento 0,65.

Entretanto, mesmo com o fator entre a água e o cimento acima do estabelecido por norma, a dosagem realizada, aplicada o método IPT, tem o intuito de desenvolver as curvas de dosagem. Devido a isso, ao se aplicar a *Lei de Abrams*, a curva de dosagem deve apontar que o concreto alcança a resistência prevista, de 25 MPa aos 28 dias, sem ultrapassar o limite da relação a/c e sendo superior ao consumo de cimento mínimo estabelecido. Sendo, assim, possível determinar novos traços a partir da análise das curvas de dosagem.

5.4. Comparação entre o concreto dosado em laboratório e o coletado em obra

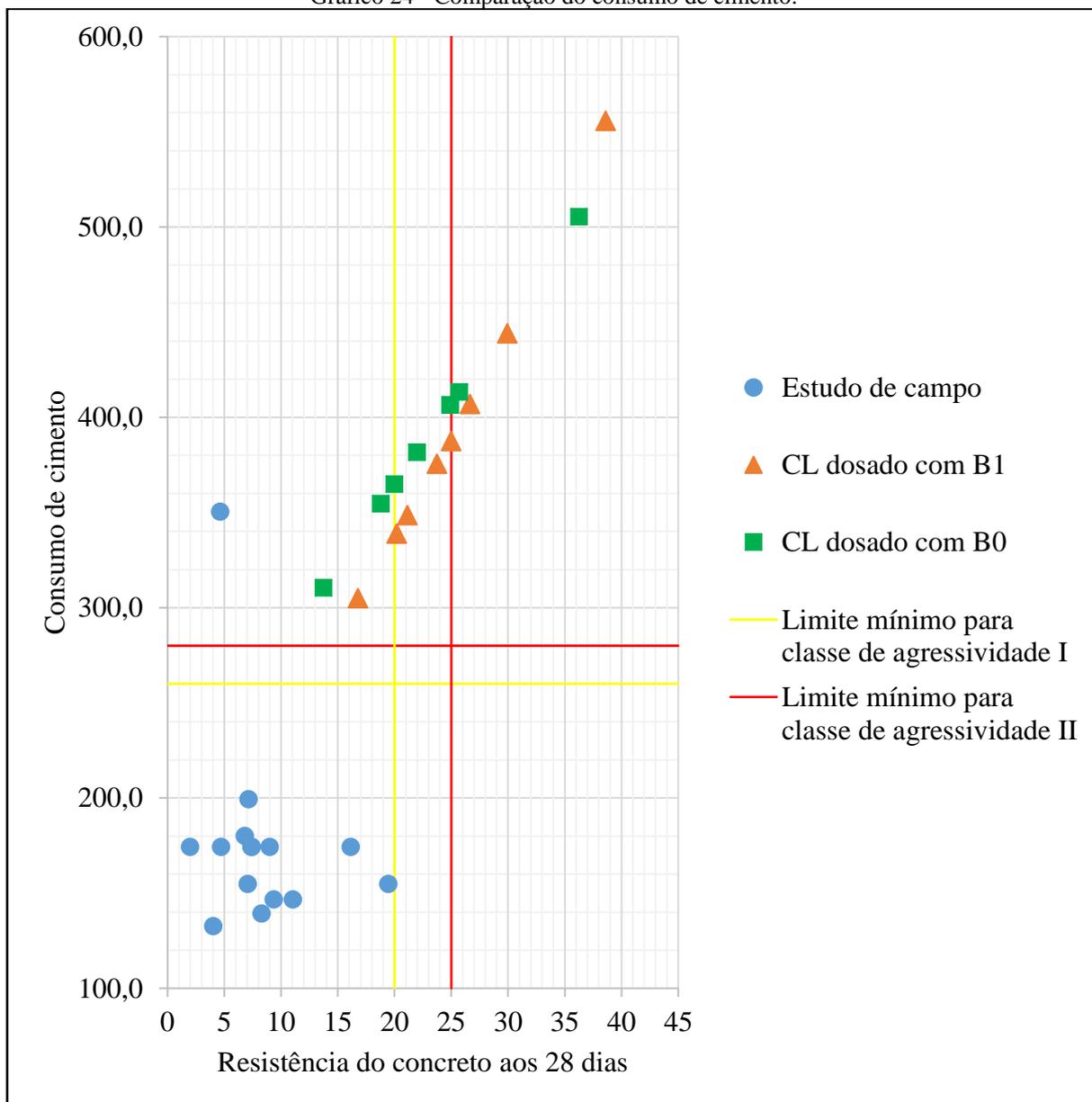
Ao definir os parâmetros do concreto coletado em obras e do concreto produzido em laboratório, é possível fazer comparações acerca das propriedades destes como a relação entre

o consumo de cimento, fator água e cimento e a resistência à compressão do concreto, ao final dos 28 dias de idade.

5.4.1. Comparação do consumo de cimento com os concretos estudados

Realizando a comparação entre o consumo de cimento e a resistência à compressão aos 28 dias, entre a pesquisa de campo e o estudo laboratorial e os limites permitidos por norma, gerou-se o gráfico 24.

Gráfico 24 - Comparação do consumo de cimento.



O autor

Com a exposição de dados no gráfico e a legenda já inclusa, indica-se, com linhas coloridas, os limites preconizados pela NBR 12655:2015, sendo que, em amarela se encontra

os limites para a classe de agressividade I, com a resistência mínima prevista para 20 MPa aos 28 dias de idade e consumo de cimento mínimo de 260 Kg/m³; tem-se em linha vermelha os limites para a classe de agressividade II, sendo que a resistência é de 25 MPa aos 28 dias de idade e o consumo de cimento mínimo de 280 Kg/m³; na cor azul, com marcadores em formas de círculo é demonstrado os resultados dos concretos coletados em obra, sem demais identificações, sendo que as necessárias serão apontadas individualmente; com marcadores triangulares, na cor alaranjada, são demonstrados os concretos laboratoriais (CL) dosados com brita 1 e; os marcadores quadrados na cor verde são os concretos laboratoriais dosados com brita 0.

Uma vez que os concretos coletados em campos, referente às obras espalhadas pela cidade de varginha, foram analisados como classe de agressividade I (limite mínimo de 260 kg/m³), os concretos produzidos em laboratório foram desenvolvidos obedecendo os limites definidos para classe de agressividade II (limite mínimo 280 kg/m³).

