

**ESTUDO DOS MÉTODOS DE
DOSAGEM DE CONCRETO
PROPOSTOS PELO ACI, EPUSP/IPT,
FAURY E VALLETTE: EMPREGO DE
AGREGADOS DISPONÍVEIS EM
SALVADOR E DO CIMENTO CP II-Z-
32 RS**

**ESTUDO DOS MÉTODOS DE
DOSAGEM DE CONCRETO
PROPOSTOS PELO ACI, EPUSP/IPT,
FAURY E VALLETTE: EMPREGO DE
AGREGADOS DISPONÍVEIS EM
SALVADOR E DO CIMENTO CP II-Z-
32 RS**

ESTUDO DOS MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO PROPOSTOS PELO ACI, EPUSP/IPT, FAURY E VALLETTE: EMPREGO DE AGREGADOS DISPONÍVEIS EM SALVADOR E DO CIMENTO CP II-Z-32 RS

Este trabalho visa comparar as propriedades dos concretos frescos e endurecidos, dosados segundo os métodos do ACI (American Concrete Association), EPUSP/IPT, Faury e Vallette. Os estudos foram efetuados a partir do emprego de areia quartzosa e brita gnáissica ($d_{max} = 19$ mm) oriundos da Região Metropolitana de Salvador, além de amostra de cimento do tipo CP II-Z-32 RS e água de amassamento oriunda da rede de abastecimento local. Para cada método, considerando as suas particularidades, foram produzidas, inicialmente, 03 betonadas com classe de consistência S100 e relações água/cimento iguais a 0,45; 0,55 e 0,65. Em cada mistura, realizaram-se os seguintes ensaios no concreto fresco: massa específica, consistência, teor de ar aprisionado e moldagem de 08 corpos de prova. Os ensaios efetuados nos concretos endurecidos, à exceção do método de Vallette, corresponderam a: absorção, porosidade efetiva e resistência à compressão. Comprova-se que, embora existam diferenças entre os consumos de cimento, teores de argamassa seca (K) e relações água/materiais secos (A%), todos os procedimentos de dosagem estudados, excluindo-se o método de Vallette, que não propiciou a consistência adequada, são aptos para fornecer misturas com a consistência pré-fixada e trabalhabilidade adequada às necessidades de lançamento e adensamento por métodos convencionais. Além disso, foram definidos traços de concreto visando atender às especificações estabelecidas, principalmente no que concerne às classes de resistência (C25, C30 e C40) e a classe de agressividade ambiental.

Palavras – chave: Métodos de dosagem. Concreto. Resistência à compressão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas	12
Figura 2 - Curva granulométrica da areia	15
Figura 3 - Curva granulométrica do agregado graúdo	15
Figura 4 - Curva granulométrica de Faury (curva de referência) e curvas granulométricas dos agregados disponíveis.....	21
Figura 5 - Curva granulométrica dos agregados formados segundo a composição indicada na Figura 4...21	
Figura 6 - Curva granulométrica de referência de Faury e curvas granulométricas dos agregados estudados.....	44
Figura 7 - Curvas de ABRAMS dos concretos produzidos segundo o método da EPUSP / IPT	77
Figura 8 - Curvas de ABRAMS dos concretos produzidos segundo o método do ACI	78
Figura 9 - Curvas de ABRAMS dos concretos produzidos segundo o método de Faury	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas do cimento (CP II-Z-32 RS) estudado	13
Tabela 2 - Características físicas e mecânicas do cimento (CP II-Z-32 RS) estudado	13
Tabela 3 - Ensaio de caracterização do agregado miúdo	14
Tabela 4 - Ensaio de caracterização do agregado graúdo	14
Tabela 5 - Valores dos parâmetros A e B da curva de Faury	19
Tabela 6 - Módulos de finura Faury das curvas de referência de Faury em função dos valores da expressão $a = A + B/(R/D - 0,75)$	20
Tabela 7 - Volume compactado seco (V_{cs}) de agregado graúdo por m^3 de concreto, correlacionado com o módulo de finura e a dimensão máxima características do agregado graúdo.	29
Tabela 8 - Demandas aproximadas de água de amassamento e do teor de ar para diferentes abatimentos e dimensões nominais de agregados apresentadas no ACI 211.1-91 (reaprovado em 2002).....	36
Tabela 9 - Teores de água aproximados para diferentes abatimentos de tronco de cone e dimensões máximas do agregado	46
Tabela 10 - Dados e composições dos concretos no estado fresco.....	74
Tabela 11 - Resultados dos ensaios de absorção por imersão e índice de vazios	75
Tabela 12 - Resultados dos ensaios de compressão.....	76
Tabela 13 - Parâmetros de dosagem de concreto.....	79
Tabela 14 - Correspondência entre a resistência média à compressão do concreto e a relação água/cimento, considerando a classe de agressividade.....	80
Tabela 15 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	81
Tabela 16 - Dados e composições dos concretos no estado fresco.....	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	MATERIAIS E MÉTODOS	11
2.1	PROGRAMA EXPERIMENTAL	11
2.1.1	Caracterização dos materiais empregados	12
2.2	CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA DE ENSAIO	16
3	CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ETAPAS DOS MÉTODOS DE DOSAGEM ESTUDADOS (ACI, FAURY, VALLETTE, EPUSP/IPT).....	17
3.1	MÉTODO EPUSP/IPT	17
3.2	MÉTODO DE FAURY.....	19
3.3	MÉTODO DE VALLETTE.....	23
3.4	MÉTODO DO ACI.....	28
4	CÁLCULO DOS 12 TRAÇOS CONFORME OS 4 MÉTODOS DE DOSAGEM.....	31
4.1	CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T1); 0,55 (T2); 0,65 (T3), SEGUNDO O MÉTODO EPUSP/IPT	31
4.1.1	Cálculo do traço T1 (a/c = 0,45)	32
4.1.2	Cálculo do traço T2 (a/c = 0,55)	33
4.1.3	Cálculo do traço T3 (a/c = 0,65)	34
4.2	CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T4); 0,55 (T5); 0,65 (T6), SEGUNDO O MÉTODO ACI.....	36
4.2.1	Cálculo do traço T4 (a/c = 0,45)	36
4.2.2	Cálculo do traço T5 (a/c = 0,55)	38
4.2.3	Cálculo do traço T6 (a/c = 0,65)	40
4.3	CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T7); 0,55 (T8); 0,65 (T9), SEGUNDO O MÉTODO FAURY	42
4.3.1	Cálculo do Traço T-7	45
4.3.2	Cálculo do Traço T-8	52
4.3.3	Cálculo do Traço T-9	56
4.4	CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T10); 0,55 (T11); 0,65 (T12), SEGUNDO O MÉTODO VALLETTE.....	60
4.4.1	Cálculo do Traço T12, a/c=0,65.....	60
4.4.2	Cálculo do Traço T11, a/c=0,55, a partir do T12.....	70
4.4.3	Cálculo do Traço T10, a/c=0,45, a partir do T11	72
5	PRODUÇÃO DOS CONCRETOS E MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	74
5.1	ENSAIOS DE ÍNDICES DE VAZIOS, ABSORÇÃO E MASSA ESPECÍFICA	75
5.2	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	76
5.3	ELABORAÇÃO DAS CURVAS DE ABRAMS (RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO <i>VERSUS</i> RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO)	77
6	DEFINIÇÃO DE TRAÇOS A PARTIR DOS MÉTODOS PROPOSTOS PELA EPUSP/IPT, ACI E FAURY E DAS RESPECTIVAS CURVAS DE ABRAMS	79
6.1	CÁLCULO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO E DE RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	79
6.2	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS A PARTIR DO MÉTODO DE FAURY	80
6.2.1	Traço(C25).....	80

6.2.2 Traço(C30).....	84
6.2.3 Traço(C40).....	87
6.3 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS A PARTIR DO MÉTODO EPUSP/IPT.....	91
6.3.1 Traço (C25).....	91
6.3.2 Traço (C30).....	92
6.3.3 Traço (C40).....	93
6.4 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS A PARTIR DO MÉTODO ACI.....	95
6.4.1 Traço (C25).....	95
6.4.2 Traço (C30).....	97
6.4.3 Traço (C40).....	99
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
AGRADECIMENTOS	104
REFERÊNCIAS	105

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, inúmeros são os métodos de dosagem empregados para a obtenção da melhor proporção entre os materiais constitutivos do concreto, também conhecido por traço ou composição. Essa proporção ideal pode ser expressa em massa ou volume e as condições de preparo do concreto são bem definidas pela NBR 12655 (ABNT, 2015). Porém a inexistência de um consenso nacional numa norma brasileira sobre os procedimentos e parâmetros de dosagem tem propiciado vários pesquisadores e/ou instituições a proporem seus próprios métodos de dosagem.

A evolução da tecnologia do concreto mostra que, pelo menos nos últimos 100 anos, a maioria dos pesquisadores e técnicos de diversos países têm estudado os produtos constituintes do concreto, visando aperfeiçoar as suas técnicas de produção. Os grandes volumes de concreto produzidos em Salvador, com materiais, equipamentos e procedimentos de controles diversos, têm sido aplicados nos mais variados tipos de obras e evidenciam a importância deste produto, considerado um dos materiais tradicionais da construção civil.

A determinação de um traço que atenda a todas as especificações não é uma tarefa fácil, pois, segundo Helene e Terzian (1992), o concreto é constituído por materiais com propriedades e comportamentos diferentes, tanto no estado fresco como no endurecido. Percebe-se, então, que a definição da composição do concreto para usos estruturais não pode ser realizada de forma empírica, é preciso um entendimento sobre o assunto, para, assim, poder conciliar as características ótimas do concreto no estado fresco e quando endurecido.

Deve ser explicado que a determinação exata das proporções da mistura por meio de tabelas ou dados computacionais, geralmente, não é possível, pois os materiais utilizados são, em essência, variáveis, e diversas de suas propriedades não podem ser determinadas de maneira realmente quantitativa. Por exemplo, a granulometria, a forma e a textura dos agregados não podem ser definidas de maneira totalmente adequada. Em virtude disso, a melhor alternativa é fazer uma suposição inteligente das combinações ótimas dos componentes, baseadas nas relações previamente estabelecidas. Portanto, não é surpresa que, para obter uma mistura satisfatória, não somente devem ser calculadas ou estimadas as proporções dos materiais disponíveis, mas também devem

ser produzidas misturas experimentais. As propriedades dessas misturas são verificadas e são feitos ajustes nas proporções, sendo realizadas novas misturas experimentais até a obtenção de um concreto adequado (NEVILLE, 2016).

A obtenção de bons desempenhos nas propriedades exigíveis ao concreto, tais como: trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade, dependerá tanto dos materiais componentes como das proporções entre os mesmos e da tecnologia e recursos humanos disponíveis para o seu preparo e controle. A necessidade econômica de reduzir custos na produção de concreto aperfeiçoa o processo produtivo de maneira global, com o intuito de obter um produto de características e propriedades uniformes, com desempenho e durabilidade compatíveis aos requisitos normativos especificados pelo projeto estrutural da obra e com custo adequado às possibilidades do mercado consumidor.

Assim, o objetivo principal deste estudo consiste em comparar os principais parâmetros de dosagem, obtidos pelos diversos métodos, bem como as características e propriedades dos concretos produzidos, visando atender aos requisitos técnicos pré-estabelecidos, analisando as condições econômicas. Sendo os objetivos específicos descritos a seguir:

- Avaliar o consumo de cimento (C_{cim}), o teor de argamassa seca (K), relação água/materiais secos (A%) e a relação agregado/cimento (m) para os concretos produzidos com relações água/cimento (a/c) iguais a 0,45; 0,55 e 0,65.
- Analisar os resultados dos ensaios de massa específica, índice de vazios e absorção de água por imersão.
- Estabelecer as curvas de Abrams, a partir dos resultados obtidos de resistência à compressão.
- Definir traços de concreto para atender às classes de resistência C25, C30 e C40 e de agressividade ambiental, com base nas curvas de Abrams esboçadas.

Considerando que a NBR 12655 (ABNT, 2015) define o estudo de dosagem como o conjunto de procedimentos necessários à obtenção do traço de concreto para atendimento dos requisitos especificados pelo projeto estrutural e pelas condições da obra, este trabalho prioriza o estudo das particularidades de cada método, haja vista a sua importância e a necessidade de sua divulgação.

De acordo com Helene e Tutikian (2011), uma boa dosagem pode proporcionar uma economia em cerca de 5kg de cimento por m³, podendo, assim, trazer uma redução da emissão de 100.000t de dióxido de carbono (CO₂) à atmosfera, como também economia dos recursos naturais com a redução dos agregados. A viabilidade econômica, o ganho na sustentabilidade e a capacidade de utilização técnica que uma boa dosagem pode propiciar fundamentam, ainda mais, o interesse dos pesquisadores em investir na busca pela evolução do tema.

Nesta pesquisa, os principais parâmetros a serem considerados são: relação água/cimento (*a/c*), relação água/materiais secos (*A%*), teor de argamassa seca (*K*) e relação agregado/cimento (*m*). Para tanto, foram preparadas misturas com diferentes relações água/cimento (0,45, 0,55 e 0,65), classes de consistência S100 e, conseqüentemente, variados consumos de cimento, resultando num total de três amassadas para cada método. Além disso, foram definidos traços de concreto, visando atender às especificações estabelecidas, principalmente, no que concerne às classes de resistência (C25, C30 e C40) e à classe de agressividade ambiental.

O desenvolvimento da etapa preliminar deste trabalho compreendeu o estudo do tema, o qual consistiu na leitura, análise e discussão dos seguintes tópicos:

- Histórico (pesquisas de FERET; FULLER; ABRAMS; BLOMEY; LECLERG; VALLETE)
- Evolução dos métodos de dosagem no Brasil
- Fatores a serem considerados
- Relação água/cimento
- Tipo de cimento
- Durabilidade
- Trabalhabilidade e quantidade de água
- Escolha do agregado
- Consumo de cimento
- Consumo de agregados
- Critérios práticos de dosagem
- Misturas experimentais
- Método americano

- Método britânico
- Método do serviço Nacional de Estradas de Ferro da França, S.N.C.F
- Método do professor ARY TORRES
- Comparação dos métodos

Considerando a natureza e importância dessa pesquisa, aconselha-se ao estudante realizar consultas sistemáticas, principalmente, ao referencial teórico aqui sugerido: Bauer (2013), Helene (1993), Neville e Brooks (2013), Coutinho (2012).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

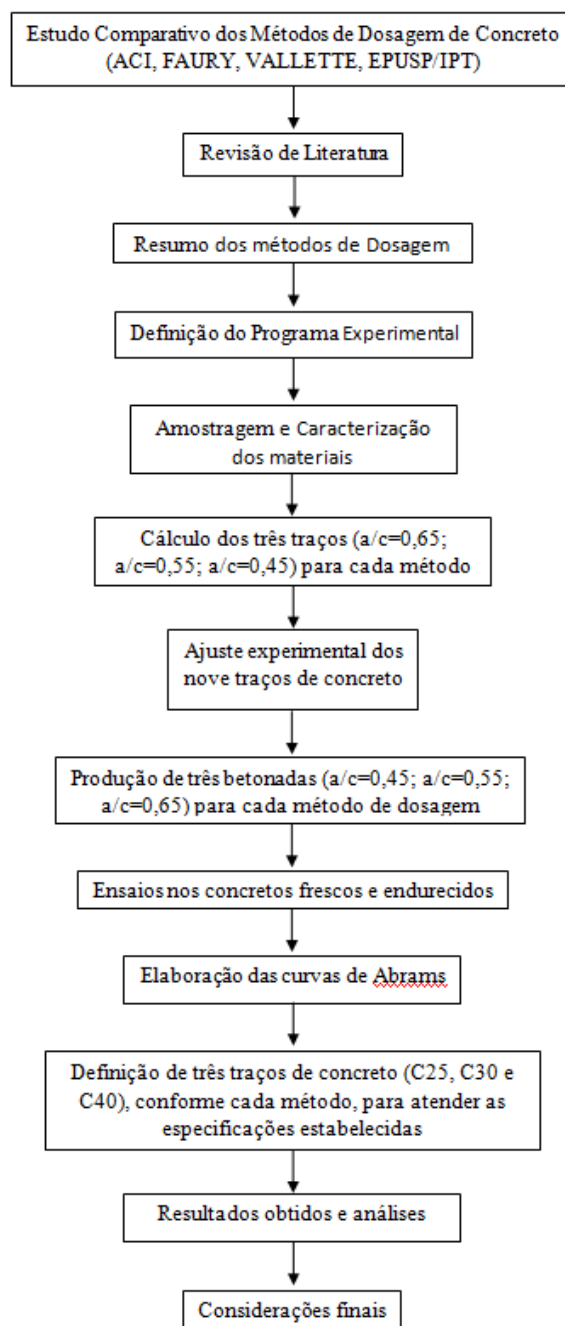
Neste capítulo, são apresentados os materiais utilizados na pesquisa, os procedimentos e ensaios adotados para comparar os diferentes métodos de dosagem de concreto.

2.1 PROGRAMA EXPERIMENTAL

As atividades experimentais desenvolvidas para que os objetivos propostos neste trabalho fossem alcançados, compreenderam quatro fases. A primeira fase consistiu na caracterização dos materiais no laboratório da UCSal, enquanto a segunda foi desenvolvida tomando-se como base os critérios dos diferentes métodos de dosagem estudados, visando definir, após ajustes, traços de concreto com relações água/cimento 0,45; 0,55 e 0,65. A terceira fase compreendeu a moldagem de corpos de prova para realização de ensaios de resistência à compressão, em uma empresa parceira dosadora de concreto, e, por consequência, a elaboração das curvas de Abrams. Já na quarta fase, baseada em uma especificação pré-estabelecida, definiram-se novos traços de concreto, cujas classes de resistência foram C25, C30 e C40, com a finalidade de comparar os métodos estudados.

Em laboratório, foram realizados ensaios que visaram estudar as propriedades dos concretos endurecidos, tais como: resistência à compressão, massa específica, absorção e porosidade efetiva, consideradas indispensáveis para o estudo em análise.

As etapas que constituíram a pesquisa encontram-se ilustradas no fluxograma apresentado na Figura 1 - e são descritas, a seguir, de forma pormenorizada.

Figura 1 - Fluxograma das atividades desenvolvidas

Fonte: Próprios autores

2.1.1 Caracterização dos materiais empregados

O cimento utilizado no programa experimental foi o cimento Portland composto CP II-Z-32 RS, resistente a sulfatos, marca POTY, cujas características físicas, químicas e mecânicas, determinadas com os métodos de ensaios adotados, encontram-se discriminadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Características químicas do cimento (CP II-Z-32 RS) estudado

Análise Química	Métodos de Ensaio	Resultados	Requisitos Normativos NBR 16697 (ABNT, 2018)
			(%) da massa
Perda ao fogo	NBR NM 18 (ABNT, 2012)	4,72	≤ 8,5
Dióxido de silício total	NBR NM 11-2 (ABNT,	19,44	-
Óxido de alumínio (Al ₂ O ₃)	NBR NM 11-2 (ABNT,	3,91	-
Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	NBR NM 11-2 (ABNT,	7,81	-
Óxido de cálcio total (CaO)	NBR NM 11-2 (ABNT,	55,57	-
Óxido de Magnésio (MgO)	NBR NM 14 (ABNT, 2012)	2,55	-
Trióxido de Enxofre (SO ₃)	NBR NM 16 (ABNT, 2012)	2,96	≤ 4,5
Óxido de sódio (Na ₂ O)	NBR NM 22 (ABNT, 2012)	0,12	-
Óxido de potássio (K ₂ O)	NBR NM 22 (ABNT, 2012)	0,80	-
Anidrido carbônico (CO ₂)	NBR NM 20 (ABNT, 2012)	3,60	≤ 7,5
Resíduo Insolúvel (RI)	NBR NM 22 (ABNT, 2012)	8,67	≤ 18,5
Óxido de cálcio livre – CaO	NBR NM 13 (ABNT, 2013)	1,84	-

Fonte: Próprios autores

Tabela 2 - Características físicas e mecânicas do cimento (CP II-Z-32 RS) estudado

Parâmetros	Métodos de ensaio	Resultados	Requisitos normativos
Finura (peneira 75µm) (%)	NBR 11579 (ABNT, 2013)	1,19	≤ 12,0
Área específica (m ² /kg)	NBR 16372 (ABNT, 2015)	399	-
Expansibilidade a quente (mm)	NBR 11582 (ABNT, 2016)	0,7	≤ 5,0
Consistência normal (%)	NBR 16606 (ABNT, 2017)	26,5	-
Resistência à compressão (MPa)	NBR 7215 (ABNT, 1997)	03 dias	≥ 10,0
		07 dias	≥ 20,0
		28 dias	32,0 ≤ f _{c28} ≤ 49,0
Tempo de pega	NBR 16607 (ABNT, 2017)	Início	≥ 60 min
		Fim	≤ 600 min

Fonte: Próprios autores

Verifica-se que a amostra de cimento utilizada satisfaz a NBR 16697 (ABNT, 2018) como CP II-Z-32 RS.

