



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DAILTON MORAIS DE CARVALHO

**ESTUDO PARAMÉTRICO DA INFLUÊNCIA DOS INSUMOS REGIONAIS NAS
PROPRIEDADES DOS CONCRETOS**

CARAÚBAS

2025

DAILTON MORAIS DE CARVALHO

**ESTUDO PARAMÉTRICO DA INFLUÊNCIA DOS INSUMOS REGIONAIS NAS
PROPRIEDADES DOS CONCRETOS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof.^a Dr. Gilvan Bezerra Dos
Santos Júnior.

CARAÚBAS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C331e Carvalho, Dailton Moraes de .
Estudo paramétrico da influência dos insumos
regionais nas propriedades dos concretos /
Dailton Moraes de Carvalho. - 2025.
70 f. : il.

Orientador: Gilvan Bezerra dos Santos Júnior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. traço de concreto. 2. insumos regionais. 3.
influência nas propriedades. 4. eficiência de
dosagem. I. Santos Júnior, Gilvan Bezerra dos,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Sarah Freire Bezerra
CRB: 15/1052

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

DAILTON MORAIS DE CARVALHO

**ESTUDO PARAMÉTRICO DA INFLUÊNCIA DOS INSUMOS REGIONAIS NAS
PROPRIEDADES DOS CONCRETOS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Defendida em: 28 / 03 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos Santos Júnior (UFERSA)
Presidente

Prof. Dr. Jennef Carlos Tavares (UFERSA)
Membro Examinador

Prof. Me. Glauco Fonseca Henriques (EXTERNO)
Membro Examinador

*Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor, apoio e incentivo incondicionais. Sem vocês,
esta conquista não seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente à Deus, que sempre esteve ao meu lado, abençoando e guiando os meus caminhos. Sou grato pela saúde, determinação e força que me permitiram seguir em busca deste sonho. Toda honra e toda glória sejam dadas a Ti.

Agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais, Ceição Paiva e Damião Carvalho, que foram o alicerce da minha vida acadêmica e, com muito trabalho árduo, me proporcionaram a oportunidade de cursar a faculdade dos meus sonhos, algo que eles próprios não tiveram. Serei eternamente grato e, do fundo do meu coração, desejo que um dia possamos desfrutar juntos de tudo o que plantamos.

Agradeço ao meu amigo e orientador, Professor Gilvan Júnior, que, com muito profissionalismo, me orientou durante a realização deste trabalho. Sou muito grato por todo conhecimento compartilhado, parceria e incentivo ao longo dos últimos períodos.

Agradeço a todos os professores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas, não apenas pelo conhecimento transmitido, mas também pelos bons momentos, pela amizade, pelos conselhos e pelo incentivo que sempre proporcionaram a todos os seus alunos. Lembrar-me-ei sempre com muito carinho e gratidão.

Agradeço à banca avaliadora, na pessoa de Glauco Henriques e Jennef Tavares, dois grandes amigos que tive a oportunidade de conhecer e pelos quais tenho grande respeito e admiração. Muito obrigado pelas contribuições de cada um, que foram essenciais para tornar este trabalho ainda melhor.

Agradeço ao técnico de laboratório, Alisson Dantas, pelo suporte fundamental durante a realização dos ensaios.

Agradeço a todos os colegas, de turma ou não, que tive a oportunidade de conhecer ao longo dos últimos mais de cinco anos. Obrigado pela constante troca de conhecimento, por compartilharmos as mesmas preocupações e pelas inúmeras resenhas que essa experiência nos proporcionou. Sou imensamente grato pelas amizades que aqui construí e desejo muito sucesso profissional na vida de cada um.

Ninguém segura quem não desiste e dá o seu melhor. No final das contas, a dedicação sempre vence.

Caio Carneiro

RESUMO

O concreto de cimento Portland é, atualmente, o material de construção mais consumido pelo homem no mundo, ficando atrás, no geral, apenas da água, essencial para a vida humana. A dosagem dos seus constituintes é feita por meio de controle tecnológico, garantindo que as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido sejam atendidas. Para torná-lo econômico, cerca de 80% do volume do concreto é ocupado por agregados, o que pode impactar seu desempenho, dependendo da qualidade desses materiais. Além disso, o método clássico de dosagem de concretos da ABCP, mesmo nacionalmente padronizado, não leva em consideração as variações das propriedades de agregados locais. Nesse sentido, foi realizado um estudo paramétrico com o objetivo de compreender a influência dos insumos regionais nas propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido e, além disso, propor um modelo de dosagem para otimizar a metodologia ABCP em relação aos agregados regionais. Para isso, foram definidos quatro traços, variando o tipo de agregado graúdo e a utilização ou não de aditivo. Cada traço foi moldado em cinco relações a/c, totalizando 20 misturas. Após a realização dos ensaios físico-mecânicos necessários, os resultados revelaram que, em relação à consistência, todos os parâmetros variáveis influenciaram a propriedade estudada. Exceto para o traço com aditivo, todas as demais misturas apresentaram consistências inferiores à do traço de referência. No entanto, para a resistência à compressão, nem todos os parâmetros exerceram influência nos resultados. Isso foi observado no traço em que o agregado graúdo era a mistura de brita 0 com brita 1, que manteve as mesmas resistências do traço de referência. Nos demais traços, as resistências encontradas, na maioria das vezes, variaram para mais ou para menos em relação à referência. Por fim, foi plotada uma curva de resistência à compressão versus relação a/c, baseada no traço de melhor desempenho. Ao comparar a dosagem do concreto utilizando a curva desenvolvida com a curva de Abrams, concluiu-se o método de dosagem proposto correlaciona melhor a dosagem do concreto com agregados regionais do que o da ABCP. Este modelo se apresenta como uma ferramenta útil, pois ajusta o teor de argamassa e considera uma variedade de resistências à compressão e abatimentos de tronco de cone, permitindo atender a diferentes exigências de projeto.

Palavras-chave: traço de concreto; insumos regionais; influência nas propriedades; eficiência de dosagem.

ABSTRACT

Portland cement concrete is currently the most consumed building material in the world, second only to water, which is essential for human life. The proportioning of its constituents is done through technological control, ensuring that the properties of concrete in both its fresh and hardened states are met. To make it economical, about 80% of the volume of concrete is occupied by aggregates, which can impact its performance depending on the quality of these materials. Furthermore, the classic concrete proportioning method by ABCP, even though it is nationally standardized, does not take into account the variations in the properties of local aggregates. In this regard, a parametric study was conducted with the aim of understanding the influence of regional inputs on the properties of concrete in both its fresh and hardened states and, additionally, to propose a proportioning model to optimize the ABCP methodology concerning regional aggregates. For this, four mixes were defined, varying the type of coarse aggregate and whether or not an additive was used. Each mix was cast in five water-cement ratios, totaling 20 mixtures. After performing the necessary physical-mechanical tests, the results revealed that, regarding consistency, all the variable parameters influenced the studied property. Except for the mix with additive, all other mixtures presented consistencies lower than that of the reference mix. However, for compressive strength, not all parameters had an effect on the results. This was observed in the mix where the coarse aggregate was a blend of crushed stone 0 with crushed stone 1, which maintained the same strengths as the reference mix. In the other mixes, the strengths found, most of the time, varied either higher or lower than the reference. Finally, a compressive strength versus water-cement ratio curve was plotted, based on the best-performing mix. When comparing the concrete proportioning using the developed curve with the Abrams curve, it was concluded that the proposed proportioning method correlates better with concrete made with regional aggregates than the ABCP method. This model proves to be a useful tool, as it adjusts the mortar content and considers a variety of compressive strengths and slump cone values, allowing it to meet different design requirements.

Keywords: concrete mix; regional inputs; influence on properties; dosage efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Procedimentos para ensaio do abatimento do tronco de cone	24
Figura 2 - Procedimentos para produção de um CP	25
Figura 3 - Curvas de Abrams, utilizadas para determinar a relação a/c da dosagem	29
Figura 4 - Desenvoltura da pesquisa	32
Figura 5 – Pesagem de parte dos insumos, sendo: a) cimento; b) areia e c) brita	37
Figura 6 - Insumos devidamente separados e prontos para mistura	38
Figura 7 - Betoneira utilizada	39
Figura 8 - Determinação da consistência, sendo: a) aparelhagem; b) molde ocupado pelo concreto e c) verificação da consistência	40
Figura 9 - Moldagem dos CPs, sendo: a) moldes utilizados; b) CP em produção; c) CPs prontos, e d) CPs cobertos com saco plástico	41
Figura 10 – Etapas posteriores às primeiras 24 horas, sendo: a) desmoldagem e identificação; b) e c) cura úmida do concreto	41
Figura 11 - Retificação dos CPs, sendo: a) equipamento; b) CP posicionado; c) procedimento, e d) CPs retificados	42
Figura 12 – Determinação da resistência à compressão, sendo: a) máquina utilizada; b) CP posicionado, e c) CPs após rompimento	43
Figura 13 - Obtenção da massa seca da amostra, sendo: a) estufa utilizada; b) CPs em estufa, e c) pesagem dos CPs	43
Figura 14 - Obtenção da massa da amostra saturada imersa, sendo: a) balança hidrostática; b) imersão do CP, e c) pesagem do CP imerso	44
Figura 15 - Obtenção da massa da amostra saturada	44
Figura 16 - Sobreposição da curva do traço referência com as de Abrams para fins de comparação	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consistência dos concretos de acordo com a relação a/c da mistura	49
Gráfico 2 - Curvas de consistência x relação a/c	52
Gráfico 3 - Resistência dos concretos de acordo com a relação a/c da mistura	54
Gráfico 4 - Curvas de resistência à compressão versus relação a/c.....	58
Gráfico 5 - Curva de Abrams adaptada do traço referência	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos concretos quanto a consistência	51
Quadro 2 - Classificação dos concretos quanto a resistência à compressão	57
Quadro 3 - Classificação dos concretos quanto absorção, índice de vazios e massa específica	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo aproximado de água	30
Tabela 2 - Volume compactado seco de agregado graúdo por m ³ de concreto	30
Tabela 3 - Consumo de materiais utilizados como base na determinação das quantidades finais	46
Tabela 4 - Traços ajustados para o teor de argamassa desejado	47
Tabela 5 - Traços definitivos para cada relação a/c.....	47
Tabela 6 - Quantidades de materiais utilizadas em cada moldagem	48
Tabela 7 - Consistência dos concretos confeccionados (mm)	49
Tabela 8 - Resistência à compressão média de cada concreto (MPa)	53
Tabela 9 - Resultado da análise estatística (ANOVA)	54
Tabela 10 - Resultado do teste de Tukey para o traço referência	55
Tabela 11 - Absorção, índice de vazios e massa específica de cada concreto.....	59
Tabela 12 - Coeficientes aplicáveis as quantidades de cimento, areia e água para ajustar o teor de argamassa na mistura	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD	Concreto de alto desempenho
a/c	Água/cimento
CP	Corpo de prova
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
Kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
MPa	Mega pascal
mm	Milímetros
S10	Concreto com abatimento ≥ 10 e < 50 mm
S50	Concreto com abatimento ≥ 50 e < 100 mm
S100	Concreto com abatimento ≥ 100 e < 160 mm
S160	Concreto com abatimento ≥ 160 e < 220 mm
S220	Concreto com abatimento ≥ 220 mm
CP II-E	Cimento Portland tipo II com adição de escória
μm	Micrômetro
MF	Módulo de finura
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-árido
DMS	Diferença mínima significativa