Ao analisar o gráfico é possível realizar algumas verificações:

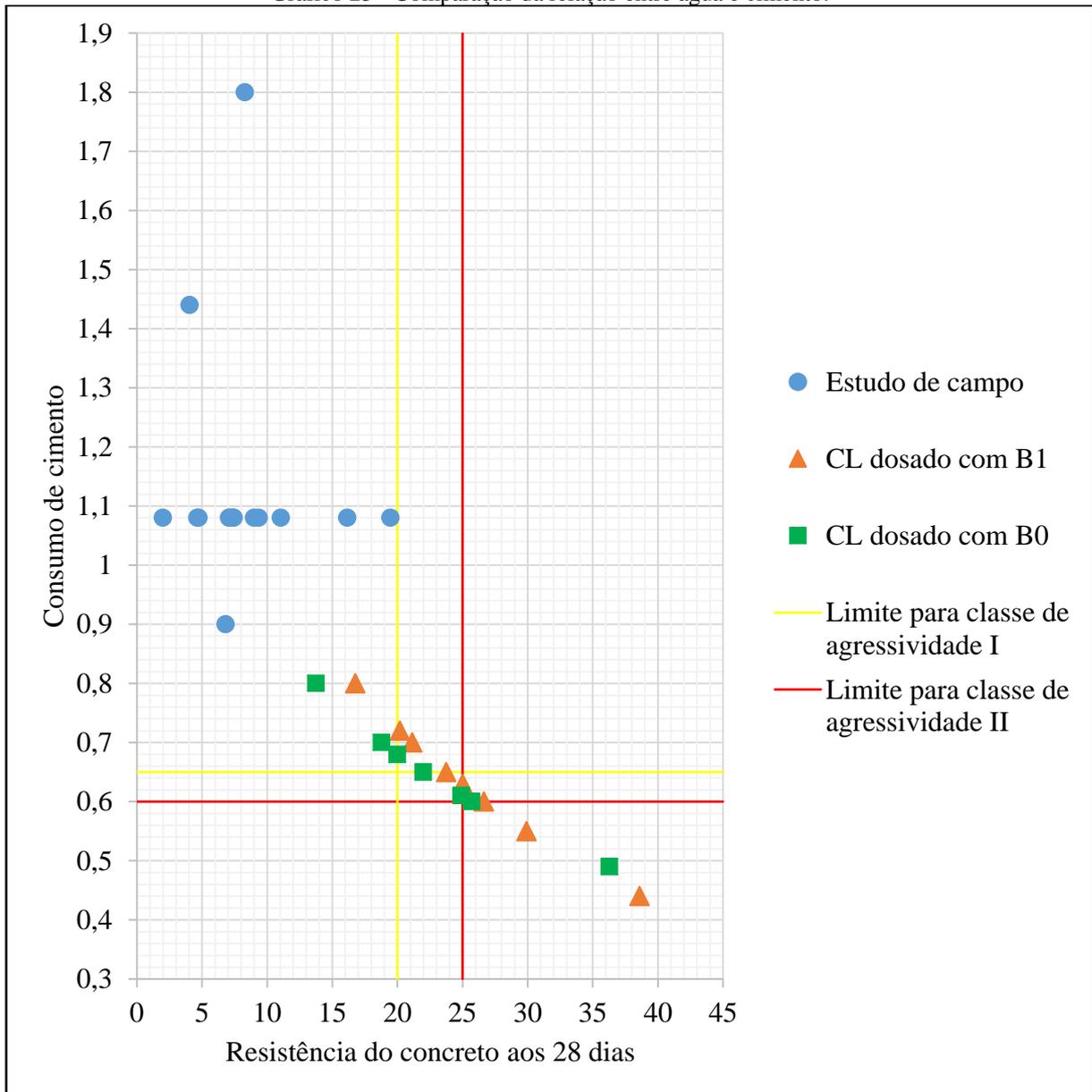
- a) A maior parcela dos concretos coletados das obras ficou abaixo do consumo de cimento mínimo para sua respectiva classe apontada como estudo, bem como a resistência aos 28 dias, excetuando a obra 10, que teve o consumo de cimento acima, conforme pôde ser analisado pelo gráfico;
- b) Aponta-se que, os exemplares de concreto dosados com brita 1, alcançaram a resistência mínima aos 28 dias de idade, para respectiva classe de agressividade estudada, quando atingiram o consumo de cimento de 375,6 kg/m³, sendo que este consumo é cada vez maior a cada redução do fator água e cimento e aumento da resistência;
- c) A dosagem de concreto com brita 0 se encontra na mesma classe de agressividade que a dosagem com brita 1. Aponta-se que o consumo de cimento para a resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias se dá em 406,71 kg/m³.

Ressalta-se que, o consumo de cimento elevado indica alto consumo de material. Entretanto, este valor deve ser suprido para que o concreto possua conformidade com a norma vigente, aumentando sua qualidade e durabilidade ao longo do tempo.

5.4.2. Comparação da relação entre a água e o cimento com os concretos estudados

Para comparar o fator água cimento da mistura dos concretos analisados, foram utilizados, também, parâmetros normativos conforme disposto pela NBR 12655:2015 para essa análise, assim compondo o gráfico 25.

Gráfico 25 - Comparação da relação entre água e cimento.



O autor

Ao analisar o gráfico 26, segundo a legenda, explica-se que são dispostos, em linha amarela, os limites para a resistência do concreto, aos 28 dias de idade, para classe de agressividade I, sendo como 20 MPa, conforme disposto pela NBR 12655:2015, bem como o limite para a relação a/c sendo o máximo de 0,65; ainda conforme a norma, para a classe de

agressividade II, têm-se a resistência à compressão mínima de 25 MPa e o fator a/c de 0,60, como máximo; na cor azul, com marcadores em formas de círculo é demonstrado os resultados dos concretos coletados em obra, sem demais identificações, sendo que as necessárias serão apontadas individualmente; com marcadores triangulares, na cor alaranjada, são demonstrados os concretos laboratoriais (CL) dosados com brita 1 e; os marcadores quadrados na cor verde são os concretos laboratoriais dosados com brita 0.

Com a construção do gráfico e a colocação das linhas limites, é possível verificar os resultados de maneira crítica, levantando as seguintes observações acerca das comparações:

- a) Ao observar os concretos coletados em obras é possível verificar e ressaltar que a resistência à compressão deles encontram-se abaixo do permitido por norma, referente à sua classe de agressividade (20 MPa), bem como o fator a/c se demonstra bem acima do máximo permitido, demonstrando que nenhum dos concretos estão conforme a norma;
- b) Para o concreto dosado com brita 1, pode apontar que a resistência à compressão em 25 MPa (mínimo estabelecido por norma para classe de agressividade II) é alcançado quando o fator a/c é de 0,63, sendo este acima do mínimo estabelecido (0,60), tornando inviável a resistência de 25 MPa. Para a relação a/c de 0,60 se tem a resistência prevista de 26,7 MPa;
- c) O mesmo acontece com o concreto dosado com brita 0, em que a resistência de 25 MPa é alcançada quando o fator a/c é de 0,61, sendo acima do permitido normativamente. Para a relação a/c de 0,60, tem-se um concreto com resistência prevista para 25,7 MPa

Mesmo confirmado que os concretos dosados laboratorialmente têm sua viabilidade quando o fator a/c é acima de 26,7 e 25,7 MPa para concreto dosado com brita 1 e 0, respectivamente, para a dosagem do concreto com o diagrama de dosagem, é necessário aplicar o desvio padrão, sendo que assim, a resistência de dosagem se torna acima do previsto normativamente, o que torna o concreto viável para a classe de agressividade II.

5.5. Diagrama de dosagem

Pode-se realizar algumas discussões acerca do diagrama de dosagem, como a aplicação do diagrama de dosagem e como é definido o traço ao utilizá-lo e determinar alguns traços referentes à diferentes classes de dosagens.