No programa experimental, foi utilizada areia quartzosa, proveniente da cidade de Camaçari, localizada na Região Metropolitana de Salvador. O agregado graúdo, de origem gnáissica, foi oriundo de uma jazida situada em Salvador. As Tabelas 3 e 4 contêm os resultados dos ensaios de qualificação destes materiais com os respectivos métodos de execução, cujas curvas granulométricas são mostradas nas Figuras 2 e 3.

Tabela 3 - Ensaio de caracterização do agregado miúdo

Ensaio		Resultados
1 - Distribuição granulométrica NBR NM 248 (ABNT, 2003)		
Peneira (NBR NM ISO 3310-1) (ABNT, 2010)	Porcentagem, em massa, retida	Porcentagem, em massa, retida acumulada
4,75 mm	-	-
2,36 mm	-	-
1,18 mm	-	-
600 µm	8	8
300 µm	47	55
150 µm	37	92
Módulo de finura		1,55
Dimensão máxima característica (mm)		1,18
2 - Massa específica (NBR NM 52) (2009)		2,62 kg/dm ³
3 - Impurezas orgânicas (NBR NM 49) (2001)		Mais clara do que a solução-padrão
4 - Absorção de água (NBR NM 30) (2001)		0,1%
5 - Materiais pulverulentos (NBR NM 46) (2003)		1,0%

Fonte: Próprios autores

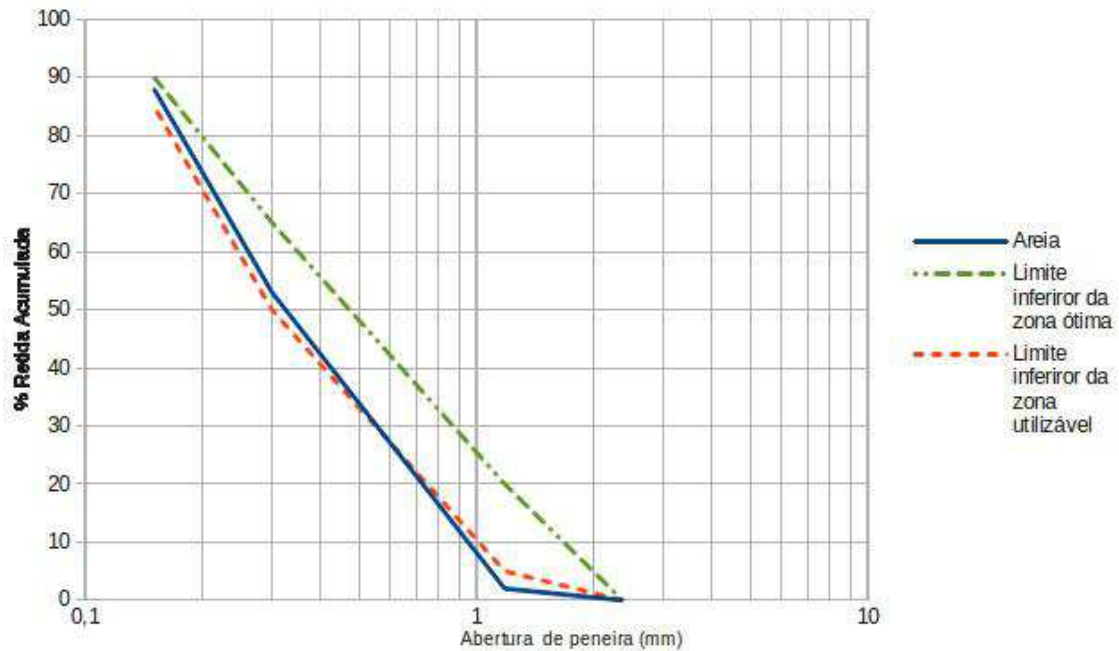
Tabela 4 - Ensaio de caracterização do agregado graúdo

Ensaio		Resultados
1 - Distribuição granulométrica (NBR NM 248) (ABNT, 2003)		
Peneira (NBR NM ISO 3310-1) (ABNT, 2010)	Porcentagem, em massa, retida	Porcentagem, em massa, retida acumulada
25 mm	-	-
19 mm	2	2
12,5 mm	61	63
9,5 mm	33	96
6,3mm	4	100
4,75 mm	-	100
2,36 mm	-	100
1,18 mm	-	100
600 µm	-	100
300 µm	-	100
150 µm	-	100
Módulo de finura		6,98
Dimensão máxima característica (mm)		19
2 - Massa específica (NBR NM 53) (2009)		2,75 kg/dm ³
3 - Absorção de água (NBR NM 53) (2009)		0,10%
4 - Materiais pulverulentos (NBR NM 46) (2003)		0,30%

Fonte: Próprios autores

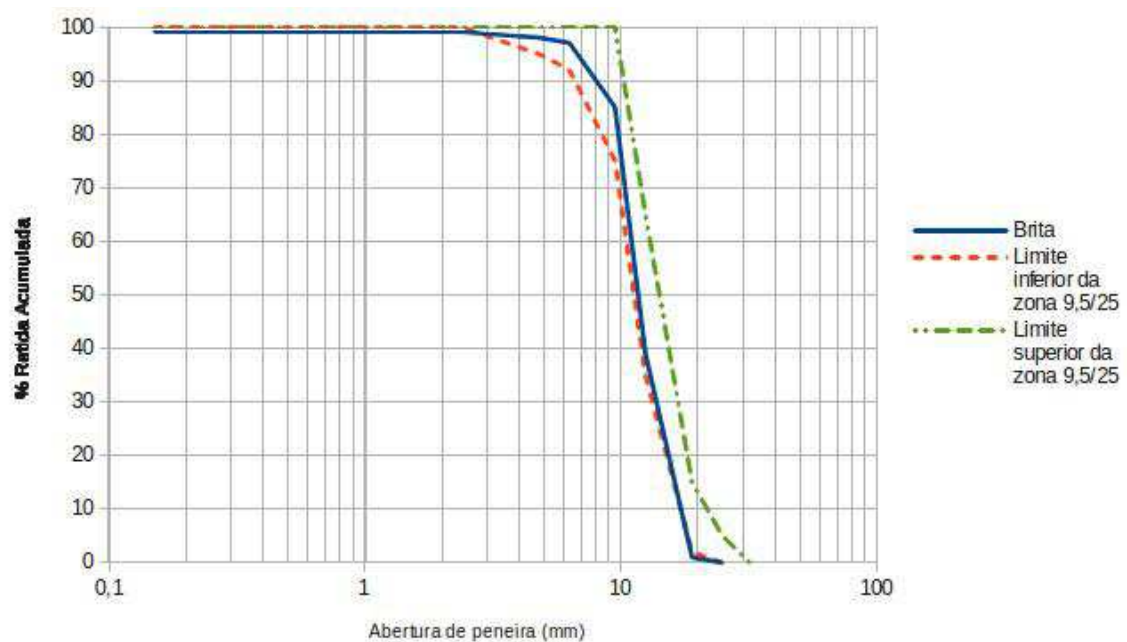
Conforme pode ser visto na Figura 2, a areia empregada neste experimento apresenta composição granulométrica que não se enquadra no limite inferior da zona utilizável, enquanto o agregado graúdo atende aos limites da zona classificada como 9,5/25, conforme prevê a NBR 7211 (ABNT, 2009) e é ilustrado na Figura 3.

Figura 2 - Curva granulométrica da areia



Fonte: Próprios autores

Figura 3 - Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Próprios autores

2.2 CARACTERÍSTICAS DA MÁQUINA DE ENSAIO

Para a realização dos ensaios de compressão em concreto, foi empregada uma prensa hidráulica de acionamento elétrico, sistema servo-controlado, modelo 13025, série N112, Tag: 050480, com resolução de 0,01 tf e de capacidade máxima de 120 tf. O referido equipamento foi devidamente calibrado e atende aos requisitos da NBR ISO 7500-1 (ABNT, 2016).

3 CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ETAPAS DOS MÉTODOS DE DOSAGEM ESTUDADOS (ACI, FAURY, VALLETTE, EPUSP/IPT)

Com base na análise dos métodos de dosagem estudados, foi possível identificar suas principais etapas, as quais se encontram descritas a seguir:

3.1 MÉTODO EPUSP/IPT

Determinar as massas dos materiais.

Imprimir a betoneira com uma porção de concreto (> 20 Kg) com o traço 1:2:3, $a/c=0,65$. Deixar o material excedente cair livremente, com a betoneira em movimento e sua abertura direcionada para baixo.

Lançar os primeiros materiais na betoneira, misturando-os durante cinco minutos, com uma parada intermediária para limpeza das pás do equipamento. Ao final, verifica-se se é possível efetuar o abatimento do tronco de cone, ou seja, se há coesão e plasticidade adequadas.

Para introdução dos materiais de modo individual dentro da betoneira, deve-se obedecer à seguinte ordem preferencial: água (80%); agregado graúdo (100%); cimento (100%), agregado miúdo (100%). Misturar por cinco (5) minutos.

Adicionar o restante da água (20%) aos poucos, observando e controlando até obter o abatimento requerido.

Para a definição do teor ideal de argamassa, deve-se realizar o procedimento baseado em observações práticas, descritas a seguir, para cada teor de argamassa:

Com a betoneira desligada, retirar o material aderido nas pás e superfície interna e misturar novamente.

Passar a colher de pedreiro sobre a superfície do concreto fresco. Introduzi-la na massa e levantá-la no sentido vertical para verificar se a superfície exposta está com vazios, indicando falta de argamassa.

Introduzir, novamente, a colher de pedreiro no concreto e retirar uma parte do mesmo, levantando-o até a região superior da cuba da betoneira. Com material nessa posição, verificar se há desprendimento de agregado graúdo da massa, o que indica falta de argamassa na mistura. Após essa observação, soltar a porção de concreto que está sobre a colher e verificar se ela cai de modo coeso e homogêneo, o que indica teor de argamassa adequado.

Após o ensaio de abatimento, estando ainda o concreto com o formato de tronco de cone, deve-se bater suavemente na lateral inferior do mesmo, com o auxílio da haste de adensamento, com o objetivo de verificar sua queda. Se esta se realiza de modo homogêneo e coeso, sem desprendimento de porções, indica que o concreto está com o teor de argamassa considerado adequado.

Na mesma amostra em que foi feito o ensaio de abatimento, deve ser observada se a superfície lateral está compacta, sem apresentar vazios.

Outra observação a ser realizada é se, ao redor da base de concreto com formato de tronco de cone, aparece uma camada de água oriunda da mistura. Essa ocorrência evidencia que há tendência de exsudação de água por falta de finos, que pode ser corrigida com mudança da granulometria da areia ou aumenta-se o teor de adições minerais ou de cimento.

O teor de argamassa seca final depende, ainda, de um fator externo, que é a possibilidade de perda de argamassa no processo de transporte e lançamento (principalmente, a quantidade retida na forma, na armadura, na tubulação da bomba, ou quando se utiliza bica de madeira para o lançamento). Esse valor em processos usuais pode ser estimado entre 2% a 4% de “perdas”.

Realizar uma nova mistura com o traço intermediário, com o teor de argamassa definitivo e determinar todas as características do concreto fresco:

- relação água/cimento, necessária para obter a consistência desejada;
- consumo de cimento por metro cúbico de concreto;
- consumo de água por metro cúbico de concreto;
- massa específica do concreto fresco;
- abatimento do tronco de cone;

- teor de ar aprisionado;
- constantes dessa família do traço intermediário (1:m): teor de argamassa seca (K) em kg/kg e relação água/materiais secos (H) em kg/kg.

3.2 MÉTODO DE FAURY

CONHECIMENTO DOS SEGUINTE ELEMENTOS

- Análise granulométrica dos agregados (expressar as percentagens que passam através das peneiras)
- Massa específica dos materiais
- Consistência do concreto
- Fixação do consumo de cimento

PROCEDIMENTOS

Os principais procedimentos são:

Determinação da dimensão máxima do agregado (D)

Atribuição de valores aos parâmetros da curva de FAURY (A, B, R e D) – ver quadros 5.9, e 5.10 de Coutinho (2012, p.56-58), representados nas Tabelas 5 e Tabela 6.

Tabela 5 - Valores dos parâmetros A e B da curva de Faury

Trabalhabilidade	Meios de compactação	Valores de A			Valores de B
		Natureza dos inertes			
		Areia rolada		Areia britada	
		Inerte grosso	Inerte	Inerte grosso	
Terra úmida	Vibração muito potente e possível compressão (pré-fabricação)	≤ 18	≤ 19	≤ 20	1
Seca	Vibração potente (pré-fabricação)	20 a 21	21 a 22	22 a 23	1 a 1,5
Plástica	Vibração média	21 a 22	23 a 24	25 a 26	1,5
Mole	Apiloamento	28	30	32	2
Fluida	Espalhamento e compactação pelo próprio peso	32	34	38	2

Fonte: Coutinho (2012)

Tabela 6 - Módulos de finura Faury das curvas de referência de Faury em função dos valores da expressão $a = A + B/(R/D - 0,75)$

Máxima dimensão do inerte, D	Valores de $17\sqrt[5]{D}$	Valores da expressão (a)										
		35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
203,2	49,21	6,11	6,06	6,01	5,96	5,91	4,85	5,80	5,75	5,70	5,65	5,60
152,4	46,46	5,90	5,85	5,80	5,75	5,70	5,65	5,60	5,55	5,50	5,45	5,40
101,6	42,84	5,64	5,60	5,55	5,50	5,45	5,40	5,36	5,31	5,26	5,21	5,16
76,2	40,44	5,40	5,36	5,31	5,26	5,22	5,17	5,12	5,07	5,03	4,98	4,93
50,8	37,29	5,12	5,08	5,03	4,99	4,94	4,89	4,85	4,80	4,76	4,71	4,69
38,1	35,21	4,87	4,82	4,78	4,74	4,69	4,65	4,60	4,56	4,51	4,47	4,42
25,4	32,46	4,57	4,53	4,48	4,44	4,40	4,36	4,32	4,28	4,24	4,19	4,15
19,1	30,66	4,29	4,25	4,21	4,17	4,12	4,08	4,04	4,00	3,96	3,92	3,88
12,7	28,26	3,96	3,92	3,88	3,84	3,80	3,76	3,72	3,68	3,64	3,60	3,56
9,52	26,68	3,64	3,60	3,56	3,53	3,49	3,45	3,41	3,38	3,34	3,30	3,26
6,35	24,60	3,33	3,29	3,26	3,22	3,19	3,15	3,12	3,08	3,05	3,01	2,98
4,76	23,22	3,04	3,01	2,98	2,94	2,91	2,88	2,84	2,81	2,78	2,74	2,71

Fonte: Coutinho (2012)

Cálculo da ordenada do ponto de abscissa $D/2 = 12,7$ mm da curva de Faury

$$P_{12,7} = A + 17D^{1/5} + [B/(R/D - 0,75)]$$

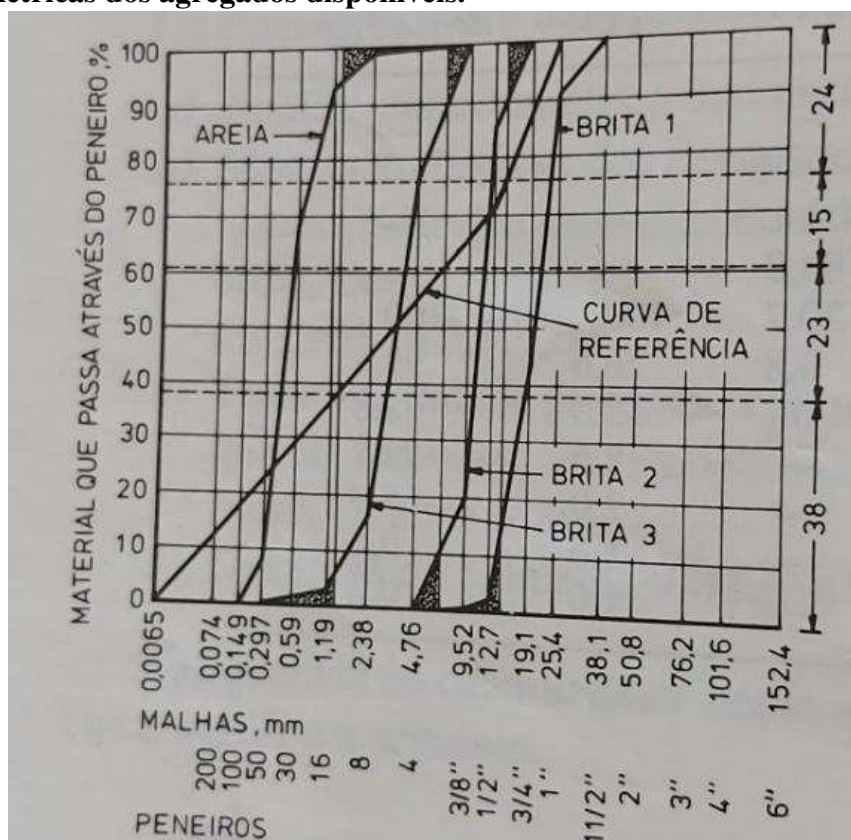
Elaboração da curva de referência, incluindo o cimento

Com estes elementos, traça-se a curva de referência mostrada na Figura 5.22 de Coutinho (2012, p.66), representada pela Figura 4. Deve-se considerar o módulo de finura Faury indicado no quadro 5.10 de Coutinho (2012, p.57), mostrado na Tabela 6.

Cálculo da percentagem dos componentes (agregados e cimento)

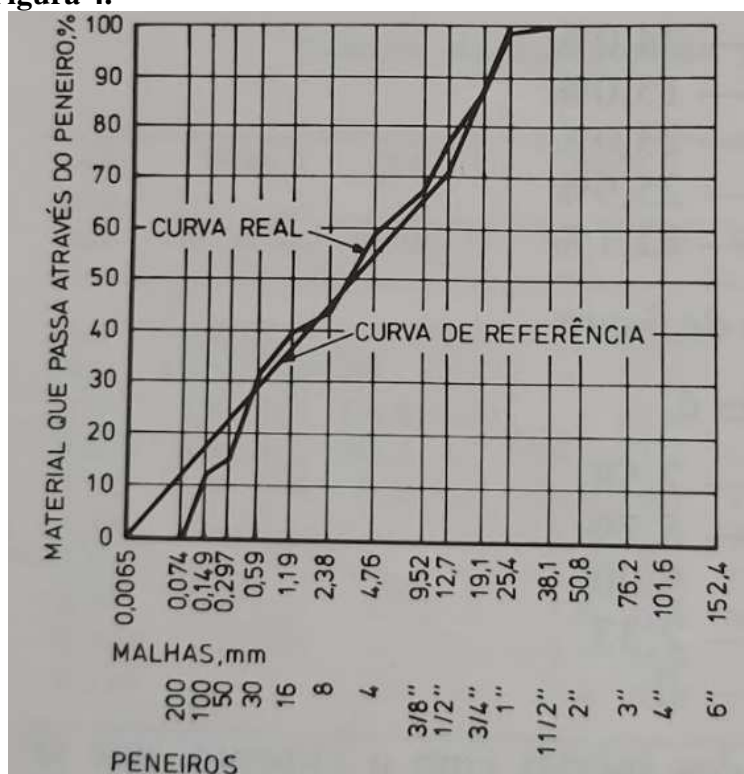
Desenhar as curvas granulométricas dos agregados no gráfico que contém a curva de referência de Faury e realizar a construção geométrica para obter as porcentagens de brita e da mistura (areia + cimento). Como se torna necessário separar o cimento da areia, é preciso calcular a percentagem de cimento na soma dos volumes do inerte e do cimento contidos na curva granulométrica. Verificar as Figuras 5.22 e 5.23 de Coutinho (2012, p.66-67), correspondentes às Figuras 4 e 5, respectivamente.

Figura 4 - Curva granulométrica de Faury (curva de referência) e curvas granulométricas dos agregados disponíveis.



Fonte: Coutinho (2012, p.57)

Figura 5 - Curva granulométrica dos agregados formados segundo a composição indicada na Figura 4.