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus célsius
$\geq$	Maior ou igual
$>$	Maior
$<$	Menor
$\pm$	Mais ou menos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	16
1.1.1	Gerais	16
1.1.2	Específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Concreto	17
2.2	Constituintes do Concreto	18
2.2.1	Cimento Portland	18
2.2.2	Agregados	19
2.2.2.1	Areia	20
2.2.2.2	Brita	21
2.2.3	Água de amassamento	21
2.2.4	Aditivos e Adições	22
2.3	Propriedades do Concreto	22
2.3.1	Consistência	23
2.3.1.1	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone	23
2.3.2	Resistência à compressão	24
2.3.2.1	Ensaio de resistência à compressão	24
2.3.3	Durabilidade	26
2.3.3.1	Ensaio para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica	26
2.4	Dosagem do Concreto	27
2.4.1	Método de dosagem da ABCP	28
3	METODOLOGIA	32
3.1	Caracterização e localização do estudo	32
3.2	Definição dos parâmetros a serem variados	33
3.3	Obtenção e caracterização dos materiais necessários	34
3.4	Definição dos traços base	34
3.5	Ajuste no teor de argamassa	35
3.6	Proporções para diferentes relações a/c	36
3.7	Quantidades necessárias para produção de cinco CPs	36
3.7.1	Dosagem do aditivo	36
3.8	Pesagem e separação dos materiais	37

3.9	Confeção dos traços.....	38
3.9.1	Ensaio de abatimento do tronco de cone	39
3.9.2	Moldagem e cura dos CPs	40
3.10	Ensaio de resistência à compressão axial.....	42
3.11	Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica	43
3.12	Tratamento dos dados	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1	Apresentação do consumo de materiais.....	46
4.2	Propriedades dos concretos produzidos.....	49
4.2.1	Consistência.....	49
4.2.1.1	Classificação dos concretos	50
4.2.1.2	Curvas consistência x relação a/c	52
4.2.2	Resistência à compressão	53
4.2.2.1	Classificação dos concretos	56
4.2.2.2	Curvas resistência x relação a/c.....	57
4.2.3	Absorção, índice de vazios e massa específica.....	58
4.2.3.1	Classificação dos concretos	59
4.3	Análise comparativa para eficiência de dosagem.....	61
5	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE	69

1 INTRODUÇÃO

O concreto de cimento Portland é atualmente o material estrutural e de construção civil de maior relevância. Além disso, pode ser considerado uma das descobertas mais plausíveis da história da evolução humana e da melhoria da qualidade de vida. A descoberta do concreto ao final do século XIX e a sua considerável utilização durante o século XX, o impulsionou ao marco dos materiais mais consumidos pelo homem, ficando atrás apenas da água (Helene e Andrade, 2010).

A preferência do concreto em relação aos demais materiais de construção é justificada pela sua facilidade na moldagem de estruturas em diversas formas e tamanhos, boa resistência mecânica em seu estado endurecido, e sua viabilidade financeira. Portanto, o seu emprego é muito comum nas diversas obras de engenharias, tais como: pontes, edificações, usinas hidrelétricas, pavimentação, túneis, estruturas de contenção, dentre outras (Lopes; Peçanha e Castro, 2020).

De acordo com Fusco (2008), o concreto simples é obtido pela mistura de cimento, água, agregado miúdo (como areia), e agregado graúdo (como pedra britada ou seixos rolados). Quando deseja-se concretos com alto desempenho (CAD), isto é, compósitos com propriedades e características específicas, aditivos químicos e adições, minerais ou não, são acrescentados na mistura convencional (Castro, 2007). Para Andolfato (2002), os agregados desempenham um papel fundamental na mistura, ocupando até 80% do volume total de concreto, tornando-a econômica, visto que o agregado é financeiramente mais acessível que a pasta. Entretanto, essa porcentagem considerável exige que os mesmos apresentem um boa qualidade.

Conforme Helene e Andrade (2010), a proporcionalidade dos constituintes utilizados na confecção do concreto é buscada pelo seu controle tecnológico, objetivando satisfazer simultaneamente todas as exigências específicas de projeto. Os engenheiros devem ter em mente que a durabilidade, a resistência à compressão, a relação água/cimento (a/c), o consumo de cimento e o abatimento do concreto são parâmetros correlacionados.

Para Tutikian e Helene (2011), há atualmente uma diversidade de metodologias de dosagem de concreto, que, apesar de diferirem entre si, também apresentam similaridades no processo de obtenção das quantidades de materiais utilizados para a mistura. Dentre esses métodos, destaca-se o da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), amplamente consolidado e utilizado em âmbito nacional e acadêmico.

Embora ainda vigentes, muitos autores defendem que as tabelas utilizadas no método de dosagem da ABCP são consideradas ultrapassadas. Segundo Salomão *et al.* (2018), são dados da década de 1960 e não acompanharam a evolução das matérias-primas do concreto. Além disso, não contemplam todos os insumos existentes no Brasil, considerando a dimensão do país.

Diante do exposto, o presente trabalho visa compreender o comportamento dos insumos regionais em relação às propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido. Por fim, pretende-se propor uma ferramenta de dosagem baseada no traço de melhor desempenho, com o objetivo de ajustar à região oeste do Rio Grande do Norte ao método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e assegurar que as propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido sejam atendidas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Gerais

Realizar um estudo paramétrico com os insumos regionais do concreto, analisando sua influência nas principais propriedades nos estados fresco e endurecido.

1.1.2 Específicos

- Avaliar o comportamento das propriedades do concreto frente às diferentes relações a/c estabelecidas no estudo;
- Realizar uma análise estatística para verificar se existem diferenças significativas entre as resistências de cada traço com a mesma relação a/c;
- Apresentar uma ferramenta de dosagem, baseada no traço de melhor desempenho, com o objetivo de otimizar o método da ABCP.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta, de forma sucinta, a fundamentação teórica que embasou a realização deste trabalho, destacando os principais conceitos e temas essenciais para o alcance dos objetivos almejados na pesquisa.

2.1 Concreto

De acordo com Bastos (2023), o concreto é definido como um material obtido pela mistura de cimento, água, agregado miúdo e graúdo, podendo também apresentar adições e aditivos químicos, com a finalidade de proporcionar propriedades específicas a mistura. A proporção dos materiais empregados na sua confecção é determinada por meio de um rigoroso proporcionamento, com o objetivo de conferir ao compósito as propriedades desejáveis, tanto no seu estado fresco quanto no endurecido.

Para Almeida (2018), a popularidade do concreto na Engenharia Civil é justificada pelo fato de ser um material resistente à água, simplicidade na moldagem de elementos estruturais diversos e pela abundância dos seus agregados. Por outro lado, Silva (2023) atribui a ampla utilização do concreto nesse setor principalmente à sua elevada resistência à compressão.

Diante dos avanços tecnológicos vivenciados na atualidade, há uma diversidade de tipos de concretos, cujas aplicações dependem da finalidade da estrutura. Nesse sentido, a NBR 8953 (ABNT, 2015), que trata dos concretos para fins estruturais, os classificam conforme a sua massa específica, pela resistência à compressão aos 28 dias e pela sua consistência no estado fresco. Portanto, no que se refere a sua massa específica o concreto pode ser classificado como:

- Concreto leve (C): apresenta massa específica seca abaixo de 2000 kg/m^3 ;
- Concreto normal (CN): apresenta massa específica seca entre 2000 kg/m^3 e 2800 kg/m^3 ;
- Concreto pesado ou denso (CD): apresenta massa específica seca acima de 2800 kg/m^3 .

Referindo-se a sua resistência à compressão aos 28 dias, o concreto pode ser classificado como:

- Concreto de baixa resistência: apresenta resistência à compressão inferior a 20 MPa (considerado não estrutural, conforme a NBR 6118:2023);
- Concreto de resistência normal: apresenta resistência à compressão entre 20 e 50 MPa;
- Concreto de alta resistência: apresenta resistência à compressão superior a 50 MPa.

No que diz respeito a sua consistência no estado fresco, o concreto pode ser classificado como:

- S10: apresenta abatimento ≥ 10 e < 50 mm, empregue como concreto extrusado, vibro prensado ou centrifugado;
- S50: apresenta abatimento ≥ 50 e < 100 mm, empregue em alguns tipos de pavimentos e fundações;
- S100: apresenta abatimento ≥ 100 e < 160 mm, empregue em elementos estruturais com lançamento convencional;
- S160: apresenta abatimento ≥ 160 e < 220 mm, empregue em elementos estruturais com lançamento bombeado;
- S220: apresenta abatimento ≥ 220 mm, empregue em utilizado em elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armadura.

2.2 Constituintes do Concreto

2.2.1 Cimento Portland

De acordo com a ABCP (2002), o cimento Portland define-se como um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes, que, ao adicionar água endurece. Além disso, se combinado com materiais como areia, brita, pó-de-pedra, cal e outros, obtém-se os concretos e argamassas, que são amplamente empregados nos diversos tipos de obras.

Conforme Neville (2013), a fabricação do cimento Portland envolve a moagem das matérias-primas até a obtenção de um pó muito fino. Esses materiais são misturados em proporções predefinidas e, posteriormente, queimados em um forno rotativo a temperaturas na faixa de 1400°C . Durante a queima, ocorre a sinterização e a fusão parcial do material, formando o clínquer. Após o resfriamento, adiciona-se uma quantidade de gipsita (sulfato de cálcio), e o processo de moagem é repetido até a obtenção de um novo pó fino, sendo esse o produto que será comercializado.

Para Fusco (2008), existe uma grande variedade de cimentos no mercado, que pode ser atribuída tanto à fabricação para atender a necessidades comuns quanto específicas de aplicação, e ao aproveitamento de resíduos de outras indústrias, como as pozolana, escória de alto-forno e calcário. Embora os componentes básicos desses cimentos sejam geralmente os mesmos, suas proporções variam de acordo com o tipo de cimento produzido. Nesse sentido, o

principal motivo para a produção de cimentos compostos está relacionado à redução dos altos custos na produção de clínquer e ao menor impacto ambiental decorrente das emissões de CO₂, uma vez que as adições não passam por processos de queima (Silva, 2019).

Conforme a NBR 16697 (ABNT, 2018), os cimentos Portland são classificados de acordo com seu tipo, definido pelas adições e propriedades especiais. Sua identificação é feita por siglas, acompanhadas da resistência à compressão aos 28 dias, que pode ser de 25, 32 ou 40 MPa; e dos sufixos RS ou BC, quando aplicáveis. Os principais tipos de cimento são:

- Cimento Portland comum – São representados pelas siglas CP I ou CP I-S (contém ou não contém adição, respectivamente);
- Cimento Portland tipo II – Trata-se de um tipo de cimento composto, e estável ao ataque de sulfatos. Sua identificação depende da adição, podendo ser: CP II-E, com escória; CP II-F, com fíler; e CP II-Z, com pozolana.
- Cimento Portland de alto forno – Representado pela sigla CP III, conta com a adição de 35 a 75% de escória, o que lhe confere maior durabilidade;
- Cimento Portland pozolânico – Representado pela sigla CP IV, conta com adição de 15 a 50% de material pozolânico em sua composição. Apresenta baixo calor de hidratação, baixa porosidade e o produto final é mais resistente a longo prazo se comparado com cimentos comuns;
- Cimento Portland de alta resistência inicial – Representado pela sigla CP V – ARI, esse tipo de cimento, assim como o CP I, não conta com adições em sua composição, porém, a dosagem para produção do clínquer é diferente. Esse tipo de cimento apresenta elevada resistência à compressão após 7 dias;

2.2.2 Agregados

De acordo com Lopes (2019), define-se como agregado todo material em forma de grãos utilizados para compor as argamassas e concretos, cuja origem seja natural ou sintética e que não possuem uma forma ou volume definidos. Segundo Neville (2013), a qualidade dos agregados é de extrema importância, visto que eles ocupam em torno de três quartos do volume de concreto. Além de limitar a resistência do compósito, suas propriedades impactam significativamente a durabilidade e desempenho do concreto. “São inúmeros os exemplos de falência de estruturas provocados por causa da seleção e o uso inadequado dos agregados” (Júnior, 2015).