5.5.1. Aplicação do diagrama de dosagem

Para os diagramas de dosagem expostos no apêndice D, pode-se determinar como é realizada a dosagem através dele, estipulando parâmetros do ambiente, materiais utilizados e resistência do concreto, utilizando como exemplo a dosagem de um concreto com resistência de 20 MPa, utilizando brita 0:

- a) O primeiro passo para realizar a dosagem é determinar os dados a serem aplicados. Para o diagrama construído deve-se respeitar os materiais que são apontados para constituir o concreto, como sendo:
 - i. Cimento Portland CPII-E 32;
 - ii. Areia de brita média, sendo ela industrializada, com módulo de finura de 2,58;
 - iii. Brita 0, com diâmetro máximo ($D_{máx}$) de 12,5 mm.
- b) Fixa-se como constante, o teor de argamassa da mistura, sendo de 60%;
- c) É preciso definir a resistência de dosagem, sendo esta, utilizando o desvio padrão presente na tabela 6, conforme o seguindo a resolução de acordo com a equação 39, utilizando a resistência desejada de 20 MPa (f_{cm}) e o desvio padrão (δ) de 5,5.

$$f_c = f_{cm} + 1,65 \cdot \delta \therefore f_{ck} = 20 + 1,65 \cdot 5,5 \therefore f_{ck} = 29,07 \text{ MPa} \quad \text{Eq. 39}$$

Em que:

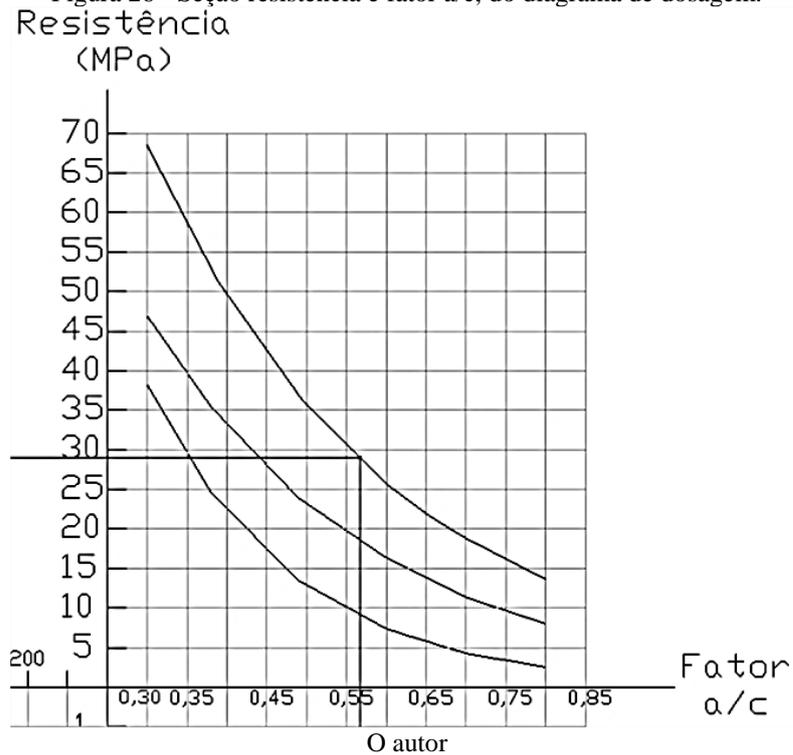
f_c a resistência de dosagem do concreto;

f_{cm} a resistência média desejada;

δ é o coeficiente de variação.

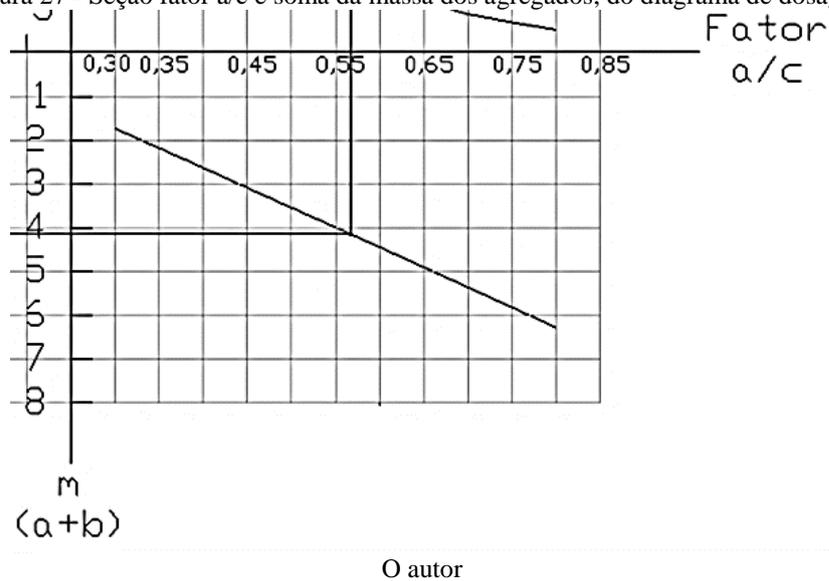
- d) Com a resistência de dosagem determinada, encontra-se o fator água e cimento utilizando o diagrama de dosagem. Para a resistência de 20 MPa, têm-se a/c de 0,58 – abaixo do máximo estabelecido pela NBR 12655:2015 – encontrado conforme a figura (diagrama) 26;

Figura 26 - Seção resistência e fator a/c, do diagrama de dosagem.



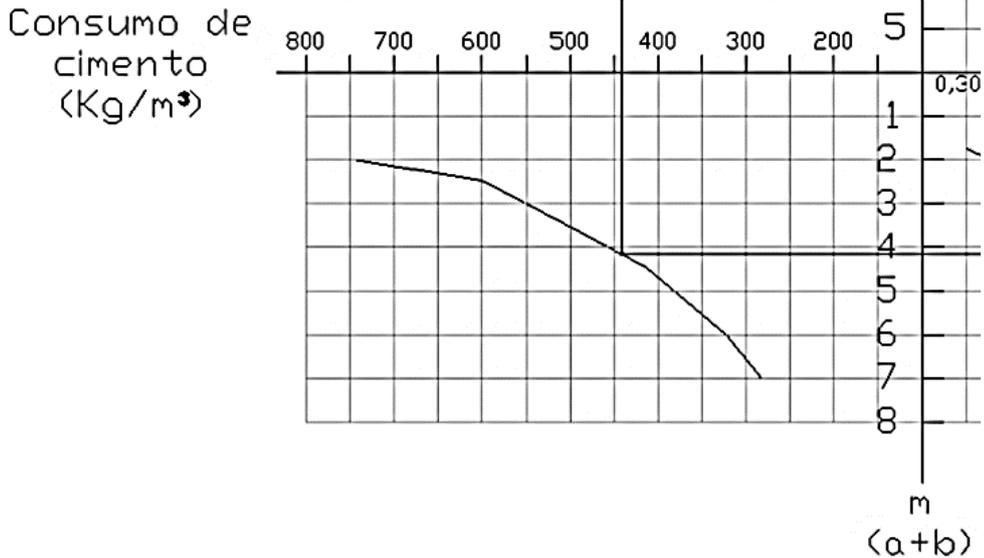
- e) Com o fator a/c fixado, determina-se a soma da massa dos agregados, conforme a imagem 27, que indica a massa sendo como 4,15;

Figura 27 - Seção fator a/c e soma da massa dos agregados, do diagrama de dosagem.