Fonte: Coutinho (2012, p.67),

Determinar as porcentagens, em volume, dos materiais: cimento, areia e brita.

NOTA: observar que as porcentagens se referem aos volumes absolutos dos materiais.

Como se torna necessário separar o cimento da areia, é preciso calcular a porcentagem de cimento na soma dos volumes dos agregados e do cimento indicados na curva granulométrica, conforme Coutinho (2012, p.67-68).

Acerto da composição pelo módulo de finura, conforme Coutinho (2012, p.68)

Verificação do ajustamento à curva de referência, de acordo com Coutinho (2012, p.68-p.69)

Cálculo analítico

Estabelecem-se as equações de ajustamento à curva de referência e as seguintes condições: a) soma das porcentagens dos inertes, expressa em frações da unidade, tem de ser igual a 1 e b) o módulo de finura do conjunto tem de ser igual ao da curva de referência, descontando a porcentagem do cimento. Obtém-se um sistema que pode ser resolvido pelo método dos mínimos quadrados, de acordo com Coutinho (2012, p.69-p70).

Composição do concreto, em quilogramas por metro cúbico

Determina-se a composição centesimal dos agregados nos componentes sólidos. Multiplicando-se esta composição centesimal pelo volume total do agregado e pela sua massa específica obtém-se a massa dos componentes por metro cúbico de concreto. Esta etapa encontra-se descrita em Coutinho (2012, p.70-71).

Acerto da dosagem de água

No laboratório, fabrica-se o concreto e mede-se o abatimento do tronco de cone. Obtendo-se o abatimento desejado, a composição está correta. Caso contrário, corrige-se a dosagem de água por tentativas experimentais, e recalcula-se a composição do concreto com a nova dosagem de água, efetuando novo cálculo a partir da apuração da porcentagem dos componentes (agregados e cimento).

3.3 MÉTODO DE VALLETTE

1º passo: Determina-se o volume de vazios V_m (ℓ) presente em 1000ℓ ou 1 m³ de areia molhada (V_{Th}).

V_{Th} = volume absoluto da areia molhada [volume de sólidos de areia (VS) + volume de água, (a_a)] + volume de vazios (V_m). Ou seja,

Volume absoluto da areia molhada = $VS + a_a$

Volume de vazios (V_m) = $V_{Th} - (VS + a_a)$. Como V_{Th} é igual a 1m³ ou 1000 ℓ, tem-se:

Volume de vazios (V_m) = 1000 ℓ - ($VS + a_a$)

Para tanto, calcula-se o volume de sólidos (VS) de areia existente em 1000 ℓ ou 1 m³ de areia molhada, a partir dos valores da massa unitária (μ_a), massa específica (γ) e a massa de areia seca existente em 1000 ℓ ou 1 m³ de areia seca aparente.

$VS = (\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3) / \gamma$, sendo que a unidade de ($\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3$) é kg e a unidade de γ é kg/dm³.

- 1000 litros de areia seca correspondem a uma massa, em kg, de $\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3$

Calcula-se o volume da água de molhagem (a_a) pela fórmula de Bolomey:

$$a_a = kP / (d_1 \times d_2)^{1/3}$$

K – varia com o coeficiente de forma, tipo de rocha, consistência etc. Verificar tabelas existentes em Bauer (2013, p.203).

P - massa dos agregados

d_1 e d_2 – correspondem aos diâmetros dos agregados em mm

2º passo: Corrige-se o volume de vazios em 10%, para garantir o bom envolvimento da areia pela pasta de cimento.

$V_{m, \text{corrigido}} = V_{m_a} \times 1,10$

3º passo: Cálculo do volume de pasta (cimento + água de hidratação) a acrescentar

Volume de pasta a acrescentar = Volume de cimento (Massa de cimento/ γ_c) + volume de água de hidratação

Volume de pasta a acrescentar = $(MC/\gamma_c) + \text{água de hidratação} = MC/3,15 + 0,25MC$

Volume de pasta a acrescentar = $0,56MC$, ou seja, 1kg de cimento corresponde a $0,56 \text{ dm}^3$ de pasta a acrescentar.

OBS: Lembrar que a areia está úmida e que já existe água na areia.

4º passo: Correspondência entre o volume de pasta adicionado e o volume corrigido de vazios

$$0,56 MC = 1,1 V_{m_a}$$

$$MC = 1,1 V_{m_a} / 0,56$$

Deve-se verificar procedimento citado por Bauer (2013, p.236).

5º passo: Cálculo do traço de argamassa

$$\text{Cimento} = MC = 1,1 V_{m_a} / 0,56$$

$$\text{Areia} = \mu_a \times 1000 \text{ dm}^3$$

$$\text{Água} = a_a (\text{água de molhagem da areia}) + 0,25 MC (\text{água de hidratação})$$

$$\text{Traço unitário: } 1,00: \mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 / MC: (a_a + 0,25 MC) / MC$$

6º passo: Coloca-se nesta argamassa o máximo de agregado graúdo, saturado e molhado “b”, de modo a se obter um concreto adequado às condições do canteiro.

- 1000 litros de brita seca corresponde a uma massa de $1000 \mu_b$

A água de molhagem (a_b) de 1000 ℓ de brita será determinada a partir da fórmula de Bolomey, conforme Bauer (2013, p.202-203).

Assim sendo, os vazios da brita (V_{m_b}) serão de:

$$1000 \text{ dm}^3 - [(\mu_b \times 1000 \text{ dm}^3 / \gamma_b) + a_b] = V_{m_b}$$

Vazios estes que devem ser preenchidos com argamassa

7º passo: Cálculo do volume absoluto de argamassa produzido por 1 kg de cimento

$$\text{Volume absoluto de argamassa obtido por 1 kg de cimento} = (1/\gamma_c) + (\text{areia}/\gamma_a) + a/c =$$

$$\text{Volume absoluto unitário de argamassa} = V_{\text{absarg}}$$

Regra de três: 1kg de cimento \rightarrow V_{absarg}

$$\text{Massa de cimento} \rightarrow V_{m_b}$$

$$\text{Logo, Massa de cimento} = (V_{m_b} \times 1\text{kg}) / V_{\text{absarg}}$$

8º passo: Cálculo das quantidades, em kg, dos materiais da argamassa para preencherem os vazios da brita (V_{m_b})

$$V_{m_b} / V_{\text{absarg}} = \text{Massa de cimento}$$

$$(V_{m_b} / V_{\text{absarg}}) \times (\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 / \text{MC}) = \text{Massa de areia}$$

$$(V_{m_b} / V_{\text{absarg}}) \times [(a_a + 0,25 \text{ MC}) / \text{MC}] = \text{Massa de água}$$

9º Passo: Traço experimental do concreto, em kg, para 1 m^3 de concreto

$$\text{Cimento} = V_{m_b} / V_{\text{absarg}}$$

$$\text{Areia} = (V_{m_b} / V_{\text{absarg}}) \times (\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 / \text{MC})$$

$$\text{Brita} = \mu_b \times 1000 \text{ dm}^3$$

$$\text{Água} = (V_{m_b} / V_{\text{absarg}}) \times [(a_a + 0,25 \text{ MC}) / \text{MC}]$$

10º Passo: Traço unitário em massa

$$\text{Cimento} = 1,000$$

$$\text{Areia} = (\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3) / \text{MC}$$

$$\text{Brita} = (\mu_b \times 1000 \text{ dm}^3) / \text{MC}$$

$$\text{Água} = (a + 0,25 \text{ MC})/\text{MC}$$

Quando preparado em laboratório, deve-se verificar a necessidade de corrigir o traço.

Recomenda-se consultar Coutinho (2012, p.41-45) e Boggio (2000).

INFORMAÇÕES IMPORTANTES

Considerando o traço: C1 (cimento): S1 (areia): G1 (brita): A1 (água)

Para uma dosagem onde o consumo deve ser $C2 > C1$, substitui-se uma parte da areia S1 por cimento, em volume.

Cálculo do volume absoluto a ser retirado de areia molhada:

$$(v + a) \cdot S' = 0,56 (C2 - C1), \text{ então } S' = 0,56 (C2 - C1)/(v + a)$$

Onde v é o volume absoluto da areia seca, “a” significa água de molhagem da areia e S' é o volume a ser retirado de areia molhada.

A areia restante será: $S1 - S' = S2$

Cálculo da quantidade de água a ser acrescida, pois se aumentou cimento e, portanto, majora-se a água necessária à hidratação do aglomerante.

$$A' = 0,25 (C2 - C1)$$

Cálculo da quantidade de água a ser diminuída, pois se retirou areia e, portanto, diminui-se a água de molhagem (a).

$$A'' = aS'$$

Cálculo da quantidade total de água do traço final, considerando o acréscimo devido ao aumento do cimento e a diminuição em função da retirada de parte da areia.

$$A2 = A1 + 0,25 (C2 - C1) - aS'$$

Cálculo do traço final corrigido:

C2 (CIMENTO): S2 (AREIA): G1 (BRITA): A2 (ÁGUA)

$$\text{Sendo } A2 = [A1 + 0,25 (C2 - C1) - aS']$$

Para uma dosagem onde o consumo deve ser $C3 < C1$, substitui-se uma parte do cimento (em volume) por areia (em volume).

- Cálculo do volume de cimento a ser retirado

$$C' = 0,56 (C3 - C1)$$

- Cálculo do volume a ser adicionado de areia molhada (S'')

$(v+a) \times S'' = 0,56 (C3 - C1)$, logo o valor absoluto da areia molhada a ser acrescentada é:

$$S'' = 0,56 (C3 - C1) / (v+a)$$

Onde "a" é a água de molhagem do volume "v" absoluto da areia.

O cálculo da areia final será assim:

$$S3 = S1 + S''$$

O traço final será assim:

C3 (cimento): S3 (areia): G1 (brita): A3 (água)

$$\text{Sendo } A3 = [A1 - 0,25 (C3 - C1) + aS'']$$

Nota: Para obtenção do volume absoluto da areia molhada, pode-se partir da argamassa (com menor consumo mínimo de cimento) considerando que: o volume absoluto da areia molhada é igual ao volume absoluto da argamassa "m" menos o volume absoluto de cimento.

$$(v+a) \times S1 = m - 0,56 C$$

3.4 MÉTODO DO ACI

Este método fornece uma primeira aproximação da proporção dos materiais utilizados em misturas experimentais. Em essência, o método consiste em uma sequência de passos lógicos e diretos que levam em conta as características dos materiais a serem utilizados. Recomenda-se consultar Neville (2016, p.784–790).

Escolha do abatimento

O abatimento deve ser determinado em função das exigências da obra.

Escolha da dimensão máxima do agregado

Em geral, este parâmetro deve ser considerado no projeto estrutural, levando-se em conta a geometria do elemento estrutural e o espaçamento da armadura ou, alternativamente, em função da disponibilidade.

Estimativa da quantidade de água e do teor de ar

A quantidade de água necessária à obtenção de um determinado abatimento depende de vários fatores: dimensão máxima do agregado, forma, textura e granulometria, teor de ar, uso de aditivos e temperatura do concreto.

Seleção da relação água/cimento

Adotar o menor valor da relação a/c , ou seja, o menor valor para se atender a resistência e a durabilidade concomitantemente.

Cálculo do consumo de cimento

Os resultados dos itens c) e d) fornecem de forma direta o consumo de cimento.

Estimativa do teor de agregado graúdo

A determinação do consumo do agregado graúdo pode ser feita através da Tabela 7, em função da dimensão máxima característica ($D_{m\acute{a}x}$) do agregado graúdo e do módulo de finura (MF) do agregado miúdo.

Tabela 7 - Volume compactado seco (Vcs) de agregado graúdo por m³ de concreto, correlacionado com o modulo de finura e a dimensão máxima características do agregado graúdo.

Módulo de Finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo				
	D _{máx}				
	9,5	19	25	32	38
MF	Volume compactado seco (Vcs) de agregado graúdo por m ³ de concreto				
1,8	0,645	0,77	0,795	0,82	0,845
2,0	0,625	0,75	0,775	0,80	0,825
2,2	0,605	0,73	0,755	0,78	0,805
2,4	0,585	0,71	0,735	0,76	0,785
2,6	0,565	0,69	0,715	0,74	0,765
2,8	0,545	0,67	0,695	0,72	0,745
3,0	0,525	0,65	0,675	0,70	0,725
3,2	0,505	0,63	0,655	0,68	0,705
3,4	0,485	0,61	0,635	0,66	0,685
3,6	0,465	0,59	0,615	0,64	0,665

Fonte: RODRIGUES, 1990.

Estimativa do teor de agregado miúdo

Até chegar a esse passo, todos os constituintes do concreto já foram determinados, exceto a quantidade de agregado miúdo. Então, determina-se o consumo da areia, C_a, em kg, para cada m³, através da Equação seguinte:

$$C_a = [1 - (C_c/\gamma_c + C_b/\gamma_b + C_w/\gamma_{ag} + Var)] \times \gamma_a$$

C_c = Consumo de Cimento, em kg, por m³ de concreto.

C_b = Consumo de Brita, em kg, por m³ de concreto.

C_w = Consumo de água, em kg, por m³, de concreto.

Var = Volume de ar incorporado, em m³.

γ_c = Massa específica do cimento (kg/m³).

γ_b = Massa específica da brita (kg/m³).

γ_a = Massa específica da areia (kg/m³).

γ_{ag} = Massa específica da água (kg/m³).

Ajustes das proporções

O traço é determinado pela razão de todas as massas obtidas em relação à massa de cimento.

$$\frac{C_c}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_w}{C_c}$$

4 CÁLCULO DOS 12 TRAÇOS CONFORME OS 4 MÉTODOS DE DOSAGEM

4.1 CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T1); 0,55 (T2); 0,65 (T3), SEGUNDO O MÉTODO EPUSP/IPT

Com base no resumo explicitado no item 3.1, foram obtidos os seguintes parâmetros considerando concreto convencional (classe de consistência S100), teor de argamassa seca (K) = 0,51 e relação água/materiais secos (A%)= 10,52, conforme se constata abaixo:

Mistura experimental (Traço unitário, em massa, intermediário: 1,00: 2,00: 3,00: a/c)

Cimento = 20000,00 g / 6,00 = 3333,33 g

Areia = 6666,67 g + 200 g = 6866,67 g (na definição do teor de argamassa ideal, verificou-se a falta de agregado miúdo, motivo pelo qual foram adicionados 200 g de areia no traço).

Brita₁₉ = 10000,00 g

Água = 2000,00 g + 125,00 g = 2125,00 g (com o acréscimo de areia, houve necessidade de adicionar 125 g de água).

Cálculo do valor de K (teor de argamassa seca)

$$K = (1 + a) / (1 + m) = (\text{massa do cimento} + \text{massa da areia}) / (\text{massa do cimento} + \text{massa da areia} + \text{massa da brita}_{19}) = (3333,33 \text{ g} + 6866,67 \text{ g}) / (3333,33 \text{ g} + 6866,67 \text{ g} + 10000,00 \text{ g})$$

K = 0,51

Cálculo do valor de A%

$$A\% = [(\text{massa de água}) / (\text{massa de materiais secos})] \times 100$$

$$A\% = [(2125,00 \text{ g}) / (3333,33 \text{ g} + 6866,67 \text{ g} + 10000,00 \text{ g})] \times 100 = 10,52$$

4.1.1 Cálculo do traço T1 (a/c = 0,45)

$m = \{[(a/c) \times 100] / A\% \} - 1 \rightarrow$ Equação básica de dosagem

$$m = [(0,45 \times 100) / 10,52] - 1 = 3,28$$

$$K = (1 + a) / (1 + m)$$

$$0,51 = (1 + a) / (1 + 3,28)$$

$$a = 1,18$$

$$m = (a + b_{19}) = 3,28 = 1,18 + b_{19} \rightarrow b_{19} = 2,10$$

Traço T1 unitário, em massa: 1,00: 1,18: 2,10: 0,45

Cálculo do consumo de cimento, em kg, necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T1.

$$C = \frac{1000x(1 - 2\%)}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1,18}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,10}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,45}{1,00 \text{ kg/dm}^3}}$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T1 = 495 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,89 dm³

Massa de cimento: 20,240Kg

Massa de areia: 23,883Kg

Massa de brita: 42,504Kg

Massa de água: 9,108Kg

4.1.2 Cálculo do traço T2 (a/c = 0,55)

$m = \{[(a/c) \times 100] / A\% \} - 1 \rightarrow$ Equação básica de dosagem

$$m = [(0,55 \times 100) / 10,52] - 1 = 4,23$$

$$K = (1 + a) / (1 + m)$$

$$0,51 = (1 + a) / (1 + 4,23)$$

$$a = 1,67$$

$$m = (a + b_{19}) = 4,23 = 1,67 + b_{19} \rightarrow b_{19} = 2,56$$

Traço T2 unitário, em massa: 1,00: 1,67: 2,56: 0,55

Cálculo do consumo de cimento, em kg, necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T2.

$$C = \frac{1000x(1 - 2\%)}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1,67}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,56}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,55}{1,00 \text{ kg/dm}^3}}$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T2 = 402kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,89dm³

Massa de cimento: 16,440Kg

Massa de areia: 27,455Kg

Massa de brita: 42,086Kg

Massa de água: 9,042Kg

4.1.3 Cálculo do traço T3 (a/c = 0,65)

$m = \{[(a/c) \times 100] / A\% \} - 1 \rightarrow$ Equação básica de dosagem

$$m = [(0,65 \times 100) / 10,52] - 1 = 5,18$$

$$K = (1 + a) / (1 + m)$$

$$0,51 = (1 + a) / (1 + 5,18)$$

$$a = 2,15$$

$$m = (a + b_{19}) = 5,18 = 2,15 + b_{19} \rightarrow b_{19} = 3,03$$

Traço T3 unitário, em massa: 1,00: 2,15: 3,03: 0,65

Cálculo do consumo de cimento, em kg, necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T3.

$$C = \frac{1000x(1 - 2\%)}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,15}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{3,03}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,65}{1,00 \text{ kg/dm}^3}}$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T3=339kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,94 dm³

Massa de cimento: 13,88Kg

Massa de areia: 29,842Kg

Massa de brita: 42,056Kg

Massa de água: 9,022Kg

4.2 CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T4); 0,55 (T5); 0,65 (T6), SEGUNDO O MÉTODO ACI

Com base no resumo explicitado no item 3.4 foram obtidos os seguintes parâmetros considerando concreto convencional (Classe de consistência S100), conforme se constata abaixo:

Estimativa da quantidade de água, considerando $D_{\text{máx}}$ da brita = 19 mm e abatimento = 100 mm: 205ℓ. Recomenda-se consultar Neville (2016, p.785).

Tabela 8 - Demandas aproximadas de água de amassamento e do teor de ar para diferentes abatimentos e dimensões nominais de agregados apresentadas no ACI 211.1-91 (reaprovado em 2002)

Abatimento (mm)	Água (ℓ/m ³) de concreto por dimensão máxima de agregado							
	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Concreto sem ar incorporado								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	---
Quantidade de ar aprisionado	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto com ar incorporado								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	---
Teor total de ar (%) para:								
Melhoria da trabalhabilidade	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Exposição moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Exposição severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0

Fonte: Neville (2016)

Estimativa do teor de ar aprisionado: 2%

Estimativa do volume de agregado graúdo, considerando módulo de finura da areia = 1,55 e $D_{\text{máx}}$ da brita = 19 mm : 0,79 m³/m³ de concreto, conforme dados da Tabela 7.