Conforme Hagemann (2011), a maior parte dos agregados encontram-se na natureza, como as areias, seixos e pedras britadas. Parte desses materiais são submetidos a processos de beneficiamento como é o caso das britas, cuja rocha é extraída da jazida e precisa ser fragmentada para que se obtenha os tamanhos desejáveis pra determinado uso. Além disso, subprodutos derivados da indústria podem ser utilizados como agregados, como é o caso da escória de alto-forno, pó de pedra, pó de granito e mármore, entre outros.

Nesse contexto, Fusco (2008) diz que os agregados podem ser classificados em relação a sua composição granulométrica, dividindo-se em dois grupos, são eles: graúdos e miúdos. Conforme a NBR 7211 (ABNT, 2022), caracteriza-se como agregado graúdo aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira de 4,75 mm; enquadra-se como agregado miúdo aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 150 μ m.

2.2.2.1 Areia

Conforme Hagemann (2011), a areia trata-se de um agregado miúdo cuja origem pode ser natural como leito de rios, depósitos eólicos, bancos e cavas ou proveniente de processos artificiais como é o caso da britagem. Quando esse tipo de agregado é encontrado na natureza, sua extração geralmente é realizada por dragas e processos de escavação e bombeamento. Antes da sua comercialização, o material é submetido a processos de lavagem e classificação.

Segundo Fusco (2008), a areia é classificada conforme o seu módulo de finura (MF), que por sua vez é determinado em função das porcentagens de material acumuladas durante o ensaio de peneiramento. Nesse sentido, as areias podem ser classificadas como:

- Areia grossa: $MF > 3,9$;
- Areia média: $2,4 < MF < 3,9$;
- Areia Fina: $MF < 2,4$.

A comercialização da areia e as suas indicações de serventia são influenciados por tal classificação.

2.2.2.2 Brita

De acordo com Hagemann (2011), a brita é um agregado derivado da quebra mecânica de rochas, como basalto, granito, gnaiss, entre outras. O processo de britagem gera fragmentos em diversos diâmetros, amplamente empregados nas mais diversas aplicações.

Conforme Fusco (2008), a comercialização da brita é realizada por categorias, onde tal classificação considera a predominância de tamanho dos grãos e o diâmetro característico máximo. As mais comuns das categorias mencionadas são apresentadas abaixo:

- Brita 0: A granulometria predominante situa-se entre 4,8 e 9,5 mm, e o diâmetro máximo característico igual a 9,5 mm.
- Brita 1: A granulometria predominante situa-se entre 9,5 e 19 mm, e o diâmetro máximo característico igual a 19 mm.
- Brita 2: A granulometria predominante situa-se entre 19 e 25 mm, e o diâmetro máximo característico igual a 25 mm.

É importante salientar que, a brita é um insumo considerado artificial devido ao processo necessário para sua obtenção.

2.2.3 Água de amassamento

Para Castro (2007), a água é um constituinte fundamental na confecção do concreto, devido a sua finalidade química, responsável por produzir as reações de hidratação, e física, que confere ao concreto características reológicas, fundamentais para a mistura.

De acordo com Fusco (2008), a água empregada para produção do concreto deve estar livre de determinados níveis de substâncias capazes de comprometer a sua qualidade. Ribeiro Júnior (2015) defende que, a qualidade e segurança da obra é consequência da água utilizada, portanto, as qualidades químicas, impurezas e parâmetros recomendáveis devem ser respeitados.

Os requisitos que devem ser atendidos na água utilizada no amassamento do concreto são estabelecidos pela NBR 15900-1 (ABNT, 2009). Esta norma apresenta os tipos de água que devem ou não ser empregues na produção do concreto, em função da sua origem. No geral, admite-se que a água em condições de potabilidade pode ser utilizada sem nenhuma restrição, enquanto que, é vedado a utilização de água proveniente de esgoto ou estações de tratamento de esgoto.

2.2.4 Aditivos e Adições

Para Lopes (2019), os aditivos e adições são produtos acrescentados na mistura com intuito de aprimorar ou viabilizar determinadas propriedades ao concreto, no estado fresco e/ou endurecido. Devido a esse motivo são constituintes essenciais para confecção de concretos de qualidade. Conforme a NBR 11768-1 (ABNT, 2019), define-se como aditivo o produto incorporado e misturado ao concreto, cuja quantidade não ultrapasse 5% da massa de cimento presente na mistura. Segundo Almeida (2002), quando a quantidade de material adicionada excede 5%, tem-se uma adição.

De acordo com Fonseca (2010), o intuito da utilização do aditivos é alterar as característica do cimento, garantindo a sua proporção na composição do traço. Por outro lado, as adições são empregues na mistura objetivando somar ou substituir, parcialmente, a quantidade de cimento necessária, o que é possível devido a semelhança entre as propriedades dos materiais. Dentre os diversos tipos de aditivos disponíveis no mercado, destacam-se os plastificantes, que, de acordo com a NBR 11768-1 (ABNT, 2019), são aqueles capazes de reduzir a quantidade de água sem alterar a consistência do concreto fresco; ou, mantendo a mesma quantidade de água, modificar a consistência do concreto; ou, ainda, produzir ambos os efeitos simultaneamente.

2.3 Propriedades do Concreto

De acordo com Helene e Andrade (2010), o concreto apresenta duas fases diferentes, são elas: concreto no estado fresco e concreto no estado endurecido. A primeira compreende o tempo necessário para a mistura, transporte, lançamento e adensamento do concreto, contemplando um tempo relativamente curto de até 5 horas após a sua confecção. A segunda fase é caracterizada pelo início do endurecimento do concreto e estende-se enquanto a estrutura durar.

É importante salientar que o concreto possui propriedades específicas para cada fase. A seguir, serão abordadas apenas aquelas consideradas mais relevantes para esse estudo, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido.

2.3.1 Consistência

A consistência é uma propriedade do concreto no seu estado fresco, e de acordo com Andolfato (2002), ela está intimamente relacionada com a facilidade para manuseio da mistura, sendo essencial para garantir um concreto com boa trabalhabilidade. Isto é, quando sua aplicação na fôrma ocorre de forma prática e sem segregação.

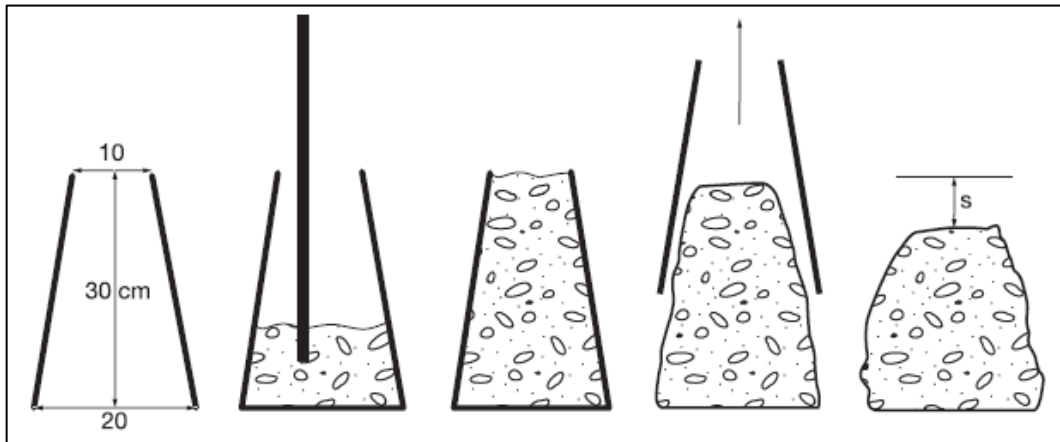
Helene e Andrade (2010), consideram a consistência como uma das principais propriedades do concreto, representando a maior ou menor capacidade da mistura se deformar sob efeito do seu próprio peso. Dentre os fatores que influenciam a consistência do concreto, o principal é o teor de água/mistura seca, seguido pela granulometria e forma do grão do agregado, os aditivos utilizado, e as condições de tempo e temperatura (Bauer, 2019).

A consistência de projeto normalmente depende do tipo de estrutura, da forma de aplicação e das características do concreto. Habitualmente, ela é medida por meio do ensaio de abatimento de cone, também conhecido como *Slump Test*.

2.3.1.1 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

O ensaio para determinar a consistência do concreto deve atender as especificações da NBR 16889 (ABNT, 2020). Resumidamente, o procedimento consiste em utilizar um molde metálico em formato de tronco de cone com dimensões 20 x 10 x 30 cm, apoiado sobre uma base firme de no mínimo 50 x 50 cm. Em seguida, o concreto fresco é moldado em três camadas iguais, sendo cada uma adensada com 25 golpes utilizando-se uma barra de 16 mm de diâmetro e 60 cm de comprimento. Por fim, retira-se o molde verticalmente com velocidade constante e anota-se o abatimento sofrido pelo concreto em relação à altura inicial, o que corresponde à sua consistência. A Figura 1 apresenta didaticamente o procedimento descrito.

Figura 1 - Procedimentos para ensaio do abatimento do tronco de cone



Fonte: BAUER (2019)

2.3.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma propriedade do concreto no seu estado endurecido, e de acordo com Mehta e Monteiro (2008), é definida como a máxima tensão suportada pela amostra de concreto sem que haja ruptura. Essa é a principal propriedade mecânica do concreto, o que se justifica pelo fato do concreto resistir predominantemente aos esforços de compressão e por possibilitar a obtenção de outros parâmetros físicos, que estão empiricamente relacionados (Andolfato, 2002).

Para Mehta e Monteiro (2008), os fatores intervenientes na resistência à compressão do concreto incluem as propriedades e proporções dos materiais que compõem a mistura, o grau de compactação e condições de cura do compósito. Geralmente, concretos com maior resistência tendem a ser mais duráveis do que aqueles com resistência inferior, mesmo quando produzidos com os mesmos materiais e sob as mesmas condições (Helene e Andrade, 2010).

Segundo Tutikian e Helene (2011), tal propriedade consolidou-se como a principal especificação para os concretos utilizados em obras, sendo um critério fundamental tanto na dosagem quanto no controle de qualidade. Um dos motivos que justifica a sua adoção é a praticidade para realização do ensaio de compressão.