- f) Utilizando o diagrama, para encerrar, é determinado o consumo de cimento, conforme a figura 28, sendo determinado como consumo de cimento 441,13 Kg/m³;

Figura 28 - Seção massa dos agregados e consumo de cimento, do diagrama de dosagem.



O autor

- g) Para a separação da soma da massa dos agregados (determinado como 4,15) é necessário aplicar na fórmula que determina o teor de argamassa na mistura, que foi fixado sendo como 60%, aplicando na equação 40;

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m} \therefore 0,6 (60\%) = \frac{1 + a}{1 + 4,15} \therefore a = 2,10 \quad \text{Eq. 40}$$

Em que:

- α é o teor de argamassa;
- a é o traço da areia na mistura;
- m é a soma dos agregados.

- h) A determinação do traço da brita é determinada através da formulação da soma da massa dos agregados, conforme a equação 41, em que já se conhece a soma da massa e o traço da areia;

$$m = a + b \therefore 4,15 = 2,1 + b \therefore b = 2,05 \quad \text{Eq. 41}$$

Em que:

- m é a soma dos agregados;
- a é o traço da areia na mistura;
- b é o traço da brita na mistura;

- i) Determinação final do traço, juntando as informações obtidas, sendo 1: 2,1: 2,05: 0,58.

5.5.2. Traços obtidos através do diagrama de dosagem

Com a aplicação do diagrama de dosagem, pôde-se obter traços para diferentes classes de resistências, analisando se então conforme a NBR 12655:2015, observando o fator água e cimento e o consumo de cimento (CC). É válido ressaltar que estes traços, para serem aplicados, deve-se realizar a correção do inchamento da areia, o que resulta na mudança do volume a ser incrementada, de água, e o desvio padrão (δ) em que estes foram aplicados refere-se à $\delta = 5,5$, ou seja, obras em situações classe B. Os traços foram separados conforme:

- a) Concreto C20: Para o concreto com classe de resistência 20, sua resistência aos 28 dias de idade deve ser correspondente à 20 MPa, de acordo com a NBR 12655:2015, bem como o fator água e cimento com máximo de 0,65 e consumo de cimento de, no mínimo, 260 Kg/m³. Os traços obtidos com a dosagem, referente aos dosados com brita 1 e 0 podem ser analisados conforme tabela 47, observa-se que o traço está conforme estabelecido normativamente;

Tabela 47 - Dosagem do concreto para classe C20.

Identificação	Cimento	Areia	Brita	a/c	CC (Kg/m ³)
Brita 1	1	2,05	1,95	0,56	435,91
Brita 0	1	2,1	2,05	0,58	441,39

O autor

- b) Concreto C25: Para o concreto com classe de resistência 25, sua resistência aos 28 dias de idade deve ser correspondente à 25 MPa, de acordo com a NBR 12655:2015, bem como o fator água e cimento com máximo de 0,60 e consumo de cimento de, no mínimo, 280 Kg/m³. Os traços obtidos com a dosagem, referente aos dosados com brita 1 e 0 podem ser analisados conforme tabela 48, observa-se que o traço está conforme estabelecido normativamente;

Tabela 48 - Dosagem do concreto para classe C25.

Identificação	Cimento	Areia	Brita	a/c	CC (Kg/m ³)
Brita 1	1	1,7	1,7	0,5	501,65
Brita 0	1	1,8	1,9	0,52	482,93

O autor

- c) Concreto C30: Para o concreto com classe de resistência 30, sua resistência aos 28 dias de idade deve ser correspondente à 30 MPa, de acordo com a NBR 12655:2015, bem como o fator água e cimento com máximo de 0,55 e consumo de cimento de, no mínimo, 320 Kg/m³. Os traços obtidos com a dosagem,

referente aos dosados com brita 1 e 0 podem ser analisados conforme tabela 49, observa-se que o traço esta conforme estabelecido normativamente;

Tabela 49 - Dosagem do concreto para classe C30.

Identificação	Cimento	Areia	Brita	a/c	CC (Kg/m³)
Brita 1	1	1,4	1,5	0,44	565,8
Brita 0	1	1,6	1,7	0,48	520,28

O autor

5.6. Comparação dos traços laboratoriais com traços das obras

O desenvolvimento de comparativos entre os traços obtidos através de experimentação laboratorial, com os traços coletados nas obras visitadas demonstra a diferença entre estes em relação ao consumo de cimento, fator água cimento e a soma dos materiais agregados, ao se comparar os traços referentes ao da classe de agressividade I, os quais foram estudados os concretos coletados em campo. Estes dados são expressos na tabela geral 50, onde são demonstradas todas as informações referentes aos traços, lembrando que foram agrupados traços iguais, obtidos em obra, ordenados de forma crescente referente ao traço da areia.

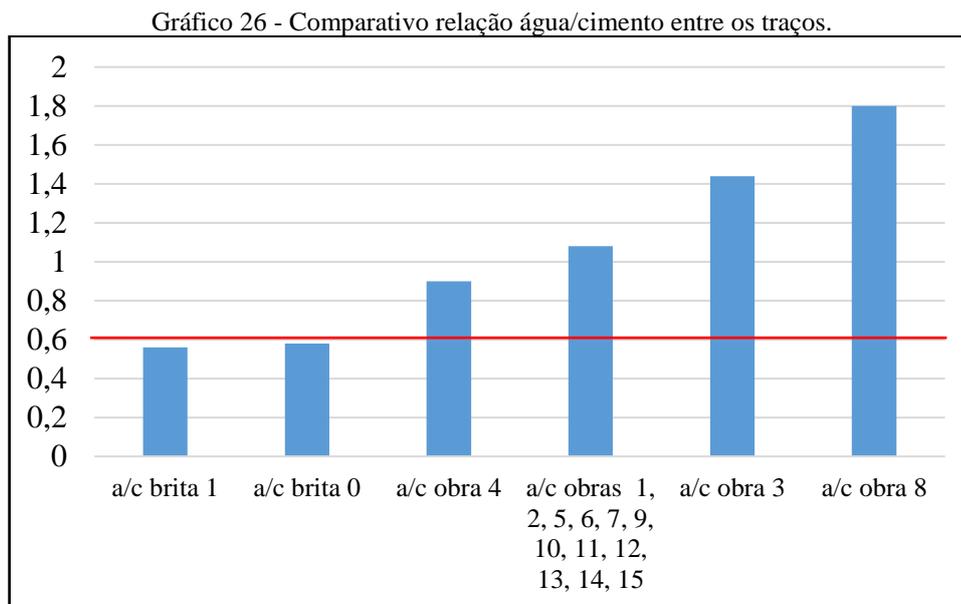
Tabela 50 - Tabela geral de traços.