4.2.1 Cálculo do traço T4 (a/c = 0,45)

a/c = 0,45

Cálculo do consumo do cimento

$$\text{Massa de cimento} = \frac{205 \text{ kg}}{0,45} = 456 \text{ kg}$$

1 m³ de concreto = Volume de cimento + Volume de areia + Volume de brita 19 +
Volume de água + Volume de ar

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b19} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%, massa unitária compactada da brita = 1,46 kg/dm³

1 m³ de concreto = $\frac{\text{massa de cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$

Cálculo da massa da brita

$$\mu_c = \frac{\text{massa da brita 19}}{\text{volume da brita}}$$

massa da brita 19 = $\mu_c \times \text{volume da brita 19} = 1,46 \text{ kg/dm}^3 \times 0,79 \text{ m}^3 = 1153,4 \text{ kg}$

1 m³ de concreto = $\frac{\text{massa de cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - \text{Vol. de ar} = \frac{456 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - 2\% \times 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{456 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1000 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 = 144,76 \text{ dm}^3 + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + 419,42 \text{ dm}^3 + 205 \text{ dm}^3$$

Massa da areia = 552,35 kg

Valor adotado da massa da areia = 556,56 kg, em função de divergência dos resultados das massas específicas dos agregados miúdos

Quantidades dos materiais (Traço T4)

Cimento = 456 kg

Areia = 556,56 kg

Brita 19 = 1153,4 kg

Água = 205 kg

Traço T4 unitário em massa

Cimento = 1,00

Areia = 1,22

Brita 19 = 2,53

Água = 0,45

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica e da consistência, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,0 dm³

Massa de cimento: 18,24 Kg

Massa de areia: 22,253 Kg

Massa de brita: 46,147Kg

Massa de água: 8,208 Kg

4.2.2 Cálculo do traço T5 (a/c = 0,55)

a/c = 0,55

Cálculo do consumo do cimento

Massa de cimento = $\frac{205 \text{ kg}}{0,55} = 372,73 \text{ kg}$

1 m³ de concreto = Volume de cimento + Volume de areia + Volume de brita 19 + Volume de água + Volume de ar

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b19} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%, massa unitária compactada da brita = 1,46 kg/dm³

1 m³ de concreto = $\frac{\text{massa de cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$

Cálculo da massa da brita

$$\mu_c = \frac{\text{massa da brita 19}}{\text{volume da brita}}$$

massa da brita 19 = $\mu_c \times \text{volume da brita 19} = 1,46 \text{ kg/dm}^3 \times 0,79 \text{ m}^3 = 1153,4 \text{ kg}$

1 m³ de concreto = $\frac{\text{massa de cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - \text{Vol. de ar} = \frac{372,73 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - 2\% \times 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{372,73 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1000 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 = 118,33 \text{ dm}^3 + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + 419,42 \text{ dm}^3 + 205 \text{ dm}^3$$

Massa da areia = 621,60 kg

Valor adotado da massa da areia = 626,34 kg, em função de divergência dos resultados das massas específicas dos agregados

Quantidades dos materiais (T5)

Cimento = 372,73 kg

Areia = 626,34 kg

Brita 19 = 1153,4 kg

Água = 205 kg

Traço T5 unitário em massa

Cimento = 1,00

Areia = 1,68

Brita 19 = 3,09

Água = 0,55

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,0 dm³

Massa de cimento: 14,909 Kg

Massa de areia: 25,047 Kg

Massa de brita: 46,069Kg

Massa de água: 8,200 Kg

4.2.3 Cálculo do traço T6 (a/c = 0,65)

a/c = 0,65

Cálculo do consumo do cimento

Massa de cimento = $\frac{205 \text{ kg}}{0,65} = 315,38 \text{ kg}$

1 m³ de concreto = Volume de cimento + Volume de areia + Volume de brita 19 + Volume de água + Volume de ar

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b19} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$; teor de ar aprisionado = 2%, massa unitária compactada da brita = 1,46 kg/dm³

1 m³ de concreto = $\frac{\text{massa de cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$

Cálculo da massa da brita

$$\mu_c = \frac{\text{massa da brita 19}}{\text{volume da brita}}$$

massa da brita 19 = $\mu_c \times \text{volume da brita 19} = 1,46 \text{ kg/dm}^3 \times 0,79 \text{ m}^3 = 1153,4 \text{ kg}$

1 m³ de concreto = $\frac{\text{massa de cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - \text{Vol. de ar} = \frac{315,38 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - 2\% \times 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{315,38 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1000 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 = 100,12 \text{ dm}^3 + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + 419,42 \text{ dm}^3 + 205 \text{ dm}^3$$

Massa da areia = 669,31 kg

Valor adotado da massa da areia = 674,41 kg, em função de divergência nos resultados das massas específicas dos agregados

Quantidades dos materiais (T6)

Cimento = 315,38 kg

Areia = 674,41 kg

Brita 19 = 1153,4 kg

Água = 205 kg

Traço T6 unitário em massa

Cimento = 1,00

Areia = 2,14

Brita 19 = 3,66

Água = 0,65

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,0 dm³

Massa de cimento: 12,615 Kg

Massa de areia: 26,997 Kg

Massa de brita: 46,171 Kg

Massa de água: 8,200 Kg

4.3 CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T7); 0,55 (T8); 0,65 (T9), SEGUNDO O MÉTODO FAURY

Determinação da máxima dimensão do agregado

A dimensão máxima característica do agregado corresponde a 19 mm. Sendo assim,
D=19 mm

Atribuições dos valores dos parâmetros da curva de Faury

$$P\left(\frac{D}{2}\right) = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0,75}$$

$A = 30$, pois trata do parâmetro de trabalhabilidade da curva de Faury. Verificar quadros 5.2 e 5.9 mencionados por Coutinho (2012, p.29–56). Cabe salientar que foi adotada a trabalhabilidade “mole”, haja vista que o abatimento adotado foi superior ou igual a 100 mm e inferior a 160 mm. (S100)

$B = 2$, e corresponde ao parâmetro de compacidade. Verificar quadro 5.9 mencionado por Coutinho (2012, p.56).

$R = D$, e corresponde ao raio médio do molde a encher, tendo sido atribuído valor igual à máxima dimensão do agregado.

Cálculo da ordenada do ponto de abscissa $\frac{D}{2} = 9,5 \text{ mm}$ da curva de Faury.

$$P_{(9,5)} = 30 + 17\sqrt[5]{19} + \frac{2}{\frac{19}{19} - 0,75}$$

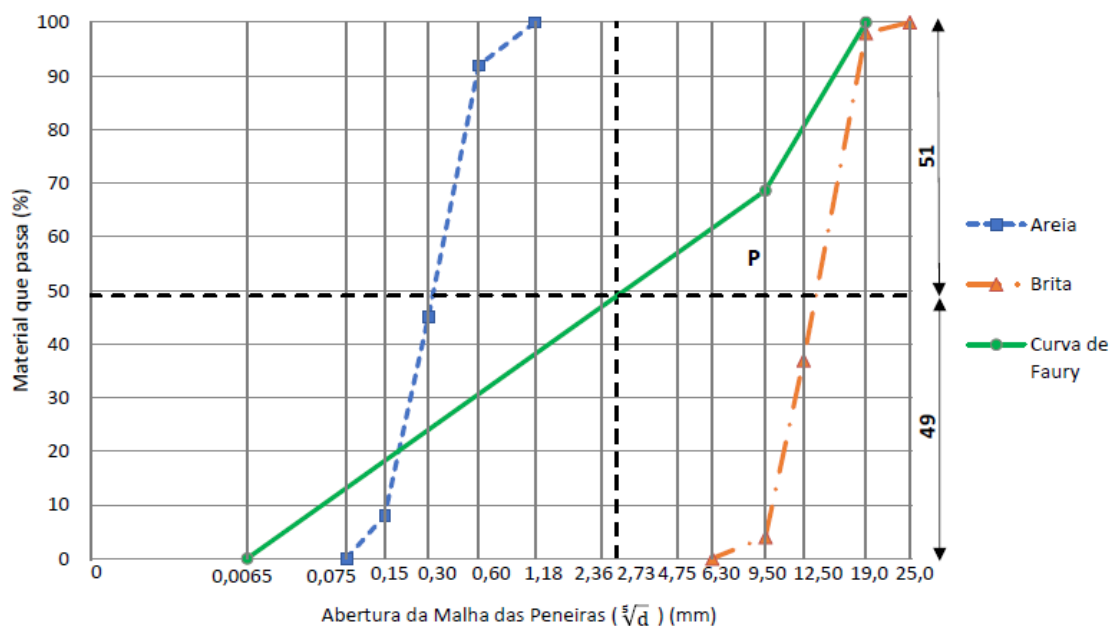
$$P_{(9,5)} = 30 + 30,66 + \frac{2}{1 - 0,75}$$

$$P_{(9,5)} = 68,66$$

Elaboração do gráfico (Figura 6), traçando a curva de referência de Faury, incluindo o cimento:

Salienta-se que a curva de referência é constituída por dois segmentos de reta num diagrama em que as ordenadas se referem à porcentagem do material que passa e as abscissas têm o significado habitual nas curvas granulométricas. As ordenadas encontram-se em uma escala linear; as abscissas, que vão de 0,0065 mm até 19 mm, têm uma escala proporcional à raiz quinta das dimensões das partículas.

Figura 6 - Curva granulométrica de referência de Faury e curvas granulométricas dos agregados estudados



Fonte: Próprios autores

Consultar Quadros 5.9 e 5.10 mencionados por Coutinho (2012, p.56-58). Observar que o módulo de finura da curva de referência corresponde a 4,17, em função dos dados obtidos para os parâmetros ($A=30$, $B=2$, $R=D$)

Como há lacuna ou descontinuidade dos inertes (areia e brita19), a paralela ao eixo das ordenadas foi traçada no ponto de abscissa (d_m) igual à média geométrica das abscissas d_1 (1,18 mm) e d_2 (6,3 mm). Assim, para ajustar a curva real de referência traçou-se a mencionada paralela a partir do citado ponto.

Média geométrica (d_m) entre os pontos (d_1 e d_2) deve ser calculada pela Equação seguinte.

$$d_m = \sqrt{d_1 \times d_2}$$

Onde:

d_1 é a maior dimensão, em mm, da malha da peneira utilizada no ensaio de granulometria da areia;

d_2 é a menor dimensão, em mm, da malha da peneira utilizada no ensaio de granulometria da brita19.

Logo,

$$d_m = \sqrt{1,18 \text{ mm} \times 6,3 \text{ mm}}$$

$$d_m = 2,73 \text{ mm}$$

Cálculo da porcentagem dos componentes: agregado e cimento

A partir da intersecção da reta mencionada anteriormente com a curva de referência de Faury, obtêm-se os percentuais de brita e da mistura (areia + cimento). Sendo assim, encontra-se no gráfico da Figura 6 o percentual de brita de 51% e o de areia e cimento corresponde a 49%. Porém os valores adotados foram de 54% de brita e 46% de areia e cimento, calculados de forma preliminar e ajustados experimentalmente. Estes valores foram mantidos porque na prática atenderam as propriedades do concreto fresco e, portanto, diferem daqueles obtidos no gráfico da Figura 6.

4.3.1 Cálculo do Traço T-7

Como é necessário separar o cimento da areia, deve-se calcular a porcentagem de cimento na soma dos volumes do agregado e do cimento contidos na curva granulométrica. Assim, determinam-se as porcentagens, em volume, dos materiais: cimento, areia e brita.

O volume de água por metro cúbico de concreto foi arbitrado conforme Tabela 9. Esta quantidade é função da dimensão máxima característica do agregado graúdo e da consistência do concreto. É válido ressaltar que o método de Faury arbitra 200 dm³ para os materiais da região portuguesa.

Tabela 9 - Teores de água aproximados para diferentes abatimentos de tronco de cone e dimensões máximas do agregado

Teor de água do concreto (kg/m ³)						
Dimensão máxima do agregado (mm)	Abatimento de 25-50 mm		Abatimento de 75-100 mm		Abatimento de 150-175 mm	
	Agregado arredondado	Agregado angular	Agregado arredondado	Agregado angular	Agregado arredondado	Agregado angular
9,5	185	210	200	225	220	250
12,7	175	200	195	215	210	235
19,0	165	190	185	205	200	220
25,4	155	175	175	200	195	210
38,1	150	165	165	185	185	200
50,8	140	160	160	180	170	185
76,2	135	155	155	170	165	180

Fonte: NEVILLE (2016), adaptada pelo autor

Logo, usando-se os dados da Tabela 9, tem-se:

Quantidade de água arbitrada = 205 kg/m³. Coutinho (2012, p.67) arbitrou em 200 kg/m³. Valor do teor ar arbitrado = 2%, o que corresponde a 20 dm³. Coutinho (2012, p.67) arbitrou em 1,5%.

Para a/c = 0,45, a massa de cimento para 1 m³ de concreto corresponde a aproximadamente a 456 kg.

Cálculo do volume absoluto de cimento, sendo a massa específica do cimento utilizado 3,15 kg/ dm³, obteve-se:

$$V (dm^3) = \frac{m (kg)}{\gamma \left(\frac{kg}{dm^3}\right)}$$

$$\text{Volume absoluto de cimento} = \frac{456 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} = 144,76 \text{ dm}^3$$

Somatório dos volumes (cimento + água + ar) = 144,76 dm³ + 205 dm³ + 20 dm³ → adotado 369,75 dm³

Cálculo do volume absoluto dos agregados em 1 m³ de concreto = 1000 dm³ - 369,75 dm³ = 630,25 dm³

Cálculo da percentagem do volume de cimento na totalidade dos sólidos =

$$\frac{144,76 \text{ dm}^3}{144,76 \text{ dm}^3 + 630,25 \text{ dm}^3} \times 100 = 18,68$$

Cálculo da percentagem do volume de areia

O valor adotado anteriormente (46%) corresponde ao somatório das percentagens de cimento e areia. Esse valor subtraído da percentagem de cimento encontrada no item acima resulta na percentagem do volume de areia.

Cálculo da percentagem do volume de areia = $46,0 - 18,68 = 27,32$, ou seja, o volume de areia corresponde a 27,32 %.

Em função do exposto, os volumes dos materiais correspondem, em %, a:

Cimento = 18,68

Areia = 27,32

Brita = 54,00

Acerto da composição pelo módulo de finura

Conforme constam nas tabelas 3 e 4, os módulos de finura dos agregados correspondem, respectivamente, a 1,55 (areia) e 6,98 (brita 19),

Percentagem do volume da areia x o módulo de finura da areia + percentagem do volume da brita x módulo de finura da brita = módulo de finura da mistura

$$ax \text{módulo de finura da areia} + bx \text{módulo de finura da brita} \\ = \text{módulo de finura da mistura}$$

Onde:

Módulo de finura da areia = 1,55

Módulo de finura da brita 19 = 6,98

$a = 0,2732$

$b = 0,54$

$$0,2732 \times 1,55 + 0,54 \times 6,98 = \text{módulo de finura da mistura}$$

módulo de finura da mistura = 4,19 , portanto, diferente do valor do módulo de finura da curva que é de 4,17. Após ajuste do módulo de finura, com base nas equações seguintes, foram obtidos os valores de 27,73% e 53,59%, correspondentes a a_1 e b_1 respectivamente.

$$a_1 \times 1,55 + b_1 \times 6,98 = 4,17 a_1 + b_1 = 0,8132$$

Sendo assim, a nova composição do concreto em volume corresponde a:

Cimento = 18,68 %

Areia = 27,73 %

Brita 19 = 53,59 %

Composição do concreto em kg/m³

Cálculo da percentagem de areia em relação aos agregados:

$$\text{Areia (\%)} = \frac{27,73\%}{27,73\% + 53,59\%} \times 100 = 34,1$$

$$\text{Brita 19 (\%)} = \frac{53,59\%}{53,59\% + 27,73\%} \times 100 = 65,9$$

Cálculo da massa de brita 19, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto

Massa de brita 19 = $\gamma_b \times \text{Volumedessólidosdebrita}$

$$\text{Massa de brita 19} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 65,9\% \times \text{volumedeagregados}$$

$$\text{Massa de brita 19 (kg)} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 65,9 \% \times 630,25 \text{ dm}^3 = 1.142,17$$

Cálculo da massa de areia, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto

$$\text{Massa de areia} = \gamma \times \text{Volumedeareia}$$

$$\text{Massa de areia} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 34,1 \% \times \text{volumedeagregados}$$

$$\text{Massa de areia (kg)} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 34,1 \% \times 630,25 \text{ dm}^3 = 563,08$$

Sendo assim, as quantidades de materiais necessárias à fabricação de 1 m³ de concreto são:

$$\text{Cimento} = 456 \text{ kg}$$

$$\text{Areia} = 563,08 \text{ kg}$$

$$\text{Brita 19} = 1142,17 \text{ kg}$$

$$\text{Água} = 205 \text{ kg}$$

Acerto da dosagem de água

A mistura experimental visa analisar, principalmente, a coesão e a mobilidade do concreto fresco, assim como o teor de argamassa. Além disso, verifica-se também a consistência do concreto pelo ensaio de abatimento. Tendo em vista o volume da fôrma tronco-cônica, sabe-se que 20 kg de material são suficientes para realizar este ensaio. Logo, assinala-se que as quantidades de materiais utilizadas no ajuste da quantidade de água foram:

$$\text{Cimento} = 4.219,41 \text{ g}$$

$$\text{Areia} = 5.210,97 \text{ g}$$

$$\text{Brita 19} = 10.569,62 \text{ g}$$

$$\text{Água} = 1.898,73 \text{ g}$$

Durante a execução da experiência, constatou-se a necessidade de acrescentar à mistura apenas 50 ml de água. Em função disso, efetuou-se a correção da composição inicial do concreto, conforme passos seguintes:

Em função disso, o traço T7 corrigido corresponde a:

$$\begin{array}{l} \text{Relação} \quad \text{água/materiais} \quad \text{secos} \quad \text{(A\%)} \quad = \\ \frac{\text{massa de água}}{\text{massa dos materiais secos}} \times 100 = \frac{1898,73 \text{ g} + 50 \text{ g}}{20.000 \text{ g}} \times 100 \end{array}$$

$$A\% = 9,74$$

Cálculo da nova relação agregado/ cimento, m.

$$m = \frac{a}{c} \times \frac{100}{A\%} - 1$$

$$m = \frac{0,45 \times 100}{9,74} - 1 = 3,62$$

Cálculo do traço unitário T-7, em massa:

Cimento – 1,00

$$\text{Areia} - 3,62 \times \frac{5.210,97 \text{ g}}{5.210,97 \text{ g} + 10.569,62 \text{ g}} = 1,195$$

$$\text{Brita} - 3,62 \times \frac{10.569,62 \text{ g}}{5.210,97 \text{ g} + 10.569,62 \text{ g}} = 2,425$$

Água – 0,45

Cálculo do novo consumo de cimento e a quantidade dos materiais para a produção do concreto, utiliza-se a seguinte equação.

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000x(1-\% \text{ teor de ar})}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 \times (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1,195}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,425}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,45}{1,00 \text{ kg/dm}^3}}$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T-7 = 380 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,0 dm³

Quantidades dos materiais, em massa, utilizadas para realização dos ensaios em concretos produzidos a partir do traço T-7

Cimento: 15,200Kg

Areia: 18,164 Kg

Brita19: 36,860 Kg

Massa de água: 6,840 Kg

4.3.2 Cálculo do Traço T-8

As etapas citadas anteriormente são similares às utilizadas no cálculo de T-8.

Volume de água corrigido em função do traço T-7 = 210 dm³. Coutinho (2012, p.67) arbitrou em 200 dm³).

Valor do teor ar arbitrado = 2%, o que corresponde a 20 dm³. Coutinho (2012, p.67) arbitrou em 1,5%.

a/c = 0,55, sendo assim a massa de cimento para 1 m³ de concreto corresponde, aproximadamente, a 381,82 kg.

$$\text{Volume absoluto de cimento} = \frac{381,82 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} = 121,21 \text{ dm}^3$$

$$\text{Somatório dos volumes (cimento + água + ar)} = 121,21 \text{ dm}^3 + 210 \text{ dm}^3 + 20 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume absoluto dos agregados em 1 m}^3 \text{ de concreto} = 1000 \text{ dm}^3 - 351,21 \text{ dm}^3 = 648,79 \text{ dm}^3$$

$$\text{Cálculo da percentagem do volume de cimento na totalidade dos sólidos} = \frac{121,21 \text{ dm}^3}{121,21 \text{ dm}^3 + 648,79 \text{ dm}^3} \times 100 = 15,74$$

Cálculo da percentagem do volume de areia = 46,0 – 15,74 = 30,26, ou seja, o volume de areia corresponde a 30,26 %.