2.3.2.1 Ensaio de resistência à compressão

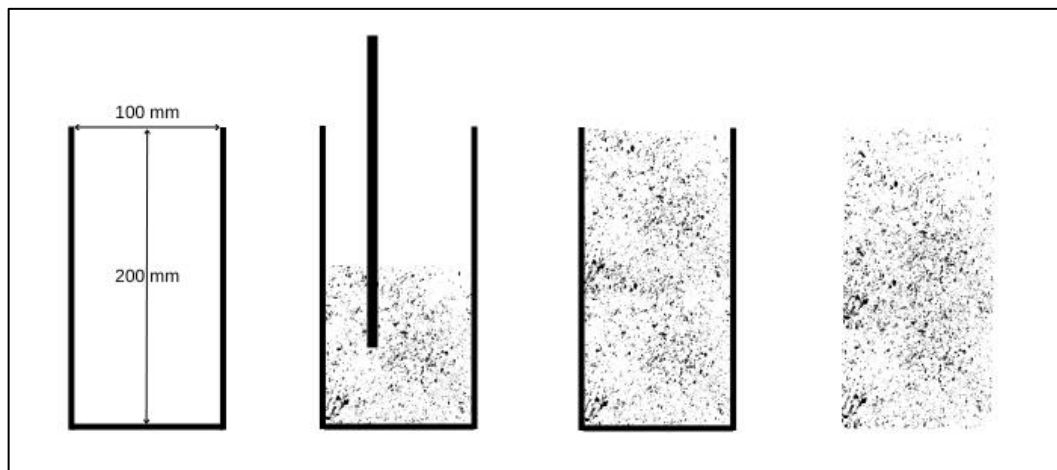
O ensaio de resistência à compressão consiste em duas etapas, na primeira é realizada a moldagem e cura dos corpos de prova conforme NBR 5738 (ABNT, 2015), na segunda os

corpos de prova são submetidos ao ensaio de compressão de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2018). A seguir, os procedimentos apresentados nas normas mencionadas são descritos de forma resumida, destacando as etapas essenciais para a realização do ensaio.

A confecção dos corpos de prova pode ser realizada com moldes cilíndricos, desde que a altura seja igual a duas vezes o diâmetro. Antes de iniciar o procedimento, as paredes internas do molde são revestidas com um desmoldante. Em seguida, o concreto fresco é moldado em duas camadas iguais, sendo cada camada adensada manualmente com 12 golpes. Ao final, a superfície é nivelada com a borda do molde, e a amostra é considerada pronta para a cura inicial.

Após as primeiras 24 horas, realiza-se a desmoldagem e identificação dos corpos de prova, seguidas pela imersão dos mesmos em uma solução saturada de hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, onde permanecerão até a realização do ensaio, que pode ocorrer aos 7, 14 ou 28 dias. Antes do ensaio as amostras são submetidas a um tratamento mecânico para retificação de suas faces. A Figura 2 apresenta didaticamente o procedimento de produção do corpo de prova (CP).

Figura 2 - Procedimentos para produção de um CP



Fonte: Autoria própria (2025)

O ensaio de compressão consiste em posicionar o CP de forma que seu eixo coincida com o da máquina de ensaio, e, em seguida, realiza-se o ajuste manual para garantir a fixação do CP. Ao iniciar o ensaio, uma força pontual é aplicada gradualmente, com velocidade controlável, devendo ser mantida próxima de 5,0 MPa/s. O CP é considerado rompido quando a carga começa a reduzir. Nesse momento, o valor máximo da carga suportada é registrado, e a resistência à compressão do concreto é calculada pela Equação 1.

$$Fc = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \quad (1)$$

Sendo:

Fc = Resistência à compressão (MPa);

F = Força máxima suportada (N);

D = Diâmetro do CP (mm).

2.3.3 Durabilidade

A durabilidade do concreto trata-se de uma propriedade no estado endurecido. Segundo Neville (2016), o concreto é considerado durável quando apresenta resistência aos processos de deterioração devido às condições ambientais às quais a estrutura está submetida.

Para Mehta e Monteiro (2008), a água deve ser compreendida como o principal agente que afeta a durabilidade do concreto, seja por meio de processos físicos de degradação ou como veículo para o transporte de íons agressivos, desencadeando processos químicos de deterioração. Lopes (2019) corrobora essa concepção, afirmando que, quanto maior o índice de vazios e a absorção de água do concreto, menor será a sua durabilidade. Isso ocorre porque a quantidade de poros presentes no concreto torna-o mais suscetível à entrada de água e, consequentemente, mais vulnerável ao ataque de agentes agressivos que podem degradá-lo.

Conforme a classificação da *International Tunnelling Association* (1993), concretos com absorção de água inferior a 6% apresentam qualidade excelente; entre 8% e 9%, são considerados toleráveis; e acima de 9%, ruins. Em relação ao índice de vazios, valores inferiores a 14% indicam qualidade excelente; entre 14% e 17%, boa; entre 17% e 19%, razoável; e superiores a 19%, ruim. A determinação desses parâmetros é detalhada a seguir.

2.3.3.1 Ensaio para determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica

O ensaio necessário para determinar a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica dos concretos no estado endurecido é realizado conforme as especificações da NBR 9778 (ABNT, 2009). De forma resumida, o procedimento consiste em realizar três pesagens dos corpos de prova, sendo elas: a massa seca (m_s), que é obtida após secagem em estufa a uma temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ por 72 horas; a massa imersa (m_i), que é determinada com o auxílio

da balança hidrostática após saturação do CP em água a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ por 72 horas; e, por fim, a massa saturada (m_{sat}), obtida enxugando a superfície do CP com pano úmido após a saturação.

A absorção de água (A) em percentual é calculada utilizando a Equação 2. Onde, m_{sat} representa a massa da amostra saturada em água após imersão e m_s é a massa da amostra seca em estufa.

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \quad (2)$$

O índice de vazios (I_v) em percentual é calculado utilizando a Equação 3. Sendo, m_i a massa da amostra saturada imersa em água.

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \cdot 100 \quad (3)$$

As massas específicas referentes à amostra seca (ρ_s), amostra saturada (ρ_{sat}) e real (ρ_r) são calculadas utilizando as Equações 4, 5 e 6, respectivamente.

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{sat} - m_i} \quad (4)$$

$$\rho_{sat} = \frac{m_{sat}}{m_{sat} - m_i} \quad (5)$$

$$\rho_r = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (6)$$

2.4 Dosagem do Concreto

Segundo Andolfato (2002), o procedimento de dosagem do concreto consiste em determinar as proporções dos materiais necessários para a confecção da mistura, de forma a garantir que as especificações técnicas no estado fresco e endurecido sejam atendidas.

Conforme Bauer (2019), apesar da grande relevância do concreto para a Construção Civil, atualmente não existe um método de dosagem universalmente aceito que sirva como

referência para a elaboração de uma norma técnica específica no Brasil. Em razão disso, uma variedade de métodos foi desenvolvida por diferentes pesquisadores ao longo do tempo, sendo amplamente utilizada pelos profissionais da área.

Dentre os diversos métodos sugeridos, destaca-se o proposto pela ABCP, que é amplamente conhecido e utilizado no meio acadêmico.

2.4.1 Método de dosagem da ABCP

A referida metodologia de dosagem foi publicada em 1984 pela ABCP, através de um estudo técnico intitulado “Parâmetros de Dosagem de Concreto”, idealizado pelo Eng. Públio de Penna Firme Rodrigues, sendo revisado em 1995 (Boggio, 2000). De acordo com Malta (2012), esse modelo de dosagem trata-se de uma adaptação do método desenvolvido pelo *American Concrete Institute* (ACI), considerando as condições dos agregados nacionais, ou seja, aqueles que atendem às especificações da NBR 7211 (ABNT, 2022).

Conforme Lopes (2019), o método de dosagem da ABCP parte do princípio de que, para obter um concreto trabalhável e com o menor número possível de vazios, deve haver um proporcionamento adequado entre os agregados, visando alcançar o máximo volume de agregado compactado seco por metro cúbico de concreto. O método contempla uma faixa de resistência à compressão do concreto, aos 28 dias, que varia entre 15 MPa e 40 MPa, e relações a/c de 0,39 a 0,79.

Segundo Tutikian e Helene (2011), o problema do método de dosagem da ABCP é que os valores utilizados como referência para determinar as proporções dos materiais são tabelados, mas essas tabelas não abrangem todos os tipos de materiais disponíveis. Por isso, sempre que a resistência à compressão obtida não atingir o valor desejado, é necessário realizar uma nova dosagem, ajustando a relação a/c e o teor de argamassa, de forma a garantir a trabalhabilidade adequada.

De acordo com Malta (2012), a aplicação do método de dosagem da ABCP requer o conhecimento prévio das características tanto dos materiais quanto do projeto, as quais são mencionadas a seguir:

- Classe, massa específica e resistência característica do cimento aos 28 dias;
- Granulometria e massa específica dos agregados;
- Massa unitária do agregado gráudo;
- Abatimento do tronco de cone requerido para o concreto;

- Exposição ambiental ou uso previsto para a obra;

Conforme Bauer (2019), os procedimentos para o emprego do método da ABCP seguem a seguinte sequência:

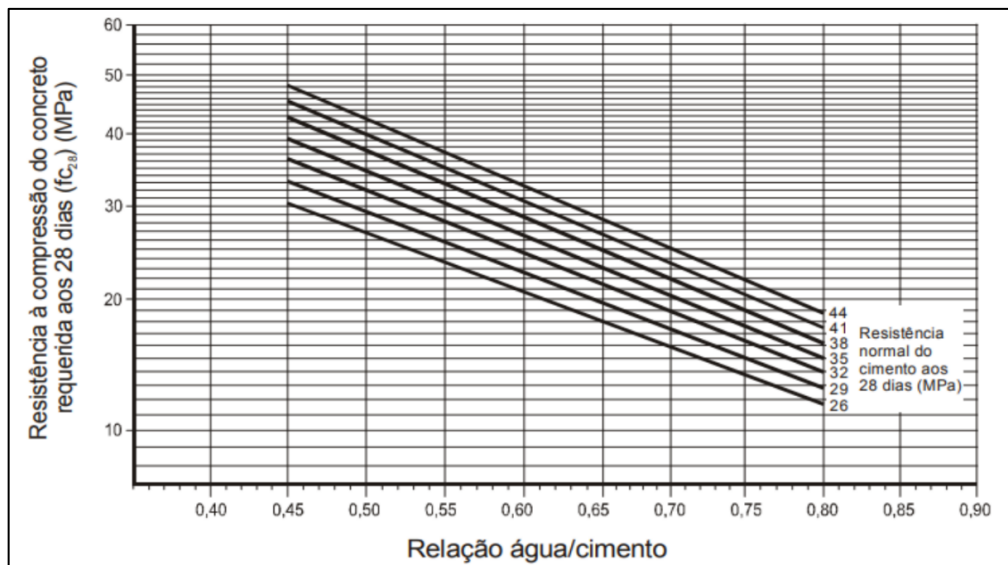
- 1) Verificar a compatibilidade entre a dimensão máxima característica do agregado graúdo ($D_{máx}$) disponível e as especificações do projeto, bem como os limites estabelecidos pela norma NBR 6118:2023
- 2) Calcular a resistência média de dosagem do concreto para uma determinada idade (f_{cm}), com base na resistência característica do concreto (f_{ck}) e utilizando a Equação 7.

$$f_{cmj} = f_{ckj} + 1,65 \cdot Sd \quad (7)$$

Onde, f_{cm} a resistência média do concreto à compressão para a idade de j dias; f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão (MPa); e Sd corresponde ao desvio-padrão de dosagem (MPa), determinado de acordo com as condições de preparo da mistura, conforme NBR 12655 (ABNT, 2022).