Traço dosagem b1						
Identificação	c	a	b	a/c	Soma dos agregados	Consumo de cimento
C20	1	2,05	1,95	0,56	4	435,91
Traço dosagem b0						
Identificação	c	a	b	a/c	Soma dos agregados	Consumo de cimento
C20	1	2,1	2,05	0,58	4,15	441,39
Traço das obras						
Identificação	c	a	b	a/c	Soma dos agregados	Consumo de cimento
Obra 10	1	1,9	2,1	1,08	4,0	350,5
Obra 9	1	5,8	4,2	1,08	10,0	199,5
Obra 4	1	5,8	6,2	0,9	12,1	180,1
Obra 2, 5, 6, 11, 15	1	5,8	6,2	1,08	12,1	174,4
Obra 12	1	6,8	5,2	1,08	12,0	174,4
Obra 13, 14	1	6,8	7,3	1,08	14,1	155,0
Obra 8	1	7,8	6,2	1,8	14,0	139,4
Obra 1, 7	1	7,8	7,3	1,08	15,1	146,8
Obra 3	1	7,8	8,3	1,44	16,1	132,7

O autor

5.6.1 Comparativo relação água/cimento

Ao analisar a seção da tabela referente ao consumo de água e cimento, pode-se desenvolver um gráfico comparativo entre os valores, bem como o limite estabelecido pela NBR 12655:2015 para determinação da conformidade do concreto, disposta como uma linha vermelha no valor de a/c 0,60. Com as informações obtidas pode-se desenvolver o gráfico 26.



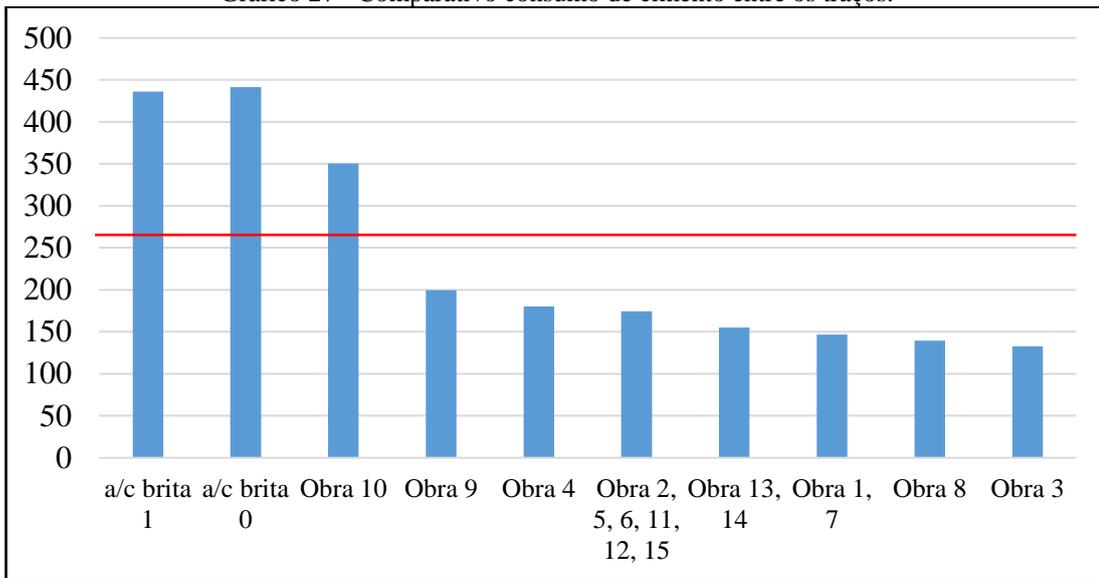
O autor

Pode-se afirmar que os traços de concretos encontrados através das curvas de dosagem possuíram um resultado da relação entre a água e o cimento abaixo do estabelecido pela norma, uma vez que os traços que foram verificados em obras utilizam a água em quantidades acima do permitido, como pode ser verificado pelo gráfico, constatando sua não conformidade. Destaca-se a obra 8 que possui a maior quantidade de água, sendo esta equivalente a aproximadamente 4 vezes maior que o a/c da dosagem com brita 1.

5.6.2. Comparativo consumo de cimento

Outra seção da tabela a ser analisada é o consumo de cimento, uma vez que é outro parâmetro que é estabelecido pela NBR 12655:2015, sendo que o limite mínimo para a classe de agressividade I é de 260 Kg/m³, sendo demonstrado como uma linha vermelha no gráfico 27 desenvolvido.

Gráfico 27 - Comparativo consumo de cimento entre os traços.



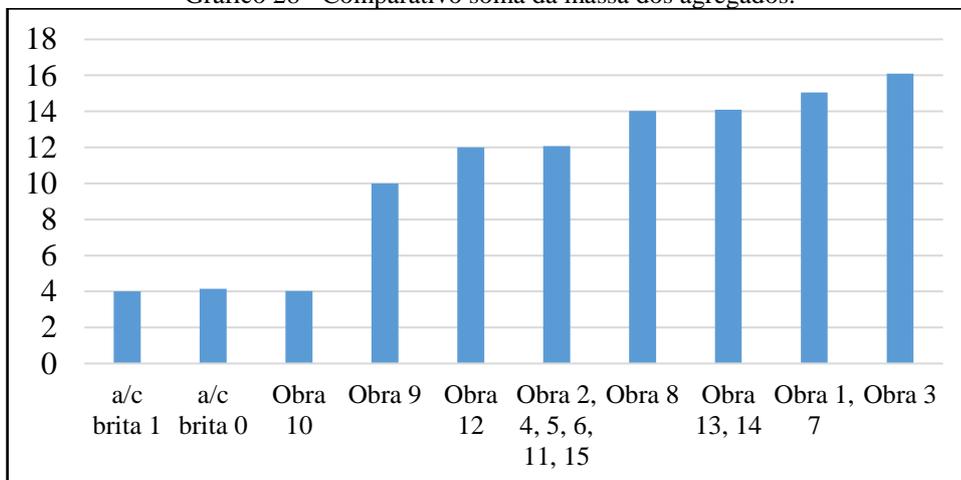
O autor

Em questão do consumo de cimento, nota-se que apenas três dos traços quanto ao consumo de cimento, sendo estes os traços resultantes da dosagem através do diagrama, bem como o concreto produzido na obra 10, estando, assim, conforme a norma, neste quesito, enquanto os restantes dos traços colhidos em obra obtiveram resultados abaixo do permitido.

5.6.3. Comparativo soma da massa dos agregados

Outro comparativo que pode ser desenvolvido é acerca da soma da massa dos agregados, que, apesar de não ser estabelecido normativamente, pode-se estimar grandezas conforme o gráfico 28.

Gráfico 28 - Comparativo soma da massa dos agregados.



O autor

Ao analisar o gráfico, pode-se determinar que os concretos analisados em campo foram utilizados altas taxas de agregado, exceto na obra 10, que, juntamente com os valores das dosagens em laboratório, foram valores próximos de 4, na soma, o que significa que foram utilizados cerca de duas vezes mais agregados na mistura destes concretos do que os traços obtidos por dosagem. Isto implica que se pode obter um concreto dentro dos padrões normativos e com boa qualidade ponderando os elementos que o compõe.

5.7. Cartilha de dosagem

O que se pode abordar como discussão para a cartilha de dosagem de concreto refere-se que a aplicabilidade da mesma se dá apenas quando se utiliza os materiais indicados para serem utilizados, sendo que, qualquer material que não possua as determinadas características, o diagrama de dosagem se torna inviável.