Em função do exposto, os volumes dos materiais correspondem, em %, a:

$$\text{Cimento} = 15,74$$

Areia = 30,26

Brita = 54,00

Acerto da composição pelo módulo de finura

Módulo de finura da areia = 1,55

Módulo de finura da brita 19 = 6,98

Porcentagem do volume da areia x o módulo de finura da areia + porcentagem do volume da brita x módulo de finura da brita = módulo de finura da mistura

$$axmódulodefinuradaareia + bxmódulodefinuradabrita = módulodefinuradamistura$$

a= 0,3026

b= 0,54

$$0,3026 \times 1,55 + 0,54 \times 6,98 = módulodefinuradamistura$$

módulo de finura da mistura = 4,24 , portanto, diferente do valor do módulo de finura da curva que é de 4,17. Após ajuste do módulo de finura, com base nas equações seguintes, foram obtidos os valores de 31,52% e 52,74%, correspondentes a a_1 e b_1 respectivamente.

$$a_1 \times 1,55 + b_1 \times 6,98 = 4,17a_1 + b_1 = 0,8426$$

Sendo assim, a nova composição do concreto em volume corresponde a:

Cimento = 15,74 %

Areia = 31,52 %

Brita 19 = 52,74 %

Composição do concreto em kg/m³

Cálculo da porcentagem de areia em relação aos agregados:

$$\text{Areia (\%)} = \frac{31,52\%}{31,52\% + 52,74\%} \times 100 = 37,41$$

$$\text{Brita 19 (\%)} = \frac{52,74\%}{52,74\% + 31,52\%} \times 100 = 62,59$$

Cálculo da massa de brita 19, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto

$$\text{Massa de brita 19} = \gamma_b \times \text{Volumedelosólidosdebrita}$$

$$\text{Massa de brita 19} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 62,59\% \times \text{volumedeagregados}$$

$$\text{Massa de brita 19 (kg)} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 62,59\% \times 648,79 \text{ dm}^3 = 1.116,71$$

Cálculo da massa de areia, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto

$$\text{Massa de areia} = \gamma_a \times \text{Volumedeareia}$$

$$\text{Massa de areia} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 37,41\% \times \text{volumedeagregados}$$

$$\text{Massa de areia (kg)} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 37,41\% \times 648,79 \text{ dm}^3 = 635,91$$

Sendo assim, as quantidades de materiais necessárias à fabricação de 1 m³ de concreto são:

$$\text{Cimento} = 381,82 \text{ kg}$$

$$\text{Areia} = 635,91 \text{ kg}$$

$$\text{Brita 19} = 1.116,71 \text{ kg}$$

$$\text{Água} = 210 \text{ kg}$$

Acerto da dosagem de água

Não houve necessidade de ajustar a quantidade de água

Cálculo do traço unitário T-8, em massa:

Cimento – 1,00

Areia –1,665

Brita –2,925

Água – 0,550

Cálculo do novo consumo de cimento e da quantidade dos materiais para a produção do concreto. Utiliza-se a seguinte equação:

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000x(1-\% \text{ teor de ar})}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 \times (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1,665}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,925}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,55}{1,00 \text{ kg/dm}^3}}$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T-8 = 312 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,0 dm³

Massa de cimento: 12,480Kg

Massa de areia: 20,779 Kg

Massa de brita: 36,504 Kg

Massa de água: 6,864 Kg

4.3.3 Cálculo do Traço T-9

As etapas citadas anteriormente são similares às utilizadas no cálculo de T-9.

Volume de água corrigido em função do traço T-7 = 210 dm³. Coutinho (2012, p.67) arbitrou em 200 dm³.

Valor do teor ar arbitrado = 2%, o que corresponde a 20 dm³. Coutinho (2012, p.67) arbitrou em 1,5%.

a/c = 0,65, sendo assim a massa de cimento para 1 m³ de concreto corresponde a aproximadamente a 323,1 kg.

$$\text{Volume absoluto de cimento} = \frac{323,1 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} = 102,57 \text{ dm}^3$$

$$\text{Somatório dos volumes (cimento + água + ar)} = 102,57 \text{ dm}^3 + 210 \text{ dm}^3 + 20 \text{ dm}^3 = 332,57 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume absoluto dos agregados em 1 m}^3 \text{ de concreto} = 1000 \text{ dm}^3 - 332,57 \text{ dm}^3 = 667,43 \text{ dm}^3$$

Cálculo da percentagem do volume de cimento na totalidade dos sólidos =

$$\frac{102,57 \text{ dm}^3}{102,57 \text{ dm}^3 + 667,43 \text{ dm}^3} \times 100 = 13,32$$

Cálculo da percentagem do volume de areia = $46,0 - 13,32 = 32,68$, ou seja, o volume de areia corresponde a 32,68 %.

Em função do exposto, os volumes dos materiais correspondem, em %, a:

Cimento = 13,32

Areia = 32,68

Brita = 54,00

Acerto da composição pelo módulo de finura

Módulo de finura da areia = 1,55

Módulo de finura da brita 19 = 6,98

Percentagem do volume da areia x o módulo de finura da areia + percentagem do volume da brita x módulo de finura da brita = módulo de finura da mistura

$$axmódulodefinuradaareia + bxmódulodefinuradabrita = módulodefinuradamistura$$

a= 0,3268 e b= 0,54

$$0,3268 \times 1,55 + 0,54 \times 6,98 = módulodefinuradamistura$$

módulo de finura da mistura = 4,28 , portanto, diferente do valor do módulo de finura da curva que é de 4,17. Após ajuste do módulo de finura e com base nas equações seguintes, foram obtidos os valores de 34,63% e 52,05%, correspondentes a a_1 e b_1 respectivamente.

$$a_1 \times 1,55 + b_1 \times 6,98 = 4,17a_1 + b_1 = 0,8668$$

Sendo assim, a nova composição do concreto em volume corresponde a:

Cimento = 13,32 %

Areia = 34,63 %

Brita 19 = 52,05 %

Composição do concreto em kg/m³

Cálculo da percentagem de areia em relação aos agregados:

$$\text{Areia (\%)} = \frac{34,63\%}{34,63\% + 52,05\%} \times 100 = 39,95$$

$$\text{Brita 19 (\%)} = \frac{52,05\%}{52,05\% + 34,63\%} \times 100 = 60,05$$

Cálculo da massa de brita 19, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto

Massa de brita 19 = $\gamma_b \times \text{Volumede sólidos de brita}$

$$\text{Massa de brita 19} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 60,05\% \times \text{volumede agregados}$$

$$\text{Massa de brita 19 (kg)} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 60,05\% \times 667,43 \text{ dm}^3 = 1.102,18$$

Cálculo da massa de areia, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto

Massa de areia = $\gamma_a \times \text{Volumede areia}$

$$\text{Massa de areia} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 39,95\% \times \text{volumede agregados}$$

$$\text{Massa de areia (kg)} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 39,95\% \times 667,43 \text{ dm}^3 = 698,59$$

Sendo assim, as quantidades de materiais necessárias à fabricação de 1 m³ de concreto são:

Cimento = 323,10 kg

Areia = 698,59 kg

Brita 19 = 1.102,18 kg

Água = 210 kg

Acerto da dosagem de água

Não houve necessidade de ajustar a quantidade de água.

Cálculo do traço unitário T-9, em massa:

As etapas citadas anteriormente são similares às utilizadas no cálculo de T-9.

Cimento – 1,00

Areia –2,162

Brita –3,411

Água – 0,650

Cálculo do novo consumo de cimento e a quantidade dos materiais para a produção do concreto. Utiliza-se a seguinte equação:

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000x(1-\% \text{ teor de ar})}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 \times (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,162}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{3,411}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,65}{1,00 \text{ kg/dm}^3}}$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T-9 =
264 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 40,0 dm³

Massa de cimento: 10,560Kg

Massa de areia: 22,830 Kg

Massa de brita: 36,020 Kg

Massa de água: 6,864 Kg

4.4 CÁLCULO DOS TRAÇOS DE CONCRETO COM RELAÇÕES ÁGUA/CIMENTO IGUAIS A 0,45 (T10); 0,55 (T11); 0,65 (T12), SEGUNDO O MÉTODO VALLETTE

4.4.1 Cálculo do Traço T12, a/c=0,65

1º passo: Determina-se o volume de vazios, V_m (ℓ) presente em 1000ℓ ou 1 m³ de areia molhada (V_{Th}).

V_{Th} = volume absoluto da areia molhada (volume de sólidos de areia, V_S , + volume de água, a_a) + volume de vazios (V_m). Ou seja,

Volume absoluto da areia molhada = $V_S + a_a$

Volume de vazios (V_m) = $V_{Th} - (V_S + a_a)$. Como V_{Th} é igual a 1m³ ou 1000 ℓ, tem-se:

Volume de vazios (V_m) = 1000 ℓ - ($V_S + a_a$)

1º passo: Para tanto, calcula-se o volume de sólidos (VS) de areia existente em 1000 ℓ ou 1 m³ de areia molhada, a partir de os valores da massa unitária, massa específica e a massa de areia seca existente em 1000 ℓ ou 1 m³ de areia seca aparente.

$VS = (\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3) / \gamma$, sendo que a unidade de $(\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3)$ é kg e a unidade de γ é kg/dm³.

1000 litros de areia seca correspondem a uma massa, em kg, de $\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 = 1500 \text{ kg}$

$$VS = (1,5 \text{ kg/dm}^3) \times 1000 \text{ dm}^3 / 2,62 \text{ kg/dm}^3 = 572,52 \text{ dm}^3$$

Calcula-se o volume da água de molhagem (a_a) pela fórmula de Bolomey

$$a_a = kP / (d_1 \times d_2)^{1/3}$$

K – varia com o coeficiente de forma, tipo de rocha, consistência etc., conforme Bauer (2013, p.202-203).

1500 Kg de areia = massa da areia retida na fração da fração ($d_1=1,18\text{mm}/d_2=0,60\text{mm}$) + massa da areia retida na fração da fração ($d_1=0,60\text{mm}/d_2=0,30\text{mm}$).

Adotado $k=0,095$, pois a areia é natural.

Cálculo da massa de areia retida na fração da fração ($d_1=1,18\text{mm}/d_2=0,60\text{mm}$)

8% → 55% (para simplificar)

$$X \rightarrow 100\% \text{ -----} \rightarrow X = 14,55\%$$

Massa de areia com grãos entre 1,18 e 0,60 mm = 1500 kg x 0,1455 = 218,25 kg

Água de molhagem para 1kg = 0,1060 ℓ, logo para 218,25 Kg, o valor corresponde a 23,13 ℓ.

Cálculo da massa da areia retida na fração da fração ($d_1=0,60\text{mm}/d_2=0,30\text{mm}$)

47% → 55%

$$Y \rightarrow 100\% \rightarrow Y = 85,45\%$$

Massa de areia com grãos entre 0,60 mm e 0,30 mm = 1500 kg x 0,8545 = 1281,75 kg

Água de molhagem para 1kg = 0,1684 ℓ, logo para 1281,75 Kg, o valor corresponde a 215,84 ℓ.

Total da água de molhagem = 238,9 ℓ = $a_a = 238,9 \text{ dm}^3$

OBS.: Para o cálculo da água de molhagem foi adotado o critério de empregar apenas as frações superiores ou iguais a 0,30 mm, conforme Bauer (2013, p.203), volume1. Outro procedimento poderá consistir em calcular o valor da água de molhagem dos grãos retidos entre as peneiras 0,15 mm e 0,30 mm a partir da fórmula de Bolomey.

2º passo: Cálculo do volume de vazios (V_m)

Volume de vazios (V_m) = $1000 \text{ ℓ} - (V_S + a_a) = 1000 \text{ ℓ} - (572,52 \text{ dm}^3 + 238,9 \text{ dm}^3) = 188,58 \text{ dm}^3$

Corrige-se o volume de vazios em 10%, para garantir o bom recobrimento da areia pela pasta de cimento.

$V_{m_a} \text{ corrigido} = 188,58 \text{ dm}^3 \times 1,10$

$V_{m_a} \text{ corrigido} = 207,44 \text{ dm}^3$

3º passo: Cálculo do volume de pasta (cimento + água de hidratação) a acrescentar

Volume de pasta a acrescentar = Volume de cimento (Massa de cimento/ γ_{cimento}) + volume de água de hidratação

Volume de pasta a acrescentar = $(MC/\gamma_c) + \text{água de hidratação} = MC/3,15 + 0,25MC$

Volume de pasta a acrescentar = 0,56MC, ou seja 1kg de cimento corresponde a 0,56 dm^3 de pasta a acrescentar.

OBS: Lembrar que a areia está úmida e que já existe água na areia.

0,56 dm^3 de pasta \rightarrow 1 kg de cimento

207,44 dm³ de pasta → MC, logo MC = 370,43 kg.

Água de hidratação = 0,25 x 370,43 kg = 92,60 kg

4º passo: Correspondência entre o volume de pasta adicionado e o volume corrigido de vazios

$$0,56 MC = 1,1 V_{m_a}$$

$$MC = 1,1 V_{m_a} / 0,56$$

Observar Bauer (2013, p.236).

0,56 dm³ de pasta → 1 kg de cimento

207,44 dm³ de pasta → MC₁, logo MC₁ = 370,43 kg.

5º passo: Cálculo do traço de argamassa

$$\text{Cimento} = MC_1 = 1,1 V_{m_a} / 0,56 = 370,43 \text{ kg}$$

$$\text{Areia} = \mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 = 1500 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Água} &= a_a \text{ (água de molhagem da areia)} + 0,25 MC \text{ (água de hidratação)} = 238,9 \text{ kg} + \\ &0,25 \times 370,43 \text{ kg} = 331,50 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{Traço unitário} \square 1,00: \mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 / MC_1: (a_a + 0,25 MC_1) / MC_1$$

$$\text{Cimento} = (370,43 \text{ kg} / 370,43 \text{ kg}) = 1,000; \text{ areia} = 1500 \text{ kg} / 370,43 \text{ kg} = 4,050;$$

$$\text{Água} = 331,50 \text{ kg} / 370,43 \text{ kg} = 0,89$$

Traço unitário: cimento = 1,00; areia = 4,050; água = 0,89

6º passo: Coloca-se a esta argamassa o máximo de agregado graúdo, saturado e molhado “b”, de modo a se obter um concreto adequado às condições do canteiro.

- 1000 litros de brita seca corresponde a uma massa de $1000 \mu_b$

1000ℓ (dm³) de brita19 corresponde a 1440 kg, em função da massa unitária compactada da brita ser igual a 1,44kg/dm³.

A água de molhagem (a_b) de 1000 ℓ de brita será determinada a partir da fórmula de Bolomey, conforme Bauer (2013, p.202-203).

1440 Kg de brita19 = massa da brita19 retida na fração da fração (d1=25mm/d2 = 19mm) + massa da brita 19 retida na fração da fração (d1=19mm/d2 =9,5mm) + massa da brita 19 retida na fração da fração (d1=9,5mm/d2 =4,75mm).

Adotado $k=0,110$, pois o agregado graúdo é artificial (brita).

Cálculo da massa de brita19 retida na fração da fração (d1= 25mm/d2 = 19mm)

Massa de brita (com grãos entre 25 mm e 19 mm) = 1440 kg x 2% = 28,80 kg

Água de molhagem para 1kg = 0,0141 ℓ (Tabela da página 203 de Bauer), logo para 28,80 Kg, o valor corresponde a 0,41 ℓ.

Cálculo da massa de brita19 retida na fração da fração (d1= 19mm/d2 = 9,5mm)

Massa de brita (com grãos entre 19 mm e 9,5 mm) = 1440 kg x 94% = 1353,60 kg

Água de molhagem para 1kg = 0,0194 ℓ(Tabela da página 203 de Bauer) , logo para 1353,60 Kg, o valor corresponde a 26,26 ℓ.

Cálculo da massa de brita19 retida na fração da fração (d1= 9,5mm / d2 = 4,75mm)

Massa de brita (com grãos entre 9,5 mm e 4,75 mm) = 1440 kg x 4% = 57,60 kg

Água de molhagem para 1kg = 0,0308 ℓ (Tabela da página 203 de Bauer), logo para 57,60 Kg, o valor corresponde a 1,77 ℓ.

Total da água de molhagem da brita 19mm = 0,41 ℓ + 26,26 ℓ + 1,77 ℓ = a_b = 28,44 ℓ

Assim sendo, os vazios da brita (V_{m_b}) serão de:

$$1000 \text{ dm}^3 - [(\mu_b \times 1000 \text{ dm}^3)/\gamma_b] + a_b = V_{m_b}$$

$$\text{Volume de vazios (Vm)} = 1000 \text{ ℓ} - (V_{S_b} + a_b) = 1000 \text{ ℓ} - \{[(1,44\text{kg}/\text{dm}^3) \times 1000 \text{ dm}^3] / (2,75\text{kg}/\text{dm}^3) + 28,44\text{dm}^3\}$$

$$V_{S_b} = 523,64 \text{ dm}^3$$

$$\text{Volume de vazios (Vm}_b) = 1000 \text{ ℓ} - (V_{S_b} + a_b) = 1000 \text{ ℓ} - (523,64 \text{ dm}^3 + 28,44\text{dm}^3) = 447,92 \text{ dm}^3$$

Vazios estes que devem ser preenchidos com argamassa

7º passo: Cálculo do volume absoluto de argamassa produzido por 1 kg de cimento

$$\text{Volume absoluto de argamassa obtido por 1 kg de cimento} = (1/\gamma_c) + (\text{areia}/\gamma_a) + (a/c) \times \gamma_{ag}$$

$$= \text{Volume absoluto unitário de argamassa} = V_{\text{absarg}}$$

$$V_{\text{absarg}} = [1,00\text{kg}/(3,15\text{kg}/\text{dm}^3)] + [4,05\text{kg}/(2,62\text{kg}/\text{dm}^3)] + [0,89/(1,00\text{kg}/\text{dm}^3)] = 0,32 \text{ dm}^3 + 1,54 \text{ dm}^3 + 0,89 \text{ dm}^3 = 2,75 \text{ dm}^3$$

$$\text{Logo, massa de cimento}_2 = (V_{m_b} \times 1\text{kg}) / V_{\text{absarg}}$$

8º passo: Cálculo das quantidades, em kg, dos materiais da argamassa para preencherem os vazios da brita (V_{m_b} = 447,92 dm³)

$$V_{m_b} / V_{\text{absarg}} = \text{Massa de cimento}$$

$$\text{Regra de três: } 1\text{kg de cimento} \rightarrow V_{\text{absarg}} (2,75 \text{ dm}^3)$$

Massa de cimento $\rightarrow Vm_b(447,92 \text{ dm}^3)$

1kg de cimento $\rightarrow 2,75 \text{ dm}^3$

Massa de cimento $\rightarrow 447,92 \text{ dm}^3 \text{ -----} \rightarrow MC_2 = 162,88 \text{ kg}$

Massa de areia = $(Vm_b / V_{absarg}) \times (\mu_a \times 1000 \text{ dm}^3 / MC_1)$

Massa de areia = $(447,92 \text{ dm}^3 / 2,75 \text{ dm}^3) \times [(1000 \text{ dm}^3 \times 1,5 \text{ kg/dm}^3) / 370,43 \text{ kg}]$

Massa de areia = $162,88 \text{ kg} \times 4,05 = 659,66 \text{ kg}$

Determinação da massa de água

Massa de água = $0,89 \times 162,88 \text{ kg} + 28,44 \text{ kg} = 173,41 \text{ kg}$

9º passo: Determinação do Traço unitário, em massa, do concreto

1000 dm^3 de brita corresponde a $1440,0 \text{ kg}$ de brita. Ou seja, como $V_{S_b} = 523,64 \text{ dm}^3$ e o valor de $\gamma_b = 2,75 \text{ kg/dm}^3$, logo a massa de brita corresponde a $1440,0 \text{ kg}$

Cimento = 1,00; areia = 4,05; brita = $(1440,0 \text{ kg} / 162,88 \text{ kg}) = 8,84$; água = 1,06

Quando preparado em laboratório, corrigiu-se o traço em relação à quantidade de água, conforme composição seguinte:

Cimento = 1,00; areia = 4,05; brita = $(1440,0 \text{ kg} / 162,88 \text{ kg}) = 8,84$; água = 1,32

Consultar Coutinho (2012, p.41-44) e a dissertação de Boggio (2000).

INFORMAÇÕES IMPORTANTES

CONSIDERANDO O TRAÇO: C1 (CIMENTO): S1 (AREIA): G1 (BRITA): A1 (ÁGUA)

Para uma dosagem onde o consumo deve ser $C_2 > C_1$, substitui-se uma parte da areia S1 por cimento, em volume.

Cálculo do volume absoluto a ser retirado de areia molhada:

$$(v + a) \cdot S' = 0,56 (C2 - C1), \text{ então } S' = 0,56 (C2 - C1)/(v + a)$$

Onde v é o volume absoluto da areia seca, “ a ” significa água de molhagem da areia e S' é o volume a ser retirado de areia molhada.