- 3) Definir a relação a/c com base na resistência de dosagem (f_{cj}) e na resistência normal do cimento, utilizando o gráfico apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Curvas de Abrams, utilizadas para determinar a relação a/c da dosagem



Fonte: Telluria (2023)

- 4) Determinar o consumo aproximado de água (C_a) por metro cúbico de concreto, em função da dimensão máxima característica do agregado graúdo ($D_{máx}$) e do abatimento desejado para a mistura, utilizando os valores apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo aproximado de água

Abatimento (mm)	Água para agregado com dimensões (litro/m³)				
	9,5	19	25	32	38
40 – 60	220	195	190	185	180
60 – 80	225	200	195	190	185
80 – 100	230	205	200	195	190

Fonte: Adaptado de BAUER (2019)

- 5) Determinar o consumo de cimento (C) por metro cúbico de concreto, com base no consumo de água (C_a) e na relação a/c, para isso utiliza-se a Equação 8.

$$C = \frac{C_a}{a/c} \quad (8)$$

- 6) Determinar o consumo de agregados graúdos (C_g) por metro cúbico de concreto com base na massa unitária compactada (M_c) e no volume compactado seco (V_c) de agregado graúdo, para isso, emprega-se a Equação 9.

$$C_g = V_c \cdot M_c \quad (9)$$

O volume compactado seco (V_c) de agregado graúdo é obtido a partir da Tabela 2, considerando o módulo de finura (MF) do agregado miúdo e a dimensão máxima característica do agregado graúdo ($D_{máx}$).

Tabela 2 - Volume compactado seco de agregado graúdo por m³ de concreto

Módulo de finura (MF)	Dimensão máxima do agregado graúdo (mm)				
	9,5	19	25	32	38
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785

2,6	0,565	0,690	0,705	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado de BAUER (2019)

- 7) Determinar o consumo de agregado miúdo (C_m) por metro cúbico de concreto. Para isso, antes, calcula-se o volume de agregado miúdo (V_m) em um metro cúbico de concreto de acordo com a Equação 10.

$$V_m = 1 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{C_g}{\gamma_g} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad (10)$$

Em que, γ_c é a massa específica do cimento; γ_g é a massa específica do agregado graúdo; e γ_a é a massa específica da água.

Portanto, o consumo em massa de agregado miúdo (C_m) por metro cúbico de concreto é calculado com base no volume (V_m) e na massa específica (γ_m) do agregado miúdo, utilizando a Equação 11.

$$C_m = V_m \cdot \gamma_m \quad (11)$$

- 8) Apresentar o traço de concreto. Para obter as quantidades dos materiais em massa, basta dividir o consumo de cada material pelo consumo de cimento, conforme a Equação 12.

$$1: \frac{C_m}{C} : \frac{C_g}{C} : \frac{C_a}{C} \Rightarrow 1: A_m : A_g : a/c \quad (12)$$

O traço em volume referente a um quilo de cimento é obtido dividindo a quantidade em massa dos agregados pela sua massa unitária, conforme a Equação 13.

$$1: \frac{A_m}{\rho_m} : \frac{A_g}{\rho_g} : a/c \quad (13)$$

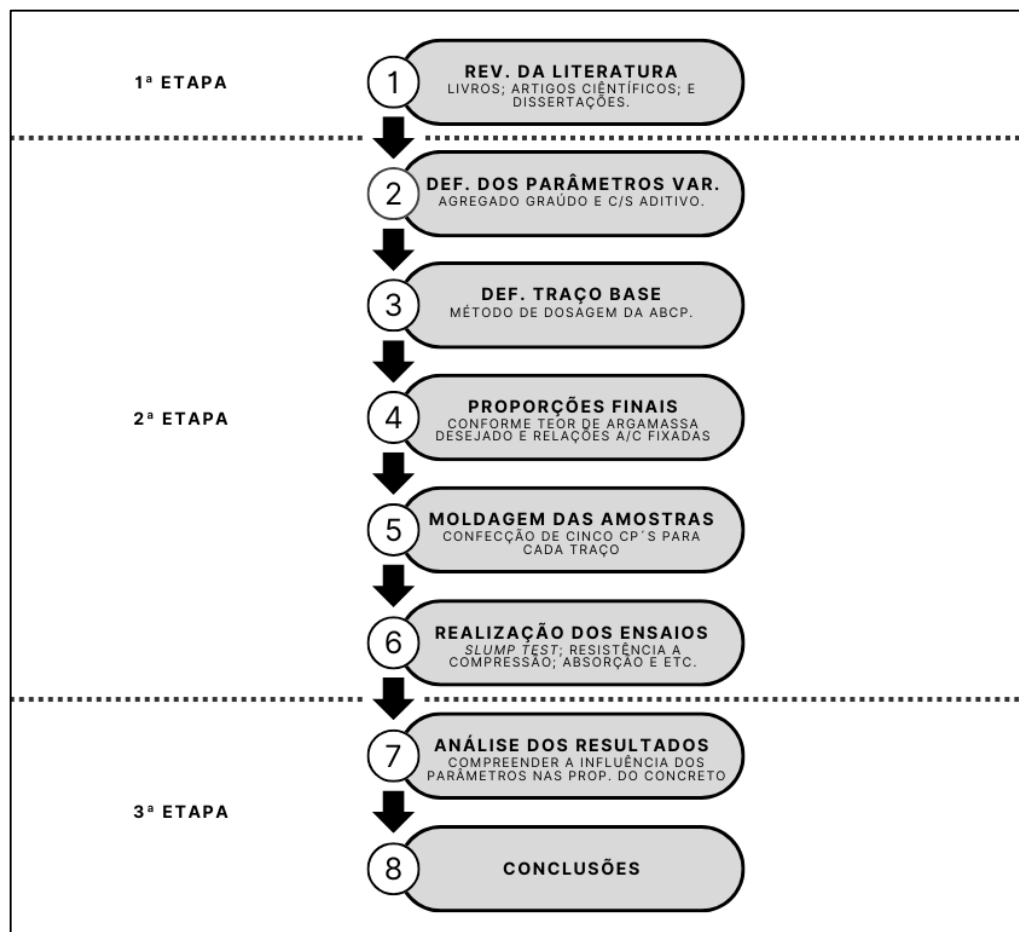
3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os materiais e métodos empregues para a realização desse trabalho, abordando todos os procedimentos experimentais e as devidas justificativas para cada escolha metodológica aplicada.

3.1 Caracterização e localização do estudo

A presente pesquisa configura-se como um estudo do tipo paramétrico, no qual, para uma mesma relação a/c foram-se alterando um parâmetro no traço de concreto, de forma a compreender a influência do mesmo em relação a propriedades específicas do concreto. O programa experimental da pesquisa consiste em três etapas principais, divididas em oito passos, conforme apresentado no diagrama da Figura 4.

Figura 4 - Desenvoltura da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2025)

A realização do estudo desenvolveu-se integralmente no âmbito da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), campus de Caraúbas-RN. Durante a revisão da literatura, usufruiu-se da estrutura física disponibilizada pela biblioteca da instituição e de artigos científicos, teses e dissertações acessados por meio das diversas bases de dados acadêmicos disponíveis na internet. Já a parte experimental procedeu-se no Laboratório de Materiais de Construção e Processos Construtivos, utilizando os equipamentos e recursos necessários.

3.2 Definição dos parâmetros a serem variados

Uma vez definido o tipo de estudo, no caso, paramétrico, foi definido os parâmetros variáveis dado a mesma relação a/c. Inicialmente, foram fixadas cinco relações a/c. Além disso, para cada relação a/c determinada, foram definidos quatro traços diferentes, pois considera-se que esse número de variações é suficiente para fornecer uma base sólida de resultados.

Para a composição desses traços, foi definida a utilização do cimento CP II-E-32 e de duas granulometrias de agregado graúdo, sendo eles a brita 0 e a brita 1. Uma vez que esses insumos são comumente empregados na confecção dos concretos regionais, quanto mais informações tivermos sobre o comportamento desses materiais em um traço, mais possibilidades serão proporcionadas para o contexto prático.

Para consolidar essa etapa, optou-se ainda por utilizar um aditivo plastificante e a mistura da brita 0 com a brita 1 como uma opção de agregado graúdo na composição de uma mistura. Essas duas variáveis tiveram como finalidade proporcionar mais possibilidades para garantir as quatro perspectivas almejadas dentro de uma única relação a/c.

A composição dos traços variáveis foi obtida por meio de combinações entre os insumos mencionados anteriormente, nas quais, entre um traço e outro variava-se apenas o agregado graúdo e a utilização ou não de aditivo. Essa metodologia colaborou para a identificação dos traços, que segue o padrão X / Y, onde X corresponde ao tipo de agregado graúdo e Y a utilização ou não de aditivo.

Diante do que foi mencionado, a composição dos quatro traços são apresentadas abaixo:

- B1 / SA – Traço composto por brita 1 / sem aditivo;
- B1 / CA – Traço composto por brita 1 / com aditivo;
- B0 / SA – Traço composto por brita 0 / sem aditivo;
- B0 + B1 / SA – Traço composto pela mistura da brita 0 com a brita 1 / sem aditivo.

É importante salientar que, como há um único tipo de cimento e de agregado miúdo, ambos fazem parte de todos os traços, dispensando a necessidade de sua identificação na composição.

3.3 Obtenção e caracterização dos materiais necessários

Os materiais necessários para realização do estudo foram cedidos pela UFERSA, e todos eles encontravam-se disponíveis no laboratório do campus. É importante salientar, que esses insumos são adquiridos no comércio local, portanto, as características físicas e mecânicas dos agregados não diferem tanto em relação aos que são utilizados na confecção dos concretos em outras localidades da região.

A caracterização dos materiais era conhecida a partir das informações disponíveis no próprio laboratório e de estudos recentes que utilizaram os mesmos materiais, como o de Silva (2023), em seu trabalho titulado como “Análise Comparativa dos Métodos de Dosagem de Concreto”. Nesse contexto, as peculiaridades a respeito desses agregados julgadas importantes para esse estudo são mencionadas abaixo.

- Areia: de acordo com as informações disponíveis no laboratório, a areia apresenta $\Upsilon = 2600 \text{ kg/m}^3$; $\delta = 1520 \text{ kg/m}^3$, e quando peneirada, seu MF = 2,63.
- Brita 0 e 1: de acordo com Silva (2023) a brita 0 apresenta $\Upsilon = 2590 \text{ kg/m}^3$ e $\delta = 1350 \text{ kg/m}^3$, já a brita 1 apresenta $\Upsilon = 2660 \text{ kg/m}^3$ e $\delta = 1490 \text{ kg/m}^3$.

3.4 Definição dos traços base

Diante das características dos agregados, a etapa seguinte consistiu em definir os traços base, isto é, encontrar proporções que teoricamente conduzem uma mistura a propriedades específicas, decorrentes dos materiais utilizados na sua composição. Para isso, empregou-se o método de dosagem da ABCP, cujo procedimento é descrito no item 2.4.1.

A classe de agressividade ambiental considerada neste estudo é dada pela NBR 6118 (ABNT, 2023), sendo essa a classe II, admitindo ambiente de exposição urbano, agressividade moderada e pequeno risco de deterioração da estrutura. Com isso, a classe do concreto adotada foi a C25, cuja resistência característica do concreto a compressão aos 28 dias (f_{ck}) é de 25 MPa, e a relação a/c máxima recomendada é 0,65. Assim, as relações a/c utilizadas foram 0,40 a 0,60, com incrementos de 0,05.