As características dos materiais são:

- a) Para dosagem com brita 1:
 - i. Cimento Portland CII E-32;
 - ii. Brita gnaisse com diâmetro máximo de 19,1 mm;
 - iii. Areia média industrializada com módulo de finura de 2,58.
- b) Para dosagem com brita 0:
 - i. Cimento Portland CII E-32;
 - ii. Brita gnaisse com diâmetro máximo de 12,5 mm;
 - iii. Areia média industrializada com módulo de finura de 2,58.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez que, preconizado pela NBR 12655:2015, estão os parâmetros que devem ser obedecidos para concretos produzidos *in loco*. A partir desta norma regulamentadora, este trabalho apresentou a análise da conformidade do concreto produzido em obras de pequeno porte, na cidade de Varginha-MG, de maneira a identificar inconformidade com o método de preparo do concreto com sua qualidade e resistência à compressão.

A identificação da conformidade do concreto se deu através da aplicação de um questionário a fim de verificar dados do processo de confecção do concreto, desde suas características até o traço utilizado para o preparo da mistura. Levantando dados sobre o conhecimento do executor relacionados à resistência prevista e a influência dos materiais agregados e da água na qualidade do concreto.

Ao realizar o refinamento dos dados obtidos em campo e transforma-los em informações, notou-se a inconformidade em relação a todo seu processo de execução, desde a ordem de inserção dos materiais, realizada de maneira indefinida, sem nenhuma padronização entre as obras até os itens identificados como sem conformidade, o traço aplicado foi o mais preocupante, uma vez que foi notado a não utilização de uma dosagem experimental, a utilização de traços com demasiada aplicação de água e proporção dos agregados em excesso, sem devido controle, sem padronização da quantidade de materiais agregados e pouco cimento. Ao realizar a análise dos dados levantados e comparando-os com a resistência à compressão das amostras de concreto coletadas em campo, com os resultados obtidos, foi possível determinar a má qualidade atrelada junto a não conformidade da execução do concreto *in loco*. E essa situação se dá de maneira cultural e a partir da negligência e a falta de interferência de profissionais da área da construção civil para a melhoria da qualidade final do concreto aplicado nas residências, com finalidade estrutural.

Ao realizar as dosagens experimentais utilizando materiais estudados na região e desenvolvidos os diagramas de dosagem, foi possível extrair os traços (de ambas dosagens) referente à classe de agressividade II, ou seja, em que a resistência à compressão, aos 28 dias de idade, tenha alcançado 25 MPa, que é a classificação mínima estabelecida pela norma. E, quando comparados com os traços coletados nas obras, é possível identificar e reafirmar que a má qualidade do concreto se dá devido à má gestão e manejo dos materiais aplicados, apontando a quantidade excessiva de água adicionada à mistura juntamente com a alta taxa de agregados aplicados, resultando em uma mistura que proporciona resistência.

Em geral, com evidências oriundas de estudos em campo e em laboratório, detectou-se que existe uma parcela de concretos executados em obras sem conformidade com a norma vigente, o que gerou a má qualidade dos mesmos. Os estudos supracitados possuem o intuito de promover um choque de realidade para uma possível amenização da negligência que acontece com a execução de concretos *in loco*, ajudando a promover a qualidade dos concretos e a conformidade com NBR 12655:2015. A cartilha desenvolvida com os resultados obtidos auxilia a exposição destes dados para melhor ser difundidos no meio da construção civil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, D. A. Design of Concrete Mixtures. **Structural Materials Research Laboratory**, May 1919.
- AMERICAN CONCRETO INSTITUTE. **211.1-91**: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. Detroit: [s.n.], 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico da utilização do cimento portland**. 7ª. ed. São Paulo: [s.n.], 2002. 28 p. BT-106.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpo de prova. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregado para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e acietação - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: [s.n.], 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: [s.n.], 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 79**: Concreto - Preparação de concreto em laboratório. Rio de Janeiro: [s.n.], 1996.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 137**: Argamassa e concreto - água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1980.
- BOGGIO, A. J. Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concreto de Cimento Portland. **Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, Dezembro 2000.
- BUENO, C. F. H. Tecnologia de Materiais de Construção. **Departamento de Engenharia Agrícola, Construções Rurais e Ambiente da Universidade Federal de Viçosa**, 2000.
- CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. D. F. **Concreto Armado**. São Carlos: EduFSCar, 2015.
- COUTO, J. A. et al. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, Outubro 2013. 49-58.
- FONSECA, J. B. D. et al. **Patologias Geradas por Vícios na Construção**, Florianópolis, 2011. 33-36.
- HELENE, P. R. D. L.; LANDI, F. R. Contribuição ao Estabelecimento de Parâmetros para Dosagem e Controle dos Concretos de Cimento Portland. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, São Paulo, 1992. BT/PCC/63.
- HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 2010. 905-944.
- HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Pini, 1993.
- HELENE, P.; TUTIKIAN, B. F. Dosagem dos concretos de cimento portland. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.
- ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais**. 1ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2007.
- KOMAR, A. G. Mineral Binding Agents. In: VOROBYEV, V. A. **Building Materials**. Moscow: Higher School Publishing House, 1962. p. 77-116.
- KOSMATKA, S. H.; KERKHOFF, B.; PANARESE, W. C. **Design and Control os Concrete Mixtures**. 14ª. ed. Skokie: Portland Cement Association, 2002. 358 p.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- PEDROSO, F. L. Concreto: As Origens e a Evolução do Material Construtivo Mais Usado Pelo Homem. **Concreto&Construções**, n. 53, p. 14-19, 2009.

- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland**. São Paulo: Globo, 1998.
- PIANCA, J. B. **Manual do Construtor**. 17^a. ed. Porto Alegre: Globo, 1979.
- RIBEIRO, R. J. et al. Um estudo das propriedades mecânicas do concreto para fins estruturais preparado em canteiro de obras. **IBRACON estruturas e materiais**, 9, Outubro 2016. 722-744.
- RIPPER, E. **Como evitar erros na construção**. 2^a. ed. São Paulo: PINI, 1986.
- RIPPER, E. **Manual Prático de Materiais de Construção**. 1^a. ed. São Paulo: PINI, 1995.
- RODRIGUES, P. P.. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. São Paulo : ABCP, 1984.
- SALGADO, J. **Técnicas e Práticas Construtivas para Edificação**. São Paulo: Editora Érica, 2009.
- SANTIAGO, W. C. Estudo da (Não-)Conformidade de Concretos Produzidos no Brasil e sua Influência na Confiabilidade Estrutural. **Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos** , São Carlos, 2011.
- SILVA, W. R. L. D. Concreto Dosado em Central: Proposta de Metodologia de Controle de Qualidade e Identificação das Causas de Variabilidade no Processo de Produção de Concreto. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina**, Maio 2010. Florianópolis.
- SOUZA JÚNIOR, T. **Estruturas de Concreto Armado**, 2003. 54 p. Notas de aula.
- VARELA, M. **Mini Curso de Dosagem de Concreto Método ABCP/ACI**: Congresso Científico Universidade Portiguar. [S.l.]: [s.n.], 2012.
- YAZIGI, W. A **Técnica de Edificar**. São Paulo: Pini, 2011.