Cálculo do volume absoluto a ser retirado de areia molhada:

Para massa unitária de $1,5 \text{ kg/dm}^3$; tem-se que em 1 dm^3 de areia há uma massa $1,5 \text{ kg}$. Logo o volume absoluto em 1 dm^3 de areia seca é v .

$$\gamma_{\text{areia}} = 2,62 \text{ Kg/dm}^3$$

$$2,62 \text{ kg} \rightarrow 1,00 \text{ dm}^3$$

$$1,5 \text{ kg} \rightarrow v$$

$$v = (1,00 \text{ dm}^3 \times 1,5 \text{ kg}) / (2,62 \text{ kg/dm}^3) = 0,5725 \text{ dm}^3 \text{ (volume absoluto)}$$

1 m^3 de areia corresponde a 1500 kg . Logo em 1 dm^3 tem-se $1,5 \text{ kg}$ de areia.

O parâmetro a corresponde ao volume de água de molhagem necessário para molhar $1,5 \text{ kg}$ de areia.

$$1.500,00 \text{ kg} \rightarrow 238,9 \text{ l}$$

$$1,5 \text{ kg} \rightarrow a$$

Então a corresponde a $0,239 \text{ l}$.

Cálculo da água de molhagem (a_a) existente no volume de areia a ser retirado (S')

O volume absoluto de areia molhada a ser retirado: S'

$$S' = 0,56 (C2 - C1)/(v + a) = 0,56(C2 - 1,00)/(0,5725 \text{ dm}^3 + 0,239 \text{ dm}^3) =$$

$$S' = 0,56(C2 - 1,00)/(0,811 \text{ dm}^3)$$

Cálculo da massa de areia, $M_a (S')$, retirada

Sabendo-se que $\gamma_{\text{areia}} = 2,62 \text{ Kg/dm}^3$,

$\gamma_{\text{areia}} = 2,62 \text{ Kg/dm}^3 = \text{Massa de sólidos/volume de sólidos}$

$2,62 \text{ kg} \rightarrow 1 \text{ dm}^3$

$M_a(S') \rightarrow 0,56(C2 - 1,00)/(0,811 \text{ dm}^3)$

$M_a(S') = [0,56(C2 - 1,00)/0,811 \text{ dm}^3] \times 2,62 \text{ Kg/dm}^3$

Cálculo da quantidade de água necessária, a_a , para molhar o volume de areia a ser retirado, S' ,

$1.500,00 \text{ kg} \rightarrow 238,9 \text{ l}$

$M_a(S) \rightarrow a_a$

$1.500,00 \text{ kg} \rightarrow 238,9 \text{ l}$

$[0,56(C2 - 1,00)/0,811 \text{ dm}^3] \times 2,62 \text{ Kg/dm}^3 \rightarrow a_a$

Logo, $a_a = [0,56(C2 - 1,00) \times 238,9 \text{ kg} \times 2,62 \text{ kg/dm}^3]/(0,811 \text{ dm}^3 \times 1500 \text{ kg})$

$a_a = 0,288(C2 - 1,00)$

Equação básica (considerando os traços, anterior e novo, unitários):

Água do novo traço = Água do traço anterior – água contida no volume de areia retirado + água de hidratação da parcela de cimento acrescida

Água do novo traço = $1,32 - [\text{água contida no volume de areia retirado}] + 0,25(C2 - 1,00)$.

Água do novo traço = $1,32 - [0,288 \times (C2 - 1,00)] + 0,25(C2 - 1,00)$

Como o a/c do novo traço = 0,65, implica que a água do novo traço = $0,65 \times C2$

$0,65 \times C2 = 1,32 - [0,288 \times (C2 - 1,00)] + 0,25(C2 - 1,00)$

$0,65 \times C2 = 1,32 - 0,288C2 + 0,288 + 0,25C2 - 0,25$

$0,688C2 = 1,358 \rightarrow C2 = 1,974 \text{ kg}$

Cálculo da quantidade, em massa, de areia final

$$4,05 - [0,56(C2 - 1,00) \times 2,62 \text{ kg/dm}^3] / 0,8114 = 4,05 - [0,56(1,974 - 1,00) \times 2,62 \text{ kg/dm}^3] / 0,811 = (4,05 - 1,761) \text{ kg} = 2,289 \text{ kg}$$

Traço

Cimento = 1,974 kg

Areia = 2,289 kg

Brita = 8,84 kg

Água = $0,65 \times C2 = 0,65 \times 1,974 = 1,2831 \text{ kg}$

Traço unitário: Cimento = 1,00, areia = 1,16, brita = 4,48, água = 0,65

Nota: Procedeu-se novo ajuste e o traço unitário adotado, T12, foi:

Cimento = 1,00; areia = 1,911; brita = 4,19; água = 0,65

$$C = \frac{1000 \times (1 - 2\%)}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 \times (1 - 2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1,911}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{4,19}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,65}{1,00 \text{ kg/dm}^3}} = 304$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T12 = 304 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 32,0 dm³

Quantidades de materiais introduzidos na betoneira

Cimento = 9728 g; areia= 18590 g; brita = 40760 g; água = 6323 g

4.4.2 Cálculo do Traço T11, a/c=0,55, a partir do T12

Água do traço T11 = Água do traço T12 – água contida no volume de areia retirado + água de hidratação da parcela de cimento acrescida

Água do novo traço = 0,65 – [água contida no volume de areia retirado] + 0,25 (C3 – 1,00).

Como o a/c do novo traço = 0,55, implica que a água do novo traço = 0,55 x C3

$$0,550 \times C3 = 0,650 - [0,288 \times (C3 - 1,00)] + 0,25 (C3 - 1,00)$$

$$0,550 \times C3 = 0,650 - 0,288C3 + 0,288 + 0,25C3 - 0,25$$

$$0,588C3 = 0,688 \rightarrow C3 = 1,17 \text{ kg}$$

Cálculo da massa de areia (Ma) retirada

$$Ma (S') = [0,56(C3 - 1,00) / 0,811 \text{ dm}^3] \times 2,62 \text{ Kg/dm}^3$$

Cálculo da quantidade, em massa, de areia final

$$1,911 - [0,56(C3 - 1,00) \times 2,62 \text{ kg/dm}^3] / 0,811 =$$

$$1,911 - [0,56(1,17 - 1,00) \times 2,62 \text{ kg/dm}^3] / 0,811 =$$

$$1,911 - 0,307 = 1,604$$

Traço T11

Cimento= 1,17 kg

Areia = 1,911 - 0,307 = 1,604 kg

Brita = 4,19 kg

Água= 0,55x 1,17kg = 0,55 x 1,17 = 0,6435kg

Traço T11, unitário: Cimento = 1,00; areia= 1,37; brita =3,58; água = 0,55

$$C = \frac{1000x(1 - 2\%)}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 \times (1 - 2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1,37}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{3,58}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,55}{1,00 \text{ kg/dm}^3}} = 364$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T11 = 364 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 32,0 dm³ (Produziu-se uma menor quantidade em virtude de questões ambientais)

Quantidades de materiais introduzidos na betoneira

Cimento = 11650 g; areia= 15960,5 g; brita = 41707 g; água = 6407,5 g

4.4.3 Cálculo do Traço T10, a/c=0,45, a partir do T11

Água do traço T10 = Água do traço T11 – água contida no volume de areia retirado + água de hidratação da parcela de cimento acrescida

Água do traço T10 = 0,55 – [água contida no volume de areia retirado] + 0,25 (C4 – 1,00).

Como o a/c do T10 = 0,45, implica que a água do novo traço = 0,45 x C4

$$0,450 \times C4 = 0,550 - [0,288 \times (C4 - 1,00)] + 0,25 (C4 - 1,00)$$

$$0,450 \times C4 = 0,550 - 0,288C4 + 0,288 + 0,25C4 - 0,25$$

$$0,488C4 = 0,588 \rightarrow C4 = 1,205 \text{ kg}$$

Cálculo da massa de areia (Ma) retirada

$$Ma (S') = [0,56(C4 - 1,00) / 0,811 \text{ dm}^3] \times 2,62 \text{ Kg/dm}^3 = 0,371 \text{ kg}$$

Cálculo da quantidade, em massa, de areia final

$$1,370 - [0,56(C4 - 1,00) \times 2,62 \text{ kg/dm}^3] / 0,811 = 1,37 - 0,37 = 1,00$$

Traço T10

Cimento = 1,205 kg

Areia = 1,00 kg

Brita = 3,58 kg

Água = 0,45 x 1,205 kg = 0,5423 kg

Traço T10 unitário: Cimento = 1,00; areia = 0,83 brita = 2,97; água = 0,45

$$C = \frac{1000x(1 - 2\%)}{\frac{1,00}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b_{19}}{\gamma_{b_{19}}} + \frac{a/c}{\gamma_{ag}}}$$

Dados: $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b_{19}} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$;
teor de ar aprisionado = 2%

$$C \text{ (kg)} = \frac{1000 \times (1-2\%)}{\frac{1,00}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,83}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{2,97}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{0,45}{1,00 \text{ kg/dm}^3}} = 453$$

Consumo de cimento necessário para fabricar 1 m³ de concreto, segundo o traço T10 = 453 kg

Cálculo das quantidades dos materiais introduzidos na betoneira, para moldagem dos corpos de prova, determinação da massa específica, considerando:

Volume de 8 corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) = 12,57 dm³

Volume da forma tronco-cônica = 5,3 dm³

Volume do cilindro para determinação da massa específica = 7,88 dm³

Volume de concreto produzido: 32,0 dm³ (Produziu-se uma menor quantidade em virtude de questões ambientais)

Quantidades de materiais introduzidos na betoneira

Cimento = 14496g; areia= 12031,7g; brita = 43053,1g; água = 6523,2g

Nota importante: Tendo em vista as especificidades do método de Vallette e levando-se em conta que os concretos produzidos, após os ajustes experimentais, não apresentaram coesão e teores de argamassa adequados à moldagem dos corpos de prova, não foi possível efetuar sua comparação aos demais. Cabe salientar que não foram efetuadas modificações nas composições obtidas, em função destas descaracterizarem os princípios do método. Assim, considerou-se que o mencionado método não propiciou resultados satisfatórios com os materiais utilizados no estudo em questão.

5 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS E MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA

Os traços de concreto foram elaborados a partir dos métodos de dosagem propostos pela EPUSP/IPT, ACI e Faury, cujas composições e os dados dos concretos no estado fresco estão representados na Tabela 10 - . Observa-se que o método de dosagem do ACI propicia misturas mais econômicas, decorrentes do emprego de menor quantidade de água de amassamento, para a mesma classe de consistência.

Tabela 10 - Dados e composições dos concretos no estado fresco

Método de dosagem	Traço	Proporções (em massa)	Relação água/cimento (em massa)	Relação água/materiais secos	Teor de argamassa seca	Consumo de cimento	Massa específica	Índice de consistência
		cimento : areia : brita	a/c	A (%)	(K)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(mm)
EPUSP/ IPT	T-1	1,000 : 1,180 : 2,100	0,450	10,51	0,51	495	2435,0	150
	T-2	1,000: 1,670 : 2,560	0,550			402	2416,0	160
	T-3	1,000 : 2,150 : 3,030	0,650			339	2400,0	110
ACI	T-4	1,000 : 1,220 : 2,530	0,450	9,47	0,46	456	2407,0	110
	T-5	1,000 : 1,680 : 3,090	0,550	9,53		373	2393,0	115
	T-6	1,000 : 2,140 : 3,660	0,650	9,56		315	2359,0	90
Faury	T-7	1,000 : 1,195 : 2,425	0,450	9,76	0,48	475	2426,0	135
	T-8	1,000 : 1,665 : 2,925	0,550	9,86		381	2402,0	135
	T-9	1,000 : 2,162 : 3,411	0,650	9,89		323	2382,0	95
Vallette	T-10	1,000 : 0,830 : 2,970	0,450	9,38	0,38	-	-	-
	T-11	1,000 : 1,370 : 3,580	0,550	9,24	0,40	-	-	-
	T-12	1,000: 1,911 : 4,190	0,650	9,15	0,41	-	-	-

Fonte: Próprios autores

Os concretos foram fabricados com uma única classe de consistência S100 ($100 \text{ mm} \leq A < 160 \text{ mm}$) e relações água/cimento igual a 0,45; 0,55 e 0,65, compreendendo um total de nove composições. Para cada método, foram realizadas três amassadas, tendo-se obtido em cada uma delas oito corpos de prova, resultando num total de 72 corpos de prova com dimensões 100 mm x 200 mm.

Destes 72, 54 foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão (18 aos 3 dias, 18 aos 7 dias e 18 aos 28 dias), enquanto os 18 restantes foram submetidos aos ensaios de absorção e índice de vazios, na idade de 28 dias. Cabe salientar que os procedimentos de moldagem e cura obedeceram aos critérios da NBR 5738 (2016).

5.1 ENSAIOS DE ÍNDICES DE VAZIOS, ABSORÇÃO E MASSA ESPECÍFICA

A partir de misturas de concretos produzidos com a mesma consistência e com diversas relações água/cimento, esta pesquisa contemplou também os ensaios de absorção de água, por imersão, e índices de vazios. Os resultados desses ensaios realizados com 28 dias de idade encontram-se na Tabela 11 - .

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de absorção por imersão e índice de vazios

Método de dosagem	Traço	Relação água/cimento (em massa)	Absorção por imersão	Índice de Vazios
		a/c	Valor médio (%)	Valor médio (%)
EPUSP/IPT	T-1	0,450	6,3	14,2
	T-2	0,550	7,0	15,6
	T-3	0,650	7,4	16,4
ACI	T-4	0,450	4,3	10,1
	T-5	0,550	5,1	11,8
	T-6	0,650	6,3	14,2
Fauy	T-7	0,450	8,5	19,1
	T-8	0,550	9,4	20,7
	T-9	0,650	10,8	23,3

Fonte: Próprios autores

Conforme dados constantes na Tabela 11 - , constata-se que, para uma mesma classe de consistência, à medida que se diminui a relação água/cimento, os concretos apresentaram menor absorção (por imersão) e menor índice de vazios. Os melhores resultados foram obtidos a partir das misturas dosadas segundo o método do ACI, provavelmente em função de terem sido preparadas com menores valores da relação água/materiais secos (A%). Além disso, os concretos dosados segundo esse método apresentaram menores teores de argamassa seca (K) e de consumo de cimento, o que os torna, por consequência, menos vulneráveis à retração e fissuração, principalmente quando endurecidos.

De acordo com Neville (2016), a maioria dos bons concretos tem absorção bem menor do que 10%, enquanto outros pesquisadores limitam este valor a 5%.

Para Miyake (2018), no campo da construção civil, o índice de vazios do concreto é da ordem de duas vezes o da absorção de água. Os resultados obtidos nos ensaios realizados nesta pesquisa enquadram-se nesse intervalo.

5.2 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão em diferentes idades encontram-se na Tabela 12 - .

Tabela 12 - Resultados dos ensaios de compressão

Método de dosagem	Traço	Relação água/cimento a/c	Resistência à compressão individual, em MPa								
			3 dias ou 5 dias			7 dias			28 dias		
			CP ₁	CP ₂	Exemplar	CP ₁	CP ₂	Exemplar	CP ₁	CP ₂	Exemplar
EPUSP/ IPT	T-1	0,450	27,6	28,4	28,4	34,8	37,5	37,5	^a	46,1	46,1
	T-2	0,550	18,3	19,4	19,4	28,5	28,1	28,5	36,0	41,6	41,6
	T-3	0,650	12,3	13,0	13,0	20,2	20,7	20,7	25,6	26,5	26,5
ACI	T-4	0,450	25,1	25,0	25,1	29,6	33,2	33,2	46,2	45,9	46,2
	T-5	0,550	15,5	16,9	16,9	26,1	24,5	26,1	32,0	29,9	32,0
	T-6	0,650	13,3	13,5	13,5	19,7	16,2	19,7	27,0	25,4	27,0
Faury	T-7	0,450	^b 28,2	^b 28,6	^b 28,6	32,1	33,4	33,4	39,5	41,8	41,8
	T-8	0,550	^b 24,2	^b 23,0	^b 24,2	24,4	26,2	26,2	30,9	33,5	33,5
	T-9	0,650	^b 14,5	^b 14,5	^b 14,5	16,3	17,5	17,5	24,3	24,1	24,3

NOTA: ^a Corpo de prova danificado. ^b Corpos de prova ensaiados aos 5 dias de idade.

Fonte: Próprios autores

Uma análise dos resultados discriminados na Tabela 12 - permite assinalar o seguinte:

- Os concretos dosados segundo o método EPUSP/IPT apresentaram, aos 7 dias de idade, valores de resistência à compressão dos exemplares superiores aos demais, independentemente das relações água/cimento adotadas nas suas composições. O acréscimo variou de 5,1% a 18,3%.

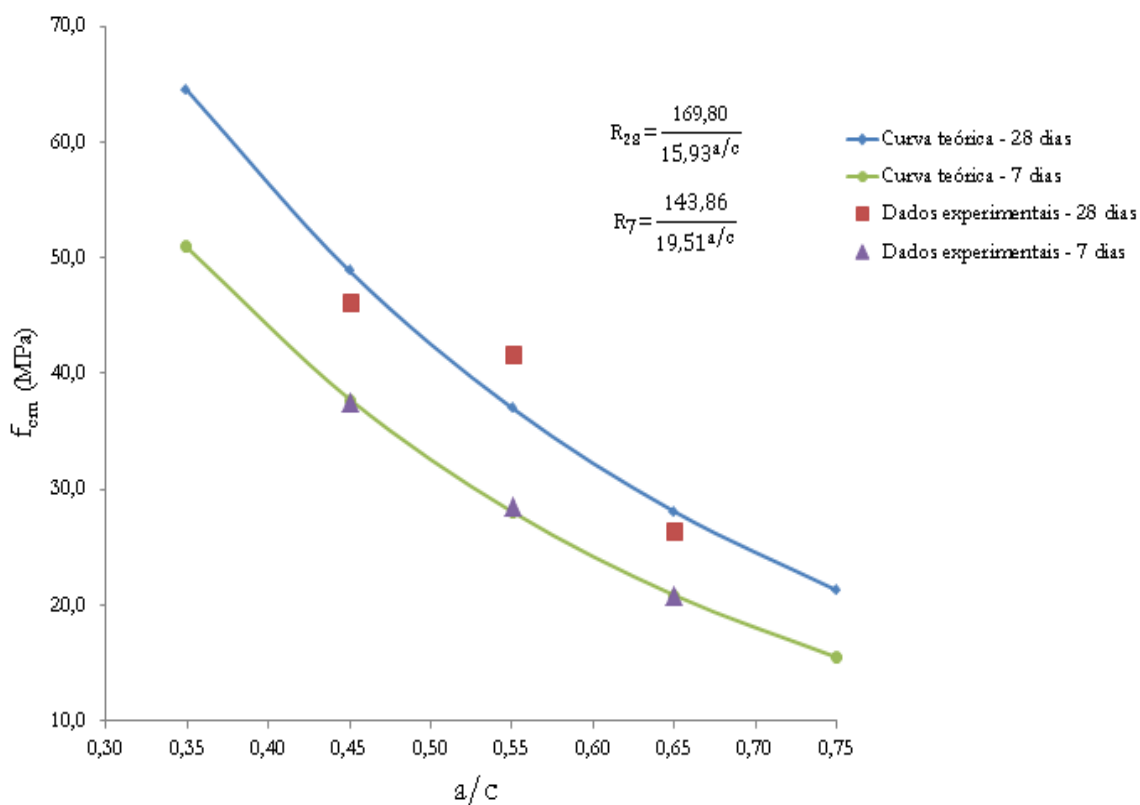
- No que concerne à idade de 3 dias, o aumento de resistência em relação ao método do ACI foi de 13,2% e 14,8%, correspondente às relações água/cimento de 0,450 e 0,550, respectivamente. Já aos 28 dias de idade, o método EPUSP/IPT superou os resultados obtidos nos exemplares originados do método de Faury em 10,3%, 24,1% e 9,0%,

relativos às relações água/cimento de 0,450 e 0,550 e 0,650, respectivamente. Cabe destacar que os resultados dos ensaios realizados nesta última idade nos exemplares, provenientes dos métodos EPUSP/IPT e ACI, apenas apresentaram diferença significativa quando as misturas foram feitas com relação água/cimento igual a 0,550, cuja variação foi de 30% em favor do primeiro método.