As condições de preparo do concreto são do tipo B, conforme estabelecido pela NBR 12655 (ABNT, 2022), sendo o desvio padrão igual a 5,5. Para o abatimento do tronco de cone estabeleceu-se uma faixa entre 80 e 100 mm, o que segundo Silva (2023), contempla maioria das estruturas.

Foram encontradas duas proporções como base, resultantes da dimensão máxima característica do agregado graúdo. Uma das proporções considera a utilização da brita 0, enquanto a outra leva em conta a brita 1 como agregado graúdo na mistura.

3.5 Ajuste no teor de argamassa

Diante das proporções anteriormente encontradas, foi realizado um ajuste no teor de argamassa no traço. Isto é, as proporções foram redefinidas de forma que a mistura apresentasse 57% de argamassa. Esse percentual foi definido com base em Silva (2023), que definiu esse teor como ótimo para uma mistura, e através dos seus resultados provou a importância desse percentual de argamassa para o desempenho satisfatório do concreto, quando dosado pelo método da ABCP.

Esse procedimento foi realizado com emprego de Equação 14, apresentada abaixo.

$$\text{Teor de argamassa (\%)} = \frac{x}{x + \text{brita}} \quad (14)$$

Onde, x representa a soma da quantidade de areia e cimento necessária para conduzir a mistura ao teor ótimo de argamassa.

As quantidades de areia e cimento ajustadas são dadas pelo produto entre x e o percentual de areia e cimento existentes no traço base, o que pode ser necessário aumentar ou reduzir as quantidades desses materiais. Dessa forma, tem-se novas proporções, que por sua vez, conduzem a mistura a um teor de argamassa igual a 57%. É importante salientar que as novas quantidades de areia e cimento foram definidas de forma proporcional, com base nos percentuais existentes no traço base.

3.6 Proporções para diferentes relações a/c

As proporções encontradas até aqui, conduzem a mistura a uma relação a/c consequente do método de dosagem, levando em consideração a resistência de dosagem do concreto aos 28 dias e a resistência normal do cimento aos 28 dias. O ajuste no teor de argamassa também influencia essa relação a/c, uma vez que a quantidade de cimento no traço é alterada.

Uma vez que, esse estudo fixa relações a/c para encontrar características específicas da mistura, um novo ajuste faz-se necessário, dessa vez somente o consumo de água será alterado. Esse novo consumo é dado pelo produto entre a relação a/c fixada e o consumo de água do traço base.

3.7 Quantidades necessárias para produção de cinco CPs

Diante de todas as proporções necessárias, a etapa seguinte consistiu em obter as quantidades de cada material em massa para produção de cinco CPs cilíndrico, considerando um percentual de perdas igual a 20%.

Uma vez que, o diâmetro e altura do molde é conhecida, o primeiro passo foi encontrar a área e volume de um CP, em seguida multiplicou-se o volume encontrado por cinco, sendo o novo valor multiplicado por um coeficiente igual a 1,2 para representar as perdas.

As quantidades em massa dos materiais para moldagem foram obtidas pelo produto entre o volume total dos CPs e os consumos dos insumos para confecção de um metro cúbico de concreto, obtidas pelo proporcionamento e os ajustes necessários. É importante salientar que, dentre as proporções disponíveis, é utilizada aquela compatível com a composição do concreto que se deseja produzir, ou seja, a que considera o mesmo tipo de cimento e agregado graúdo.

Para os traços em que o agregado graúdo é a mistura da brita 0 com a brita 1, as proporções utilizadas são as que levam em conta o agregado graúdo sendo a brita 1, visto que a dimensão do maior agregado na mistura pertence a esse grupo. O percentual de cada brita nessa mistura seguiu o mesmo de Silva (2023), sendo 70% de brita 1 e 30% de brita 0.

3.7.1 Dosagem do aditivo

Conhecendo-se as quantidades de insumos necessárias para a produção dos cinco CPs, foi realizada a dosagem do aditivo, uma vez que sua quantidade depende da quantidade de

cimento na mistura. Para isso, utilizaram-se as recomendações do fabricante Vedacit, que indica a utilização de 100 ml de aditivo por saco de cimento. Com base nessa informação, foi feito um proporcionamento conforme a quantidade de kg de cimento que seria utilizada na mistura.

3.8 Pesagem e separação dos materiais

Diante das quantidades necessárias para moldagem dos cinco CPs, a próxima etapa consistiu na pesagem e separação dos materiais, deixando-os prontos para o preparo. Costumeiramente, o primeiro insumo a ser pesado era o cimento, seguido dos agregados e por último a água e o aditivo, quando utilizado. Na realização desse processo, utilizou-se uma balança com capacidade máxima de 16 kg. Após a pesagem, os materiais eram identificados e guardados de forma reservada, para evitar que fossem misturados com outros.

É importante salientar que, para evitar perdas por evaporação, a pesagem da água e do aditivo era realizada somente momentos antes da sua utilização. A Figura 5 ilustra a pesagem de parte dos insumos, sendo: a) cimento; b) areia; e c) brita. Já a Figura 6 apresenta todos os insumos devidamente separados e prontos para a mistura.

Figura 5 – Pesagem de parte dos insumos, sendo: a) cimento; b) areia e c) brita



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 6 - Insumos devidamente separados e prontos para mistura



Fonte: Autoria própria (2025)

3.9 Confeção dos traços

De posse dos materiais devidamente separados para a preparação do traço, a mistura procedeu-se de forma mecânica, isto é, com emprego de uma betoneira, cuja capacidade é de 150 litros, conforme ilustrada na Figura 7. Com o equipamento ligado, foi realizado o umedecimento das suas paredes internas, o que é fundamental para evitar a perda da água de amassamento durante o processo. Os materiais foram adicionados na betoneira seguindo a ordem proposta por Oliveira (2017): primeiro, o agregado graúdo (brita), seguido por 50% da água de amassamento, depois o aglomerante (cimento), posteriormente o agregado miúdo (areia) e, por fim, os 50% restantes da água de amassamento.

Figura 7 - Betoneira utilizada



Fonte: Autoria própria (2025)

O intervalo que compreende a adição entre os constituinte foi de um minuto, exceto para a água, cuja adição é simultânea aos agregados. Ao término das adições, o tempo necessário para que a mistura seja considerada pronta é de três minutos, o que é necessário para garantir a homogeneidade do compósito. É importante salientar que, para misturas em que há utilização de aditivo, o mesmo foi diluído nos últimos 50% da água de amassamento.

3.9.1 Ensaio de abatimento do tronco de cone

Diante da mistura pronta, o procedimento seguinte consistiu na realização do ensaio de abatimento do tronco de cone. Nessa etapa, o concreto é transportado da betoneira até o espaço destinado a realização do ensaio com o auxílio de um carrinho de mãos. Utilizando-se a aparelhagem necessária para o ensaio, a consistência do concreto era medida com a utilização de uma trena conforme o procedimento descrito no item 2.3.1.1. A Figura 8 ilustra algumas etapas realizadas durante o ensaio, sendo: a) umidificação da aparelhagem para evitar a adesão do concreto às paredes internas do molde; b) última camada devidamente preenchida e adensada, no ponto de realizar o rasamento, tornando a parte superior plana; e c) verificação do abatimento do concreto utilizando uma trena.

Figura 8 - Determinação da consistência, sendo: a) aparelhagem; b) molde ocupado pelo concreto e c) verificação da consistência



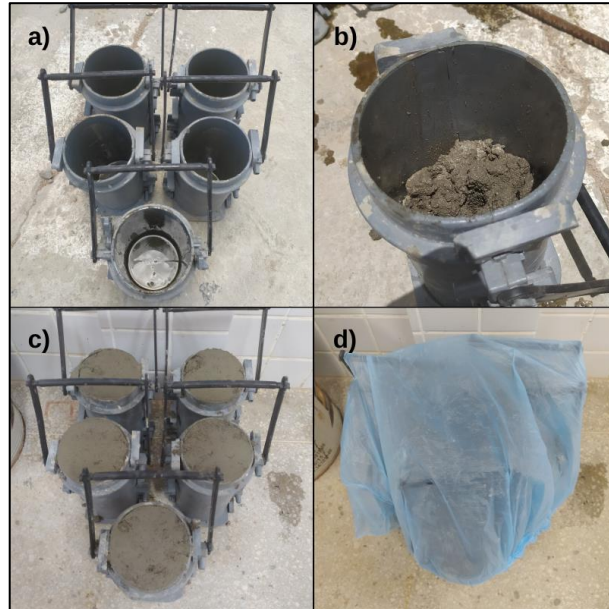
Fonte: Autoria própria (2025)

3.9.2 Moldagem e cura dos CPs

No processo de moldagem dos CPs, definiu-se uma quantidade de cinco exemplares, sendo destes três destinados ao ensaio de resistência à compressão aos 28 dias, e dois ao ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Para isso, foram utilizados moldes cilíndricos de plástico com dimensões 100 x 200 mm, sendo o procedimento realizado de acordo com o que foi mencionado no item 2.3.2.1.

A Figura 9 ilustra as principais etapas durante e após a moldagem dos CPs, sendo: a) moldes com suas paredes internas revestidas com desmoldante; b) camada de concreto inserida no molde e devidamente adensada, ocupando metade de seu volume; c) todos os CPs já confeccionados e armazenados em local livre de perturbações; e d) CPs devidamente cobertos com saco plástico para evitar evaporação da água.

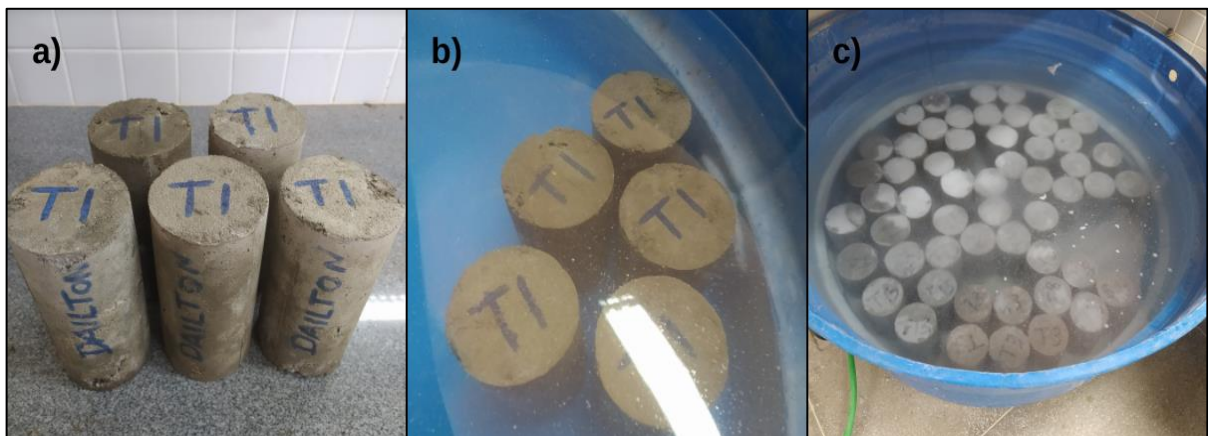
Figura 9 - Moldagem dos CPs, sendo: a) moldes utilizados; b) CP em produção; c) CPs prontos, e d) CPs cobertos com saco plástico



Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 10 apresenta as etapas posteriores às primeiras 24 horas da moldagem, sendo: a) desmoldagem e identificação das amostras; b) imersão dos CPs em água, e c) cura úmida do concreto em solução de hidróxido de cálcio à temperatura ambiente.