APÊNDICE A – Questionário aplicado em obra

Este questionário se refere ao método de preparo, focando na dosagem e no controle tecnológico, do concreto:

Identificação da obra: _____

1. Qual a sua função na obra?

- Servente;
- Pedreiro;
- Encarregado;
- Mestre de obras.

2. Para qual finalidade está sendo feito o concreto?

- Fundação;
- Pilar;
- Viga;
- Laje;

Outros: _____

3. Quem definiu o traço do concreto?

- Engenheiro civil;
- Mestre de obras;
- Encarregado;
- Pedreiro;
- Servente.

4. Se 3 não for marcada como Engenheiro Civil, por que a utilização deste traço?

5. Se 3 não for marcada como Engenheiro Civil, como você chegou ao conhecimento de que este traço funciona?

6. Você sabe qual a resistência do concreto que está produzindo?

- 20MPa;
- 25MPa;
- 30MPa;
- Não sabe.

Outros: _____

7. Quais são, quanto é utilizado e a ordem que são postos os materiais na confecção do concreto que está produzindo;

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

8. Local onde foi realizada a mistura:

- Betoneira;
- Chão.

9. Você sabe qual a importância dos agregados na composição do concreto?

10. Você sabe o que pode acontecer com o excesso ou a falta de água no concreto?

APÊNDICE B – Quadro de imagens: corpos-de-prova de concreto

Identificação da obra

Corpo de prova de concreto

Obra 1



Obra 2



Obra 3



Obra 4



Obra 5



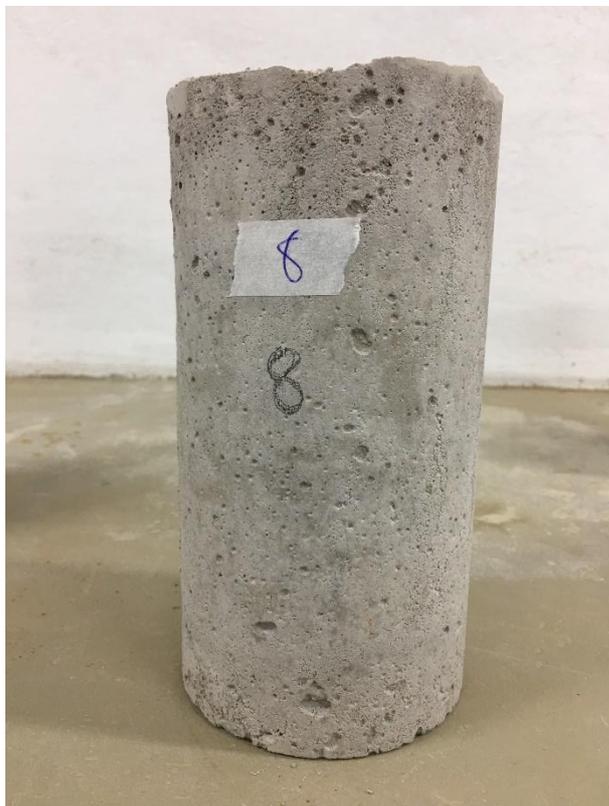
Obra 6



Obra 7



Obra 8



Obra 9



Obra 10



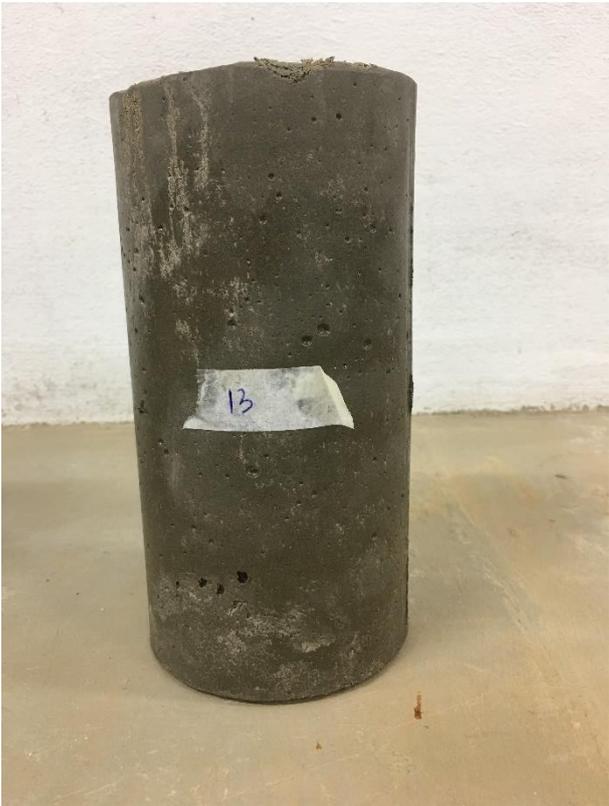
Obra 11



Obra 12



Obra 13



Obra 14



Obra 15



APÊNDICE C – Quadro de imagens: Exemplos de corpos de prova rompidos

Identificação da obra

Corpo de prova de concreto rompido

Obra 1



Obra 2



Obra 3



Obra 4



Obra 5



Obra 6



Obra 7



Obra 8



Obra 9



Obra 10



Obra 11



Obra 12



Obra 13



Obra 14



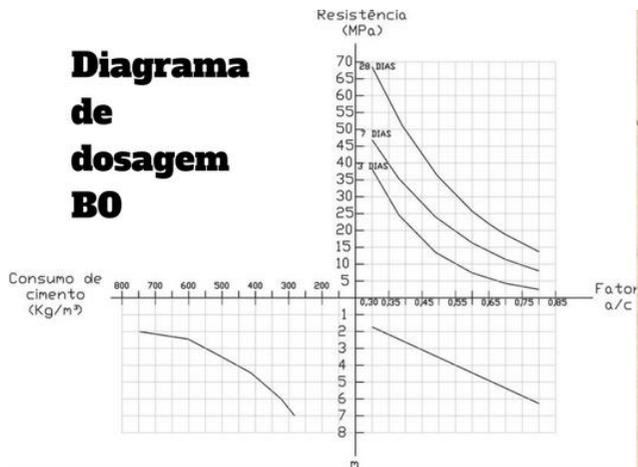
Obra 15



APÊNDICE D – Diagramas de dosagem

APÊNDICE E – Cartilha de dosagem do concreto

Diagrama de dosagem BO



De acordo com a norma: A condição A, em que o cimento e os agregados são medidos em massa e a água é medida em massa ou volume; B, quando o cimento é medido em massa, a água é medida em volume e os agregados medidos em massa combinada com volume; C, é apenas aplicada para concreto classe 10 e 15, portanto não pode ser aplicado em concretos estruturais.