5.3 ELABORAÇÃO DAS CURVAS DE ABRAMS (RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO *VERSUS* RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO)

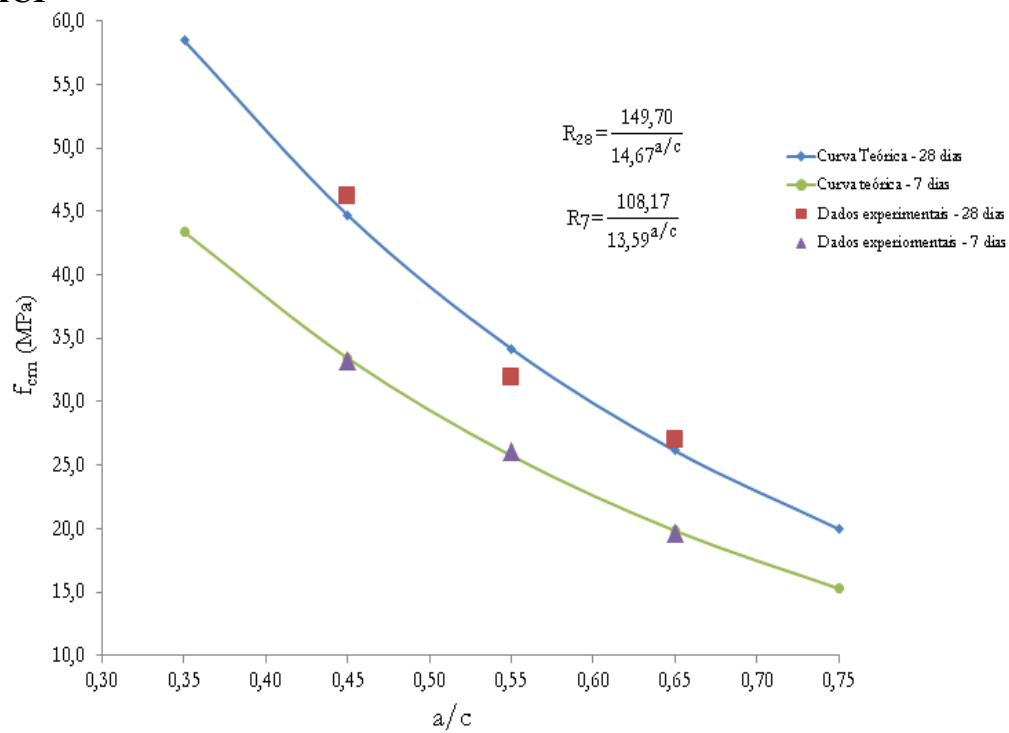
Encontram-se esboçadas nas Figuras 7 a 9 as curvas de ABRAMS, as quais foram elaboradas a partir dos resultados obtidos nas idades de 07 e 28 dias de idade.

Figura 7 - Curvas de ABRAMS dos concretos produzidos segundo o método da EPUSP / IPT



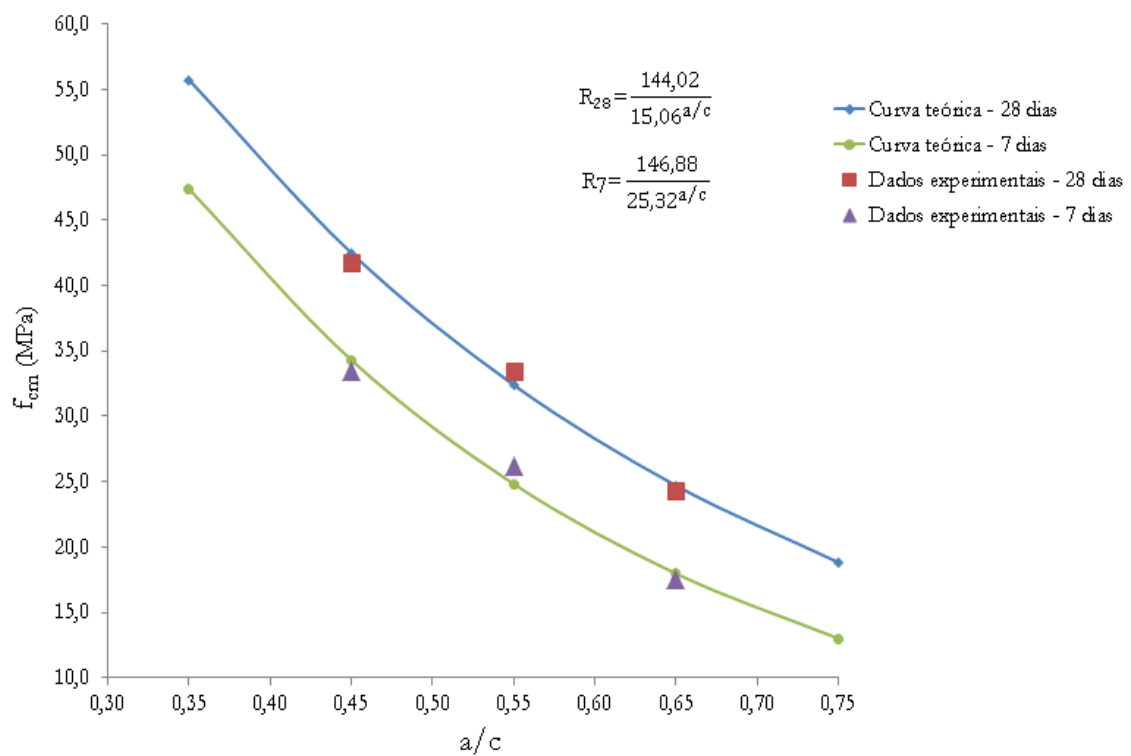
Fonte: Próprios autores

Figura 8 - Curvas de ABRAMS dos concretos produzidos segundo o método do ACI



Fonte: Próprios autores

Figura 9 - Curvas de ABRAMS dos concretos produzidos segundo o método de Faury



Fonte: Próprios autores

6 DEFINIÇÃO DE TRAÇOS A PARTIR DOS MÉTODOS PROPOSTOS PELA EPUSP/IPT, ACI E FAURY E DAS RESPECTIVAS CURVAS DE ABRAMS

A seguir, a partir das curvas de Abrams obtidas com os métodos de dosagem utilizados, serão definidos traços que atendam aos seguintes requisitos:

Condição de preparo: A

Classes de resistência: C25, C30 e C40

Classe de consistência: S100

Dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm

Classe de agressividade ambiental: II. Agressividade: Moderada. Ambiente: Urbana

6.1 CÁLCULO DOS VALORES DE RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO E DE RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

Considerando as prescrições da NBR 12655 (ABNT, 2015), são apresentados na Tabela 13 - os valores de resistência média do concreto à compressão, levando-se em conta cada classe de concreto requerida e adoção do desvio padrão de dosagem, S_d , igual a 4,0 MPa.

Tabela 13 - Parâmetros de dosagem de concreto

Classe de resistência a	Desvio padrão de dosagem, S_d (MPa)	Resistência média do concreto à compressão, f_{cm28} (MPa)
C25	4,0	31,6
C30		36,6
C40		46,6

Fonte: Próprios autores

Levando-se em conta as curvas de ABRAMS esboçadas nas Figuras 7, 8 e 9 e os dados constantes na Tabela 13 - , pôde-se obter, para cada método de dosagem, os valores de

relação água/cimento necessários ao atendimento do requisito de resistência mecânica e de durabilidade, os quais são mencionados na Tabela 14 - seguinte.

Tabela 14 - Correspondência entre a resistência média à compressão do concreto e a relação água/cimento, considerando a classe de agressividade

Método de dosagem	Classe de resistência	Resistência média do concreto à compressão, f_{cm28} (MPa)	Relação água/cimento (a/c), para atender ao requisito de resistência	Máxima relação água/cimento, em massa, para classe de agressividade II (moderada)	Relação água/cimento (a/c), para atender aos requisitos de resistência mecânica e durabilidade
EPUSP/ IPT	C25	31,6	0,600	0,600	0,600
	C30	36,6	0,570		0,570
	C40	46,6	0,440		0,440
ACI	C25	31,6	0,540	0,600	0,540
	C30	36,6	0,510		0,510
	C40	46,6	0,440		0,440
Fauyry	C25	31,6	0,560	0,600	0,560
	C30	36,6	0,490		0,490
	C40	46,6	0,410		0,410

Fonte: Próprios autores

6.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS A PARTIR DO MÉTODO DE FAURY

6.2.1 Traço(C25)

Na definição da relação água/cimento, a/c, para atender à classe de resistência C25, calcula-se a resistência média do concreto à compressão em MPa usando a equação seguinte, definida na NBR 12655 (ABNT, 2015).

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 S_d$$

Onde:

f_{cmj} : é a resistência média do concreto à compressão na idade de “j” dias , em MPa;

f_{cm28} : é a resistência média do concreto à compressão na idade de 28 dias , em MPa;

f_{ckj} : resistência característica do concreto à compressão na idade “j” dias, em MPa, definida quando da elaboração do projeto estrutural;

f_{ck28} : resistência característica do concreto à compressão na idade de 28 dias, em MPa, definida quando da elaboração do projeto estrutural;

S_d : desvio padrão de dosagem, em MPa. Adotou-se valor igual a 4,0 MPa.

Logo se obtém:

$$f_{c28} = 25 \text{ MPa} + 1,65 \times 4,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c28} = 31,6 \text{ MPa}$$

Analisando o resultado da resistência média do concreto à compressão, aos 28 dias, na curva de Abrams, encontra-se para $f_{c28} = 31,6$ MPa, o valor de $a/c = 0,56$. Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), para classe de agressividade ambiental II a relação água/cimento em massa deve ser menor ou igual a 0,60, de acordo com a Tabela 15 - seguinte.

Tabela 15 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
Consumo de cimento Portland	CA e CP	$\geq C260$	$\geq C280$	$\geq C320$	-

CA – Componentes e elementos estruturais de concreto armado.

CP – Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015), adaptada pelo autor

Dessa forma será adotado o valor de a/c igual a 0,56.

Sendo assim, a massa de cimento para 1 m³ de concreto corresponde a aproximadamente,

$$\frac{a}{c} = 0,56C = \frac{210 \text{ kg}}{0,56} C = 375 \text{ kg}$$

Cálculo do volume absoluto de cimento, sendo a massa específica do cimento utilizado igual a 3,15 kg/ dm³, obteve-se:

$$V (dm^3) = \frac{m (kg)}{\gamma \left(\frac{kg}{dm^3}\right)}$$

$$\frac{375 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} = 119,05 \text{ dm}^3$$

Somatório dos volumes (cimento + água + ar):

$$119,05 \text{ dm}^3 + 210 \text{ dm}^3 + 20 \text{ dm}^3 = 349,05 \text{ dm}^3$$

Cálculo do volume absoluto dos agregados em 1 m³ de concreto:

$$1000 \text{ dm}^3 - 349,05 \text{ dm}^3 = 650,95 \text{ dm}^3$$

Cálculo da percentagem do volume de cimento na totalidade dos sólidos:

$$\frac{119,05 \text{ dm}^3}{119,05 \text{ dm}^3 + 650,95 \text{ dm}^3} \times 100 = 15,46\%$$

Cálculo da percentagem do volume de agregados na totalidade dos sólidos:

$$100\% = \% \text{ cimento} + \% \text{ agregado}$$

$$100\% - 15,46\% = 84,54 \%$$

Sendo assim, o volume de agregados na totalidade dos sólidos corresponde a 84,54%,

$$a + b = 0,8454$$

Considerando:

a: areia

b: brita

Conforme constam nas Tabelas 3 e 4, os módulos de finura dos agregados correspondem a 1,55 (areia) e 6,98 (brita19).

O valor do módulo de finura utilizado para a mistura é 4,17, correspondente ao da curva de Faury, mencionado no Quadro 5.10 de Coutinho (2012, p.57-58). Assim, obtém-se o seguinte sistema de equações

$$a + b = 0,8454$$

$$ax 1,55 + bx 6,98 = 4,17$$

Com base nas equações acima, foram obtidos os valores de 31,87% e 52,67%, correspondentes a a e b, respectivamente.

Cálculo da percentagem de areia, em volume, em relação aos agregados:

$$Areia(\%) = \frac{31,87\%}{31,87\% + 52,67\%} \times 100$$

$$Areia(\%) = 37,7$$

Cálculo da percentagem de brita 19, em volume, em relação aos agregados :

$$Brita 19 (\%) = \frac{52,67\%}{52,67\% + 31,87\%} \times 100 \quad Brita 19 (\%) = 62,3$$

Cálculo da massa de brita 19, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto:

$$\text{Massa de brita 19} = \gamma_b \times \text{Volumedelosólidosdebrita}$$

$$\text{Massa de brita 19} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 62,3\% \times \text{volumedeagregados}$$

$$\text{Massa de brita 19 (kg)} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 62,3\% \times 650,95 \text{ dm}^3 = 1.115,24$$

Cálculo da massa de areia, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto:

$$\text{Massa de areia} = \gamma_a \times \text{Volumedeareia}$$

$$\text{Massa de areia} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 37,7\% \times \text{volumedeagregados}$$

$$\text{Massa de areia (kg)} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 37,7\% \times 650,95 \text{ dm}^3 = 642,97$$

Sendo assim, as quantidades de materiais necessárias à fabricação de 1 m³ de concreto são:

$$\text{Cimento} = 375 \text{ kg} \rightarrow 1,00$$

$$\text{Areia} = 642,97 \text{ kg} \rightarrow 1,71$$

Brita 19= 1115,24 kg -> 2,97

Água = 210 kg -> 0,56

6.2.2 Traço(C30)

Na definição da relação água/cimento, a/c, para classe de resistência C30, calcula-se a resistência média do concreto à compressão em MPa usando a Equação seguinte, definida na NBR 12655 (ABNT, 2015).

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 S_d$$

Onde:

f_{cmj} : é a resistência média do concreto à compressão na idade de “j” dias , em MPa;

f_{cm28} : é a resistência média do concreto à compressão na idade de 28 dias , em MPa;

f_{ckj} : resistência característica do concreto à compressão na idade “j” dias, em MPa, definida quando da elaboração do projeto estrutural;

f_{ck28} : resistência característica do concreto à compressão na idade de 28 dias, em MPa, definida quando da elaboração do projeto estrutural;

S_d : desvio padrão de dosagem, em MPa. Adotou-se valor igual a 4,0 MPa.

A partir da referida Equação, obtém-se:

$$f_{c28} = 30MPa + 1,65 \times 4,0 MPa$$

$$f_{c28} = 36,6 MPa$$

Analisando o resultado da resistência média do concreto à compressão aos 28 dias na curva de Abrams, encontra-se para $f_{c28}=36,0$ MPa, o valor de a/c = 0,49. Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), para classe de agressividade ambiental II a relação água/cimento menor ou igual a 0,60, de acordo com a Tabela 14.

Dessa forma será adotado:

$$a/c = 0,49$$

Sendo assim, a massa de cimento para 1 m³ de concreto corresponde a aproximadamente,

$$\frac{a}{c} = 0,49$$

$$C = \frac{210 \text{ kg}}{0,49}$$

$$C = 428,57 \text{ kg}$$

Cálculo do volume absoluto de cimento.

Sendo a massa específica do cimento utilizado igual a 3,15 kg/ dm³, obtém-se:

$$V (dm^3) = \frac{m (kg)}{\gamma \left(\frac{kg}{dm^3}\right)}$$

$$\frac{428,57 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} = 136,05 \text{ dm}^3$$

Somatório dos volumes (cimento + água + ar), expresso por:

$$136,05 \text{ dm}^3 + 210 \text{ dm}^3 + 20 \text{ dm}^3 = 366,05 \text{ dm}^3$$

Cálculo do volume absoluto dos agregados em 1 m³ de concreto:

$$1000 \text{ dm}^3 - 366,05 \text{ dm}^3 = 633,95 \text{ dm}^3$$

Cálculo da percentagem do volume de cimento na totalidade dos sólidos:

$$\frac{136,05 \text{ dm}^3}{136,05 \text{ dm}^3 + 633,95 \text{ dm}^3} \times 100 = 17,67\%$$

Cálculo da percentagem do volume de agregados na totalidade dos sólidos:

$$100\% = \% \text{ cimento} + \% \text{ agregado}$$

$$100\% - 17,67\% = 82,33\%$$

Sendo a percentagem do volume de agregados na totalidade dos sólidos 82,33 %, tem-se:

$$a + b = 0,8233$$

Considerando: a: areia e b: brita

Conforme constam nas Tabelas 3 e 4, os módulos de finura dos agregados correspondem, respectivamente, a 1,55 (areia) e 6,98 (brita19).

O valor do módulo de finura utilizado para a mistura é o da curva de Faury, igual a 4,17, correspondente ao calculado nos traços anteriores e mencionado no Quadro 5.10 de Coutinho (2012, p.57-58) . Assim obtém-se o seguinte sistema de equações:

$$a + b = 0,8233$$

$$ax 1,55 + bx 6,98 = 4,17$$

Com base nas equações acima, foram obtidos os valores de 29,11% e 53,22%, correspondentes a a e b, respectivamente.

Cálculo da percentagem de areia, em volume, em relação aos agregados

$$\text{Areia}(\%) = \frac{29,11\%}{29,11\% + 53,22\%} \times 100$$

$$\text{Areia}(\%) = 35,36$$

Cálculo da percentagem de brita 19, em volume, em relação aos agregados:

$$\text{Brita 19}(\%) = \frac{53,22\%}{53,22\% + 29,11\%} \times 100$$

$$\text{Brita 19}(\%) = 64,64$$

Cálculo da massa de brita 19, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto:

Massa de brita 19 = $\gamma_b \times \text{Volumede sólidos de brita}$

Massa de brita 19 = $2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 64,64 \% \times \text{volumede agregados}$

Massa de brita 19 (kg) = $2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 64,64 \% \times 633,95 \text{ dm}^3 = 1.126,92$

Cálculo da massa de areia, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto:

Massa de areia = $\gamma_a \times \text{Volumede areia}$

Massa de areia = $2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 35,36 \% \times \text{volumede agregados}$

Massa de areia (kg) = $2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 35,36 \% \times 633,95 \text{ dm}^3 = 587,31$

Sendo assim, as quantidades de materiais necessárias à fabricação de 1 m³ de concreto são:

Cimento = 428,57 kg -> 1,00

Areia = 587,31 kg -> 1,37

Brita 19 = 1126,92 kg -> 2,63

Água = 210 kg -> 0,49

6.2.3 Traço(C40)

Na definição da relação a/c para classe de resistência C40, calcula-se a resistência média do concreto à compressão, em MPa, usando a Equação definida na NBR 12655 (ABNT, 2015).

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 S_d$$

Onde:

f_{cmj} : é a resistência média do concreto à compressão na idade de “j” dias , em MPa;

f_{cm28} : é a resistência média do concreto à compressão na idade de 28 dias , em MPa;

f_{ckj} : resistência característica do concreto à compressão na idade “j” dias, em MPa, definida quando da elaboração do projeto estrutural;

f_{ck28} : resistência característica do concreto à compressão na idade de 28 dias, em MPa, definida quando da elaboração do projeto estrutural;

S_d : desvio padrão de dosagem, em MPa. Adotou-se valor igual a 4,0 MPa.

A partir da Equação seguinte, obtém-se:

$$f_{c28} = 40 \text{ MPa} + 1,65 \times 4,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c28} = 46,6 \text{ MPa}$$

Analisando o resultado da resistência média do concreto à compressão, aos 28 dias, na curva de Abrams, encontra-se para $f_{c28}=46,6$ MPa, a relação água/cimento, a/c, igual a 0,41. Conforme a NBR 12655 (ABNT, 2015), classe de agressividade ambiental II a relação água/cimento deve ser menor ou igual a 0,60, de acordo com a Tabela 14.

Dessa forma, será adotada:

$$a/c = 0,41$$

Sendo assim, a massa de cimento para 1 m³ de concreto corresponde a aproximadamente:

$$\frac{a}{c} = 0,41$$

$$C = \frac{210 \text{ kg}}{0,41}$$

$$C = 512,20 \text{ kg}$$

Cálculo do volume absoluto de cimento

Sendo a massa específica do cimento utilizado 3,15 kg/dm³, obtém-se:

$$V \text{ (dm}^3\text{)} = \frac{m \text{ (kg)}}{\gamma \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}\right)}$$

$$\frac{512,20 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} = 162,6 \text{ dm}^3$$

Somatório dos volumes (cimento + água + ar):

$$162,6 \text{ dm}^3 + 210 \text{ dm}^3 + 20 \text{ dm}^3 = 392,6 \text{ dm}^3$$

Cálculo do volume absoluto dos agregados em 1 m³ de concreto:

$$1000 \text{ dm}^3 - 392,6 \text{ dm}^3 = 607,4 \text{ dm}^3$$

Cálculo da percentagem do volume de cimento na totalidade dos sólidos:

$$\frac{162,6 \text{ dm}^3}{162,6 \text{ dm}^3 + 607,4 \text{ dm}^3} \times 100 = 21,12\%$$

Cálculo da percentagem do volume de agregados na totalidade dos sólidos:

$$100\% = \% \text{ cimento} + \% \text{ agregado}$$

$$100 - 21,12 = 78,88 \%$$

Sendo a percentagem do volume de agregados na totalidade dos sólidos 78,88 %, tem-se:

$$a + b = 0,7888$$

Considerando: a: areia e b: brita

Conforme constam nas Tabelas 3 e 4, os módulos de finura dos agregados correspondem, respectivamente, a 1,55 (areia) e 6,98 (brita19).