Figura 10 – Etapas posteriores às primeiras 24 horas, sendo: a) desmoldagem e identificação; b) e c) cura úmida do concreto



Fonte: Autoria própria (2025)

Concluindo essa parte, realizou-se a retificação mecânica dos três corpos de prova destinados ao ensaio de resistência à compressão axial. Para isso, foi utilizado uma retífica para

concreto de eixo vertical, conforme apresentado na Figura 11, na qual: a) aparece o equipamento utilizado; b) o CP posicionado para retificação; c) a execução do procedimento; e d) os CPs devidamente retificados.

Figura 11 - Retificação dos CPs, sendo: a) equipamento; b) CP posicionado; c) procedimento, e d) CPs retificados



Fonte: Autoria própria (2025)

3.10 Ensaio de resistência à compressão axial

Diante de todo o procedimento de cura e retificação, os três CPs foram submetidos ao ensaio de compressão axial, utilizando-se uma prensa hidráulica elétrica com capacidade de 2.000 kN. A realização do ensaio seguiu o procedimento descrito no item 2.3.2.1, sendo obtida a carga em kN necessária para a ruptura de cada amostra, e, assim, a resistência à compressão. É importante salientar que, para obtenção da resistência à compressão do traço utilizou-se a média das resistências de cada amostra. A Figura 12 apresenta, respectivamente: a) a máquina utilizada para o ensaio; b) CP posicionado para a realização do ensaio; e c) o estado dos CPs após a ruptura.

Figura 12 – Determinação da resistência à compressão, sendo: a) máquina utilizada; b) CP posicionado, e c) CPs após rompimento



Fonte: Autoria própria (2025)

3.11 Ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os últimos dois CPs foram destinados ao ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica, para isso, utilizou-se basicamente uma balança hidrostática e uma estufa. A obtenção da massa seca, massa imersa e massa saturada seguiu os procedimentos apresentados no item 2.3.3.1. Vale salientar que, para realização dos cálculos foi considerado a média das pesagens. A Figura 13 apresenta a obtenção da massa seca (m_s) da amostra, sendo: a) a estufa utilizada; b) os CPs dentro da estufa à temperatura de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, e c) pesagem do CP após 72 horas em estufa.

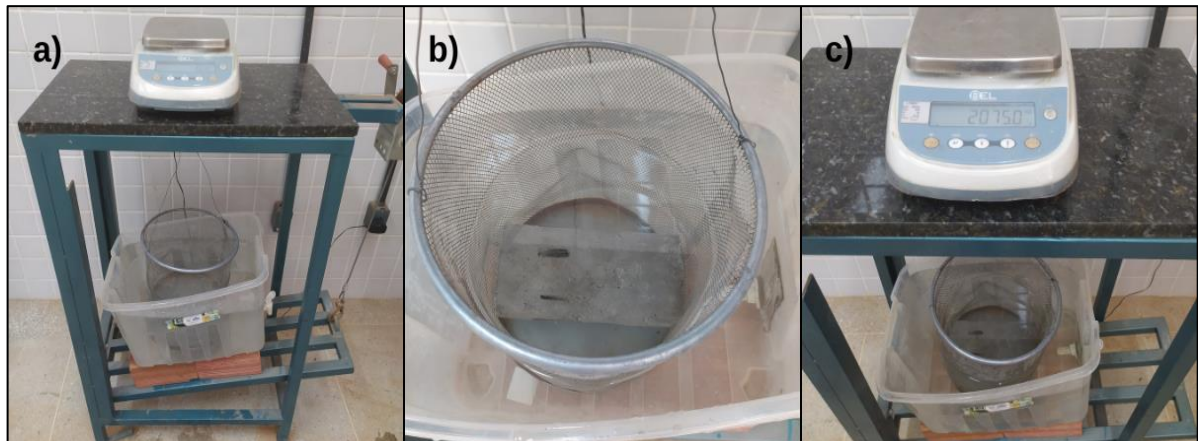
Figura 13 - Obtenção da massa seca da amostra, sendo: a) estufa utilizada; b) CPs em estufa, e c) pesagem dos CPs



Fonte: Autoria própria (2025)

A determinação da massa da amostra saturada imersa em água (m_i) é apresentada pela Figura 14, sendo: a) balança hidrostática utilizada; b) imersão da amostra em água; e c) registro da massa da amostra imersa.

Figura 14 - Obtenção da massa da amostra saturada imersa, sendo: a) balança hidrostática; b) imersão do CP, e c) pesagem do CP imerso



Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 15 ilustra a obtenção da massa da amostra saturada (m_{sat}), na qual a superfície da amostra, após a imersão realizada no passo anterior, é enxugada com um pano úmido.

Figura 15 - Obtenção da massa da amostra saturada



Fonte: Autoria própria (2025)

3.12 Tratamento dos dados

Diante da realização de todas moldagens e de posse dos resultados dos ensaios, a etapa seguinte consistiu no tratamento dos dados. As principais propriedades do concreto, no caso, consistência e resistência tiveram análises mais aprofundadas, visando compreender como as mesmas se portam frente as relações a/c estabelecidas e como cada parâmetro variável pode ter influenciado nos resultados obtidos. Para fins de comparação, o traço B1 / SA foi fixado como referência, portanto, todos os demais foram comparados com esse. É importante salientar que, a escolha do “traço referência” é impulsionada pelo fato que o agregado graúdo utilizado na sua composição é o mais comumente empregue na produção de concretos em nossa região.

Sabendo que a resistência à compressão de um determinado traço é dada pela média das resistências de cada CP, havia a preocupação de que uma única resistência inferior pudesse comprometer a média daquele traço, conseqüentemente, afetar a credibilidade dos resultados. Para avaliar essa questão, os dados foram submetidos a uma análise estatística denominada ANOVA, que verifica se existem diferenças estatisticamente significativas entre as resistências dos diferentes traços. Constatadas essas diferenças, os valores foram então analisados pelo teste de Tukey, que, com base nos resultados da ANOVA, permite determinar se as resistências de dois traços podem ou não serem considerados estatisticamente iguais. É importante salientar que para essa análise estatística utilizou-se a ferramenta Excel.

Para a absorção de água, índice de vazios e massa específica a análise foi menos abrangente e visou apenas em compreender como essas propriedades comportam-se com o aumento da relação a/c, destacando a importância das mesmas para a durabilidade do concreto.

Por fim, foi plotada uma curva semelhante à de Abrams, relacionando a resistência à compressão com a relação a/c, tomando como base o traço de melhor desempenho. Além disso, para uma mesma resistência de dosagem, foram determinadas as relações a/c a partir das duas curvas, levantando hipóteses sobre os resultados caso o teor de argamassa no traço de referência não tivesse sido ajustado. Diante disso, idealizou-se um modelo de dosagem objetivando otimizar o método da ABCP, por meio da utilização de coeficientes determinados a partir de diversas dosagens. Tais coeficientes correspondem à razão entre a proporção de cimento, areia e água determinada após o ajuste no teor de argamassa na dosagem e a proporção do mesmo insumo encontrada na dosagem convencional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, é realizada a apresentação e discussão dos resultados obtidos com base nos métodos e procedimentos descritos anteriormente, destacando as principais considerações relacionadas aos objetivos do trabalho.

4.1 Apresentação do consumo de materiais

As quantidades apresentadas na Tabela 3 representam o consumo de materiais por metro cúbico de concreto e correspondem aos traços utilizados como base na determinação das quantidades finais, ou seja, aquelas empregadas na produção dos traços. Observa-se que, a escolha da brita 0 como agregado graúdo na mistura resulta em um maior consumo de cimento, agregado miúdo e água. Por outro lado, há uma redução no consumo de agregado graúdo por m³ de concreto. Isso ocorre pelo fato que a brita 0 apresenta uma maior área de superfície em comparação com a brita 1, necessitando uma maior quantidade de pasta de cimento para envolver todo o agregado.

Tabela 3 - Consumo de materiais utilizados como base na determinação das quantidades finais

Quantidades por m ³ de concreto							
TB-1				TB-2			
Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)
489,36	839,42	749,25	230,00	436,17	710,83	1013,20	205,00

Fonte: Autoria própria (2025)

Na Tabela 4 são apresentadas novas quantidades, indicando o consumo de materiais por metros cúbicos de concreto após o ajuste no teor de argamassa. Ou seja, tais proporções resultam em uma mistura com teor de argamassa de 57%. Na mistura em que o agregado graúdo é a brita 0, houve uma redução no consumo de cimento e de agregado miúdo por metro cúbico de concreto para que se atinja o teor de argamassa desejado. Por outro lado, o traço com brita 1 apresenta um aumento no consumo desses materiais. Portanto, esse ajuste é essencial para garantir o teor de argamassa ótimo na mistura, de modo que as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto endurecido, não sejam comprometidas.

Tabela 4 - Traços ajustados para o teor de argamassa desejado

Quantidades por m ³ de concreto							
TB-1				TB-2			
Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)
365,77	627,42	749,25	230,00	510,73	832,35	1013,20	205,00

Fonte: Autoria própria (2025)

Na Tabela 5 são apresentadas as quantidades definitivas de materiais por metro cúbico de concreto de acordo com cada relação a/c adotada no estudo. Observa-se que, a única diferença em relação às últimas proporções obtidas é o consumo de água, que aumenta com a relação a/c. Esse efeito influencia diretamente as propriedades do concreto, tanto no estado fresco quanto no endurecido, podendo somente ser compreendido por meio de ensaios, como o de consistência, resistência à compressão, absorção de água, entre outros.

Tabela 5 - Traços definitivos para cada relação a/c

a/c	Quantidades por m ³ de concreto							
	TB-1				TB-2			
	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Água (kg)	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)
0,40				146,31				204,29
0,45				164,60				229,23
0,50	365,77	627,42	749,25	182,88	510,73	832,35	1013,20	255,37
0,55				201,17				280,90
0,60				219,46				306,44

Fonte: Autoria própria (2025)

Por fim, as quantidades de materiais necessárias para a produção de cinco CPs são apresentadas pela Tabela 6. Tais proporções são mostradas em função dos traços variáveis e das relações a/c fixadas no estudo.

Com base nas moldagens realizadas, tem-se que o percentual de 20% destinado às perdas foi eficiente, exceto para as misturas cujo agregado graúdo é a brita 0. Nesses casos, observou-se uma queda no rendimento da mistura com o aumento da relação a/c, o que ficou evidente a partir da terceira relação a/c estabelecida, quando a moldagem do quinto CP não foi possível. Na quarta e quinta relação a/c, o percentual considerado foi de 30%, e mesmo assim,

o quinto CP não teve seu volume totalmente ocupado, sendo estes destinados ao ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica.

Tabela 6 - Quantidades de materiais utilizadas em cada moldagem

Identificação do traço	a/c	Insumos						
		Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	Aditivo (g)	
B1 / SA	0,40	4,81	7,84	-	9,55	1,93	-	
	0,45					2,17		
	0,50					2,41		
	0,55					2,65		
	0,60					2,89		
B1 / CA	0,40	4,81	7,84	-	9,55	1,93	9,91	
	0,45					2,17		
	0,50					2,41		
	0,55					2,65		
	0,60					2,89		
B0 / SA	0,40	3,45	5,91	7,06	-	1,38	-	
	0,45					1,55		
	0,50					1,72		
	0,55	3,73	6,41	7,65		2,05		
	0,60					2,24		
BO + B1 / SA	0,40	4,81	7,84	2,87	6,69	1,93	-	
	0,45					2,17		
	0,50					2,41		
	0,55					2,65		
	0,60					2,89		

Fonte: Autoria própria (2025)

Esse fato é justificado pela melhor acomodação das partículas entre si, tornando o concreto mais coeso e compactado. Atrelado a isso, há um maior consumo de materiais. Acredita-se que, com um percentual adicional de 35 a 40% para perdas, seria possível a moldagem de todos os CPs. No contexto prático, isso podendo até impactar diretamente o orçamento da obra, podendo até inviabilizar a utilização desse insumo como agregado graúdo na mistura.