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

Fonte: NBR 12655:2015

Limites impostos normativamente para a/c, resistência e Consumo de cimento

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	Concreto armado	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Classe do concreto (ABNT NBR 8953)	Concreto Armado	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto (kg/m³)	Concreto armado e concreto protendido	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360

Fonte: NBR 12655:2015

CARTILHA PARA DOSAGEM DO CONCRETO

AUTOR

Phelipe Gomes Silva
phegomes@gmail.com

PROFESSOR ORIENTADOR

Yago Petrim Cruz

AGRADECIMENTOS



Através do método IPT e correção do traço com o inchamento da areia

PARÂMETROS PARA DOSAGEM

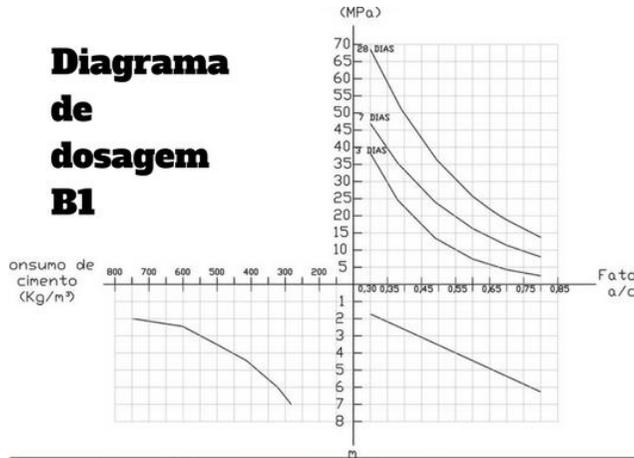
Com brita I deve-se respeitar as seguintes características:

- Cimento CP II E-32;
- Brita gnaisse, com Dmáx de 19,1 mm - M. U. 149 kg/dm³;
- Areia industrializada média, com módulo de finura de 2,58 - M. U. 180 kg/dm³;
- Teor de argamassa de 61%.

Com brita 0 deve-se respeitar as seguintes características:

- Cimento CP II E-32;
- Brita gnaisse, com Dmáx de 12,5 mm - M. U. 149 kg/dm³;
- Areia industrializada média, com módulo de finura de 2,58 - M. U. 180 kg/dm³;
- Teor de argamassa de 60%.

Diagrama de dosagem B1



COMO FAZER A DOSAGEM?

A seguir, um exemplo de como realizar a dosagem para um concreto C20 (20 MPa), considerando Classe de Agressividade I, utilizando brita 0:

1 - Definir a resistência de dosagem, em que f_c é a resistência que se procura no diagrama, f_{cm} é a resistência que se almeja e δ é o desvio padrão retirado da NBR 12655:2015, utilizado a condição B ($\delta=5,5$):

$$f_c = f_{cm} + 1,65 \cdot \delta \quad \therefore f_{ck} = 20 + 1,65 \cdot 5,5 \quad \therefore f_{ck} = 29,07 \text{ MPa}$$

2 - Relacionar, no diagrama para brita 0, a resistência aos 28 dias, e encontrar a relação a/c , sendo este de 0,58. Logo após, definir a soma da massa de agregados com o eixo m , sendo este de 4,25. E o consumo do cimento, equivalente a 441,13 kg/m³;

3 - Para determinar o traço do concreto utiliza-se o teor de argamassa (α), em que a é a areia e m é a massa dos agregados e b é a quantidade de brita:

$$\alpha = (1+a)/(1+m) \quad \therefore 0,6 \text{ (60\%)} = (1+a)/(1+4,15) \quad \therefore a = 2,10$$

$$m = a + b \quad \therefore 4,15 = 2,1 + b \quad \therefore b = 2,05$$

Resultando o traço (cimento : areia : brita : água):

$$1 : 2,1 : 2,05 : 0,58 \text{ (em massa)}$$

CONVERSÃO DO TRAÇO

A conversão do traço para aplicação em obras (traço misto: cimento é medido em quilos, e os agregados, com a água, medidos em volume), deve-se dividir o traço dos agregados por sua massa unitária (M. U.):

$$c : (a/\delta a) : (b/\delta b) : a/c \quad \therefore$$

$$1 : 2,1/1,8 : 2,05/1,49 : 0,58 \quad \therefore 1 : 1,17 : 1,38 : 0,58$$

CORREÇÃO DO TRAÇO

A correção do traço pelo inchamento da areia é utilizando sua umidade (h) e seu coeficiente de inchamento (l).

Teor de umidade (h)	Coefficiente de inchamento (l)
0,07%	1,049
0,39%	1,111
1,29%	1,247
1,95%	1,304
2,99%	1,332
3,74%	1,312
5,92%	1,306
7,72%	1,236
11,33%	1,134

1 - Determina-se o volume de areia corrigido, utilizando seu inchamento médio 1,31 e umidade crítica de 2% correspondente à sua umidade. Ao realizar a análise do traço para um saco de cimento (multiplicar os resultados pela massa de cimento) resulta-se em:

$$50 : 105 : 102,5 : 29$$

2 - Determina-se o volume úmido de areia (V_h), utilizando o inchamento da areia, e o volume de areia a ser aplicado:

$$V_h = V_s \cdot l_{med} \quad \therefore V_h = 105 \cdot 1,31 \quad \therefore V_h = 137,55 \text{ dm}^3$$

3- Determina-se a massa seca da areia, utilizando sua massa unitária e o volume do traço:

$$M_s = \delta a \cdot V_s \quad \therefore M_s = 1,80 \cdot 105 \quad \therefore M_s = 189 \text{ kg}$$

4- Com a massa seca, calcula-se a massa úmida, utilizando a umidade (h) da areia:

$$M_h = M_s \cdot (1+h) \quad \therefore M_h = 189 \cdot (1+0,02) \quad \therefore M_h = 192,78 \text{ kg}$$

5- Encontra-se a massa de água na areia:

$$M_{\text{água}} = M_h - M_s \quad \therefore M_{\text{água}} = 192,78 - 189 \quad \therefore M_{\text{água}} = 3,78 \text{ kg}$$

6- Determina-se a quantidade de água a ser adicionada, utilizando o volume de água do traço:

$$M_{\text{água,adc}} = M_{\text{água,traço}} - M_{\text{água}} \quad \therefore$$

$$M_{\text{água,adc}} = 29 - 3,78 \quad \therefore M_{\text{água,adc}} = 25,22 \text{ kg}$$

7- O traço corrigido é formado pelo volume úmido da areia (V_h) e a quantidade de água corrigida ($M_{\text{água,adc}}$):

$$50 : 137,55 : 102,5 : 25,22$$

DIMENSIONAMENTO DAS PADIOLAS

1- Para o dimensionamento das padiolas, é fixado os valores para comprimento de 45cm e largura de 40 cm em relação ao volume de areia (V_h) e o volume de brita (V_b). O procedimento deve ser realizado da seguinte maneira:

$$H_a = V_h / (L \cdot C) \quad \therefore H_a = 137,55 / (4 \cdot 4,5) \quad \therefore H_a = 7,6 \text{ dm} = 76 \text{ cm}$$

$$H_b = 102,5 / (4 \cdot 4,5) \quad \therefore H_b = 5,7 \text{ dm} \quad \therefore H_b = 57 \text{ cm}$$

Para a construção da padiola, usa-se duas padiolas com a metade da altura, sendo assim, duas padiolas de 40cm para areia e duas padiolas de 30cm para brita.

_ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aciação - Procedimento. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.

ANEXO A – Curva granulométrica dos agregados utilizados na dosagem