O valor do módulo de finura utilizado para a mistura é 4,17, correspondente ao da curva de Faury, mencionado no Quadro 5.10 de Coutinho (2012, p.57-58), calculado nos traços anteriores. Assim, resulta no seguinte sistema de equações:

$$a + b = 0,7888$$

$$ax \ 1,55 + bx \ 6,98 = 4,17$$

Com base nas equações acima, foram obtidos os valores de 24,55 % e 54,33 %, relativos a “a e b”, respectivamente.

Cálculo da percentagem de areia, em volume, em relação aos agregados:

$$\text{Areia}(\%) = \frac{24,55 \%}{24,55 \% + 54,33\%} \times 100$$

$$\text{Areia}(\%) = 31,12$$

Cálculo da percentagem de brita 19, em volume, em relação aos agregados:

$$\text{Brita 19}(\%) = \frac{54,33 \%}{54,33 \% + 24,55 \%} \times 100$$

$$\text{Brita 19}(\%) = 68,88$$

Cálculo da massa de brita 19, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto:

$$\text{Massa de brita 19} = \gamma_b \times \text{Volumede sólidos de brita}$$

$$\text{Massa de brita 19} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 68,88 \% \times \text{volumede agregados}$$

$$\text{Massa de brita 19 (kg)} = 2,75 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 68,88 \% \times 607,4 \text{ dm}^3 = 1.150,55$$

Cálculo da massa de areia, em kg, para a fabricação de 1 m³ de concreto:

$$\text{Massa de areia} = \gamma_a \times \text{Volumede areia}$$

$$\text{Massa de areia} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 24,55 \% \times \text{volumede agregados}$$

$$\text{Massa de areia (kg)} = 2,62 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \times 24,55 \% \times 607,4 \text{ dm}^3 = 495,23$$

Sendo assim, as quantidades de materiais necessárias à fabricação de 1 m³ de concreto são:

$$\text{Cimento} = 512,2 \text{ kg} \rightarrow 1,00$$

$$\text{Areia} = 495,23 \text{ kg} \rightarrow 0,97$$

Brita = 1150,55 kg -> 2,25

Água = 210 kg -> 0,41

6.3 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS A PARTIR DO MÉTODO EPUSP/IPT

Definição dos três traços de concreto, conforme cada método, atendendo às especificações estabelecidas, tais como: classes de resistência C25, C30 e C40; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

6.3.1 Traço (C25)

Classe de resistência C25; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

Resistência de dosagem

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cm28} = 25 + 1,65 \times 4 = 31,6 \text{ MPa}$$

Relação água/cimento (a/c)

- Valor de a/c para atender a resistência mecânica = 0,60

- Valor de a/c para atender a durabilidade: $\leq 0,60$

Valor adotado = 0,60

6.3.1.1 Cálculo do traço

A% = 10,52; K = 0,51; a/c = 0,60

$$m = \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times 100}{A\%} - 1 = \frac{0,60 \times 100}{10,52} - 1 = 4,70$$

$$K = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+a}{1+4,70} = 0,51 \rightarrow a = 1,91$$

$$m = a + b \rightarrow 4,70 = 1,91 + b \rightarrow b = 2,79$$

Traço unitário, em massa, exibido na Tabela 16.

$$C = 1,000$$

$$a = 1,910$$

$$b = 2,790$$

$$a/c = 0,600$$

Cálculo do Consumo de cimento

Cálculo do consumo de cimento, em kg, necessário à fabricação de $1,0 \text{ m}^3$ de concreto.

OBS.: volume de ar aprisionado no concreto (adotado): 2,0%.

$$C1 = \frac{1000 \text{ dm}^3 \times (1 - 0,02)}{\left(\frac{1}{3,15 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{1,91}{2,62 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{2,79}{2,75 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{0,60}{1,00 \text{ kg/dm}^3}\right)} = 369 \text{ kg}$$

6.3.2 Traço (C30)

Classe de resistência C30; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

Resistência de dosagem

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cm28} = 30 + 1,65 \times 4 = 36,6 \text{ MPa}$$

Relação água/cimento (a/c)

- Valor de a/c para atender a resistência mecânica: 0,57

- Valor de a/c para atender a durabilidade: $\leq 0,60$

Valor adotado = 0,57 (menor valor)

6.3.2.2 Cálculo do traço

$A\% = 10,52$; $K = 0,51$; $a/c = 0,57$

$$m = \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times 100}{A\%} - 1 = \frac{0,57 \times 100}{10,52} - 1 = 4,42$$

$$K = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+a}{1+4,42} = 0,51 \rightarrow a = 1,76$$

$$m = a + b \rightarrow 4,42 = 1,76 + b \rightarrow b = 2,66$$

Traço unitário, em massa, exibido na Tabela 16.

$$C = 1,000$$

$$a = 1,760$$

$$b = 2,660$$

$$a/c = 0,570$$

6.3.2.3 Consumo de cimento

Cálculo do consumo de cimento (C2), em kg, necessário à fabricação de $1,0 \text{ m}^3$ de concreto. Adotou-se 2,0% para o teor ar aprisionado no concreto.

$$C2 = \frac{1000 \text{ dm}^3 \times (1-0,02)}{\left(\frac{1}{3,15 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{1,76}{2,62 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{2,66}{2,75 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{0,57}{1,00 \text{ kg/dm}^3}\right)} = 388 \text{ kg}$$

6.3.3 Traço (C40)

Classe de resistência C40; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

Resistência de dosagem

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cm28} = 40,0 \text{ MPa} + 1,65 \times 4,0 \text{ MPa} = 46,6 \text{ MPa}$$

Relação água/cimento (a/c)

- Valor de a/c para atender a resistência mecânica: 0,44

- Valor de a/c para atender a durabilidade: $\leq 0,60$

Valor adotado = 0,44 (menor valor)

6.3.3.1 Cálculo do traço

A% = 10,52; K = 0,51; a/c = 0,44

$$m = \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times 100}{A\%} - 1 = \frac{0,44 \times 100}{10,52} - 1 = 3,18$$

$$K = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+a}{1+3,18} = 0,51 \rightarrow a = 1,13$$

$$m = a + b \rightarrow 3,18 = 1,13 + b \rightarrow b = 2,05$$

Traço unitário, em massa, exibido na Tabela 16.

$$C = 1,000$$

$$a = 1,130$$

$$b = 2,050$$

$$a/c = 0,440$$

6.3.3.2 Consumo de cimento

Cálculo do consumo de cimento (C3), em kg, necessário à fabricação de 1,0 m³ de concreto.

OBS.: volume de ar aprisionado no concreto (adotado): 2,0%.

$$C3 = \frac{1000 \text{ dm}^3 \times (1 - 0,02)}{\left(\frac{1}{3,15 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{1,13}{2,62 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{2,05}{2,75 \text{ kg/dm}^3}\right) + \left(\frac{0,44}{1,00 \text{ kg/dm}^3}\right)} = 507 \text{ kg}$$

6.4 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS A PARTIR DO MÉTODO ACI

6.4.1 Traço (C25)

Classe de resistência C25; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

Resistência de dosagem

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cm28} = 25,0 \text{ MPa} + 1,65 \times 4,0 \text{ MPa} = 31,6 \text{ MPa}$$

Relação água/cimento (a/c)

- Valor de a/c para atender a resistência mecânica: 0,54

- Valor de a/c para atender a durabilidade: $\leq 0,60$

Valor adotado = 0,54 (menor valor)

Cálculo do traço

Com base no resumo explicitado no programa experimental, foram obtidos os seguintes parâmetros, considerando concreto convencional (Classe de consistência S100), conforme se constata a seguir:

Estimativa da quantidade de água (vide Tabela 8 -)

Considerando $D_{m\acute{a}x}$ da brita = 19 mm e abatimento = 100 mm $\rightarrow 205 \ell$

Estimativa do teor de ar aprisionado

Foi adotado 2% de ar

Estimativa do volume de agregado graúdo (vide Tabela 7 -)

Considerando módulo de finura da areia = 1,55 e $D_{máx}$ da brita = 19 mm \rightarrow $0,79\text{m}^3/\text{m}^3$ de concreto

Dados: $a/c = 0,54$; $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b19} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$; teor de ar aprisionado = 2%, massa unitária compactada da brita = $1,46 \text{ kg/dm}^3$.

Cálculo do consumo do cimento

$$\text{Massa de cimento} = \frac{205 \text{ kg}}{0,54} = 380 \text{ kg}$$

Cálculo da massa da brita

$$\mu_c = \frac{\text{massa da brita 19}}{\text{volume da brita}}$$

$$\text{Massa da brita 19} = \mu_c \times \text{volume da brita 19} = 1,46 \text{ kg/dm}^3 \times 0,79 \text{ m}^3 = 1153,4 \text{ kg}$$

Cálculo da massa da areia

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{\text{massa do cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - \text{Vol. de ar} = \frac{380 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - 2\% \times 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{380 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1000 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 = 120,64 \text{ dm}^3 + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + 419,42 \text{ dm}^3 + 205 \text{ dm}^3$$

$$\text{Massa da areia} = 615,54 \text{ kg}$$

Quantidades dos materiais

$$\text{Cimento} = 380 \text{ kg}$$

$$\text{Areia} = 615,54 \text{ kg}$$

$$\text{Brita 19} = 1153,4 \text{ kg}$$

Água = 205 kg

Traço unitário, em massa, exibido na Tabela 16.

$C = 1,000$

$a = 1,620$

$b_{19} = 3,04$

$a/c = 0,540$

6.4.2 Traço (C30)

Classe de resistência C30; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

Resistência de dosagem

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cm28} = 30 + 1,65 \times 4 = 36,6 \text{ MPa}$$

Relação água/cimento (a/c)

- Valor de a/c para atender a resistência mecânica: 0,51

- Valor de a/c para atender a durabilidade: $\leq 0,60$

Valor adotado = 0,51 (menor valor)

Cálculo do traço

Com base no resumo explicitado no item 3.3.2 do programa experimental, foram obtidos os seguintes parâmetros, considerando concreto convencional (classe de consistência S100), conforme se constata abaixo:

Estimativa da quantidade de água (vide Tabela 8 -)

Considerando $D_{\text{máx}}$ da brita = 19 mm e abatimento = 100 mm \rightarrow 205 ℓ

Estimativa do teor de ar aprisionado

Foi adotado 2% de ar

Estimativa do volume de agregado graúdo (vide Tabela 7 -)

Considerando módulo de finura da areia = 1,55 e $D_{máx}$ da brita = 19 mm $\rightarrow 0,79 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto

Dados: $a/c = 0,51$; $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b19} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$; teor de ar aprisionado = 2%, massa unitária compactada da brita = 1,46 kg/dm^3 .

Cálculo do consumo de cimento

$$\text{Massa de cimento} = \frac{205 \text{ kg}}{0,51} = 402 \text{ kg}$$

Cálculo da massa da brita

$$\mu_c = \frac{\text{massa da brita 19}}{\text{volume da brita}}$$

$$\text{Massa da brita 19} = \mu_c \times \text{volume da brita 19} = 1,46 \text{ kg/dm}^3 \times 0,79 \text{ m}^3 = 1153,4 \text{ kg}$$

Cálculo da massa da areia

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{\text{massa do cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - \text{Vol. de ar} = \frac{402 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - 2\% \times 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{402 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1000 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 = 127,62 \text{ dm}^3 + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + 419,42 \text{ dm}^3 + 205 \text{ dm}^3$$

Massa da areia = 597,26 kg

Quantidades dos materiais

Cimento = 402 kg

Areia = 597,26 kg

Brita 19 = 1153,4 kg

Água = 205 kg

Traço unitário, em massa, exibido na Tabela 16.

C = 1,000

a = 1,490

b19 = 2,870

a/c = 0,510

6.4.3 Traço (C40)

Classe de resistência C40; classe de consistência S100; dimensão máxima característica do agregado graúdo: 19 mm; classe de agressividade ambiental II; agressividade moderada e tipo de ambiente: urbana.

Resistência de dosagem

$$f_{cm28} = f_{ck28} + 1,65 \times S_d$$

$$f_{cm28} = 40,0 \text{ MPa} + 1,65 \times 4,0 \text{ MPa} = 46,6 \text{ MPa}$$

Relação água/cimento

- Valor de a/c para atender a resistência: 0,44

- Valor de a/c para atender a durabilidade: $\leq 0,60$

Valor adotado = 0,44 (menor valor)

Cálculo do traço

Com base no resumo explicitado no programa experimental, foram obtidos os seguintes parâmetros, considerando concreto convencional (Classe de consistência S100), conforme se constata abaixo:

Estimativa da quantidade de água (vide Tabela 8)

Considerando $D_{\text{máx}}$ da brita = 19 mm e abatimento = 100 mm, a quantidade de água = 205ℓ

Estimativa do teor de ar aprisionado

Foi adotado 2% de ar

Estimativa do volume de agregado graúdo (vide Tabela 7)

Considerando módulo de finura da areia = 1,55 e $D_{\text{máx}}$ da brita = 19 mm, o volume estimado de agregado graúdo é $0,79 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de concreto.

Dados: $a/c = 0,44$; $\gamma_c = 3,15 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{b19} = 2,75 \text{ kg/dm}^3$; $\gamma_{ag} = 1,00 \text{ kg/dm}^3$; teor de ar aprisionado = 2%, massa unitária compactada da brita = $1,46 \text{ kg/dm}^3$.

Cálculo do consumo do cimento

$$\text{Massa de cimento} = \frac{205 \text{ kg}}{0,44} = 466 \text{ kg}$$

Cálculo da massa da brita

$$\mu_c = \frac{\text{massa da brita 19}}{\text{volume da brita}}$$

$$\text{Massa da brita 19} = \mu_c \times \text{volume da brita 19} = 1,46 \text{ kg/dm}^3 \times 0,79 \text{ m}^3 = 1153,4 \text{ kg}$$

Cálculo da massa da areia

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{\text{massa do cimento}}{\gamma_c} + \frac{\text{massa da areia}}{\gamma_a} + \frac{\text{massa da brita 19}}{\gamma_{b19}} + \frac{\text{massa de água}}{\gamma_{ag}} + \text{Vol. de ar}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - \text{Vol. de ar} = \frac{466 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} - 2\% \times 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} = \frac{466 \text{ kg}}{3,15 \text{ kg/dm}^3} + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + \frac{1153,4 \text{ kg}}{2,75 \text{ kg/dm}^3} + \frac{205 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg/dm}^3}$$

$$1000 \text{ dm}^3 - 20 \text{ dm}^3 = 147,94 \text{ dm}^3 + \frac{\text{massa da areia}}{2,62 \text{ kg/dm}^3} + 419,42 \text{ dm}^3 + 205 \text{ dm}^3$$

Massa da areia = 544,02 kg

Quantidades dos materiais

Cimento = 466 kg

Areia = 544,02 kg

Brita 19 = 1153,4 kg

Água = 205 kg

Traço unitário, em massa, exibido na Tabela 16.

C = 1,000

a = 1,170

b19 = 2,480

a/c = 0,440

Com base nas peculiaridades de cada método de dosagem, considerando as classes de resistência requeridas, assim como, os valores máximos permitidos de relação água/cimento, em função da durabilidade, encontram-se discriminados na Tabela 16 - os traços de concreto que atendem aos requisitos estabelecidos no objetivo deste trabalho.

Tabela 16 - Dados e composições dos concretos no estado fresco

Método de dosagem	Classe de resistência	Proporções (em massa)	Relação água/cimento (em massa)	Relação Água/materiais secos	Consumo de cimento	Teor de argamassa seca, em massa, K
		cimento : areia: brita ₁₉	a/c	A (%)	(kg/m ³)	
EPUSP/ IPT	C25	1,000: 1,910: 2,790	0,600	10,52	369	0,51
	C30	1,000: 1,760: 2,660	0,570		388	
	C40	1,000: 1,130: 2,050	0,440		507	
ACI	C25	1,000: 1,620: 3,040	0,540	9,54	380	0,46
	C30	1,000: 1,490: 2,870	0,510	9,51	402	0,47
	C40	1,000: 1,170: 2,480	0,440	9,46	466	0,47
Fauy	C25	1,000: 1,710: 2,970	0,560	9,86	375	0,48
	C30	1,000: 1,370: 2,630	0,490	9,80	429	0,47
	C40	1,000: 0,970: 2,250	0,410	9,72	512	0,47

Fonte: Próprios autores

Da análise dos dados contidos na Tabela 16 - , pode-se assinalar que:

- Considerando as classes de resistência C25 e C30, as dosagens efetuadas segundo o método da EPUSP/IPT resultaram em consumos de cimento inferiores aos demais procedimentos. Este desempenho deve ser atribuído à possibilidade do emprego de valores de relações água/cimento superiores aos utilizados nos outros dois métodos.
- Para a classe de resistência C40, a dosagem realizada segundo o método do ACI ocasionou a mistura mais econômica, pois o seu consumo de cimento para cada 1 m³ de concreto foi apenas de 466 kg, enquanto os valores das outras composições resultaram em 507 kg e 512 kg, correspondentes a EPUSP/IPT e Fauy, respectivamente. Esta performance é justificada pela viabilidade da utilização de menor valor da relação água/materiais secos (9,46%) na referida mistura, quando comparado aos outros dois métodos. Em relação ao método de Fauy, destaca-se, ainda, a influência da relação água/cimento (a/c= 0,410) no aumento do consumo do aglomerante, uma vez que este parâmetro nos outros dois procedimentos (ACI e EPUSP/IPT) corresponde a 0,440.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À exceção do método de Vallette, os demais métodos de dosagem estudados se adequaram muito bem para o proporcionamento de concretos estruturais com consistência (S100) compatível com as necessidades de lançamentos por métodos tradicionais e se adaptaram adequadamente à areia natural e ao agregado graúdo britado encontrados em Salvador-BA e empregados nas dosagens.

Quando se comparam os consumos de cimento das famílias de concretos, estabelecidas no programa experimental, constata-se que as respostas oferecidas pelos três métodos de dosagem estudados apresentam diferenças significativas. Neste aspecto, pode-se afirmar que o método da EPUSP/IPT evidenciou menor consumo de cimento para as classes de resistência C25 e C30, enquanto o do ACI propiciou a mistura mais econômica entre os concretos de classe C40.

Qualquer que seja o método de dosagem adotado, ele nunca poderá ser considerado como independente da influência do tecnologista que o aplica. Ou seja, o conhecimento e a experiência do tecnologista são decisivos nas etapas de aplicação e nos processos de ajuste do traço final.

AGRADECIMENTOS

Os professores José Marcílio Ladeia Vilasboas e Júlia Barbosa Neves agradecem aos alunos e ex-alunos, mencionados a seguir, pela realização de atividades indispensáveis à elaboração desta apostila:

- 1- Ananda Costa Santos
- 2- Ananda Ferreira Santos
- 3- Daiane Damasceno Félix
- 4- Gabriel Oliveira dos Santos Silva
- 5- Juliana Araújo de Magalhães
- 6- Marcos Vinicius Silva Souza
- 7- Paulo Igor de Araújo Bezerra
- 8- Samantha Pereira de Medeiros
- 9- Victor Jesus de Paulo
- 10- Vítor Miranda Torres Guerra de Oliveira
- 11- Wendell Loiola de Carvalho Santos

Faz-se necessário agradecer, também, ao Tecnologista Antônio Damião dos Santos e a usina de concreto InterCement.

REFERÊNCIAS

BAUER, L. A Falcão et al. *Materiais de Construção* (volume 1). 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2013

BOGGIO, Aldo J. Estudo comparativo de métodos de dosagem de concretos de cimento Portland. Mestrado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000

COUTINHO, A.S. *Fabrico e Propriedades do Betão* (volume II). 5ªEd. Lisboa: LNEC, 2012.

HELENE, Paulo. *Manual de Dosagem e Controle do Concreto*. São Paulo: Pini, 1993.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. *Tecnologia do Concreto*. Porto Alegre: Bookman, 2013.

RODRIGUES, Púbio. P.F. *Parâmetros de Dosagem de Concreto ET-67*. Associação Brasileira de Cimento. São Paulo. 1990