4.2 Propriedades dos concretos produzidos

4.2.1 Consistência

Na Tabela 7 apresenta-se as consistências dos concretos produzidos e determinadas por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone. Os valores, expressos em milímetros, estão organizados conforme a identificação do traço e a respectiva relação a/c utilizada na mistura.

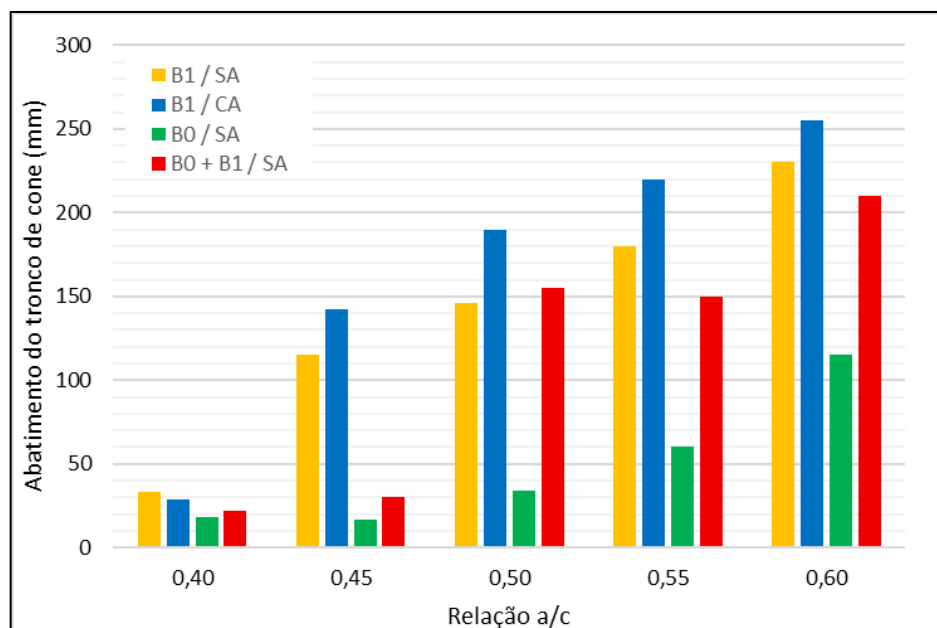
Tabela 7 - Consistência dos concretos confeccionados (mm)

Identificação do traço	Relação a/c				
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
B1 / SA	33,0	115,0	146,0	180,0	230,0
B1 / CA	29,0	142,0	190,0	220,0	255,0
BO / SA	18,0	17,0	34,0	60,0	115,0
BO + B1 / SA	22,0	30,0	155,0	150,0	210,0

Fonte: Autoria própria (2025)

Os referidos valores de consistência são ilustrados no Gráfico 1, possibilitando uma melhor visualização do comportamento da consistência com o aumento da relação a/c, além de facilitar a comparação dos resultados entre os traços para uma mesma relação a/c.

Gráfico 1 - Consistência dos concretos de acordo com a relação a/c da mistura



Fonte: Autoria própria (2025)

Ao analisar os dados acima, é nítido que o comportamento da consistência em função das relações a/c estabelecidas no estudo segue um padrão. No geral, observa-se que o abatimento sofrido pelo concreto cresce com o aumento da relação a/c, o que já era esperado. Isso ocorre porque, com mais água na mistura, o concreto se torna mais fluido e isso facilita o desmoronamento do cone durante o ensaio de abatimento, o que eleva o valor da consistência.

A comparação entre todos os traços e o traço fixado como referência nos proporciona uma visão sobre a influência de cada parâmetro variável na propriedade estudada. No traço referência é observado um aumento progressivo da consistência conforme a relação a/c se eleva, contemplando valores de 33,0 a 230,0 mm. A partir da comparação dos demais traços com esse, têm-se as seguintes considerações:

- B1 / CA: Esse traço apresenta um comportamento semelhante ao traço referência, porém com consistências mais elevadas. Esse efeito é atribuído à presença do aditivo na mistura, que, mantendo a mesma quantidade de água, modifica a consistência do concreto.
- B0 / SA: Esse traço apresenta consistências bem menores que no traço referência. Isso pode indicar que a utilização da brita 0 como agregado graúdo na mistura torna o concreto mais coeso após compactado, o que se dá devido a melhor acomodação das partículas, resultando na redução na consistência do concreto.
- B0 + B1 / SA: Nesse traço, as consistências obtidas também são menores que as do traço referência, não sendo relativamente tão discrepantes os valores. Provavelmente essa redução observada na consistência esteja atribuída a porção de brita 0 presente na mistura, pelo mesmo motivo já comentado na comparação do traço anterior.

Diante do que foi apresentado e discutido, é nítido o quanto a substituição total ou parcial de um insumo na composição do concreto pode impactar na sua consistência. Isso destaca a importância de se empregar sempre os materiais especificados no projeto, assegurando que a consistência requerida na obra não seja comprometida.

4.2.1.1 Classificação dos concretos

No Quadro 1 os concretos produzidos são classificados de acordo com seus respectivos valores de consistência. As siglas apresentadas correspondem às classes indicadas pela NBR 8953 (ABNT, 2015) e são mostradas conforme a composição do traço e a respectiva relação a/c utilizada na mistura.

Quadro 1 - Classificação dos concretos quanto a consistência

Identificação do traço	Relação a/c				
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
B1 / SA	S10	S100	S100	S160	S220
B1 / CA	S10	S100	S160	S220	S220
BO / SA	S10	S10	S10	S50	S100
BO + B1 / SA	S10	S10	S100	S100	S160

Fonte: Autoria própria (2025)

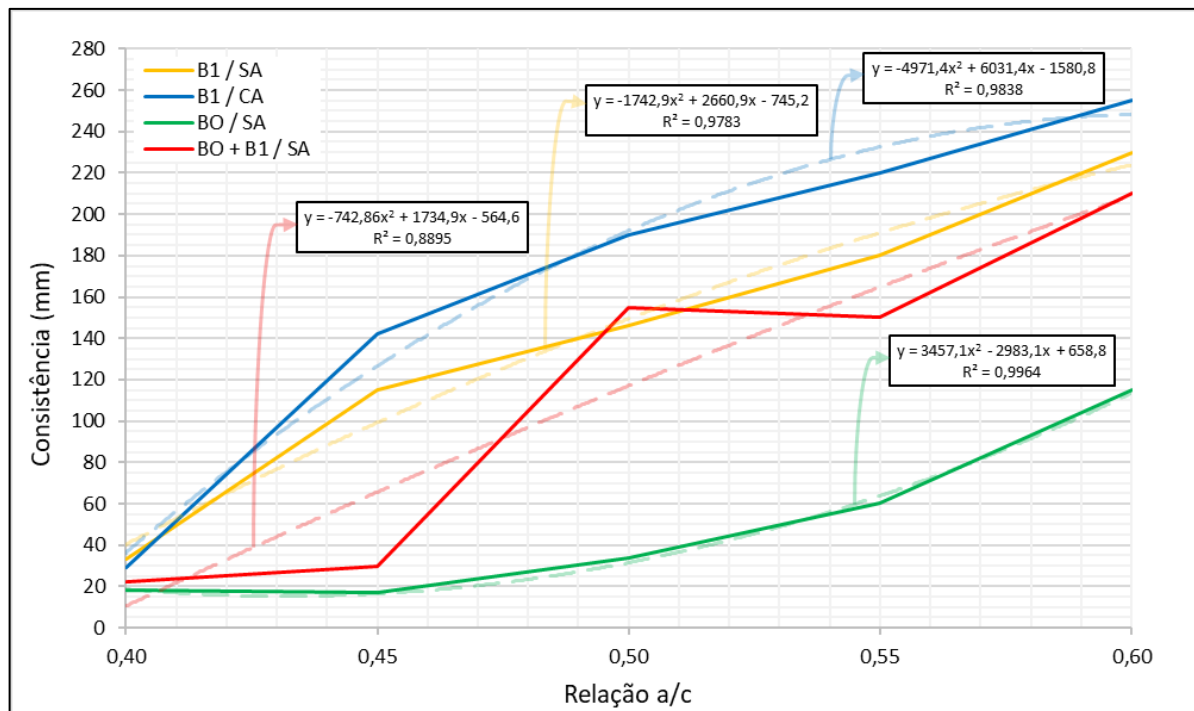
Dentre as misturas analisadas, observa-se que 35% dos concretos correspondem a classe S10, 5% a classe S50, 30% a classe S100, 15% a classe S160, e 15% a classe S220. A principal parcela dos concretos produzidos, ou seja, os da classe S10, apresenta uma consistência seca. Concretos com essa característica são normalmente empregados em situações que exigem maior controle da fôrma, como na fabricação de pré-moldados, por exemplo. Os concretos da classe S50 têm consistência mais plástica, sendo sua aplicação típica voltada para obras onde a trabalhabilidade é essencial, como em fundações e moldagens manuais. As demais classes apresentadas são caracterizadas por consistências mais elevadas, ou seja, são concretos mais fluídos. Normalmente, são utilizados na moldagem de diversos elementos estruturais, onde a fôrma, o método de lançamento e a taxa de armadura são fatores a serem considerados.

Diante do que foi abordado, é nítido que as misturas produzidas contemplam uma diversidade de aplicações, desde as que exigem concretos mais densos até as que requerem concretos mais fluídos. Um ponto que chama a atenção é que, independentemente da composição do traço, para uma relação a/c de 0,40, as consistências obtidas sempre pertenceram à classe S10 (essa observação pode servir como um indicativo útil na dosagem, especialmente quando se busca concretos que se enquadrem nessa classe). O oposto também pode ser observado para a relação a/c de 0,55, na qual todos os concretos pertencem a classes de consistência distintas. Com isso, conclui-se que a relação a/c não domina com 100% de precisão a classe de consistência de um traço, mas sim precisa-se levar em consideração também a granulometria do agregado utilizado e o uso ou não de aditivos.

4.2.1.2 Curvas consistência x relação a/c

No Gráfico 2, são apresentadas curvas de consistência versus relação a/c. Cada traço possui uma curva própria, baseada nos valores de consistência do concreto medidos em função de cada relação a/c fixada no estudo.

Gráfico 2 - Curvas de consistência x relação a/c



Fonte: Autoria própria (2025)

O modelo apresentado se configura como uma ferramenta de dosagem prática, onde a relação a/c utilizada na mistura pode ser determinada em função da consistência requerida. Contudo, para reproduzir a consistência desejada, é fundamental empregar os mesmos materiais e a mesma proporção do traço correspondente à curva utilizada. É importante salientar que a utilização dessas curvas se limita a misturas específicas, em que a única especificação é a consistência.

O traço BO + B1 / SA apresentou a menor correlação ($R^2 = 0,8895$) no ajuste da curva de consistência x relação a/c, o que pode ser atribuído à maior dispersão dos dados experimentais, resultando em uma representação menos precisa pela equação polinomial.

4.2.2 Resistência à compressão

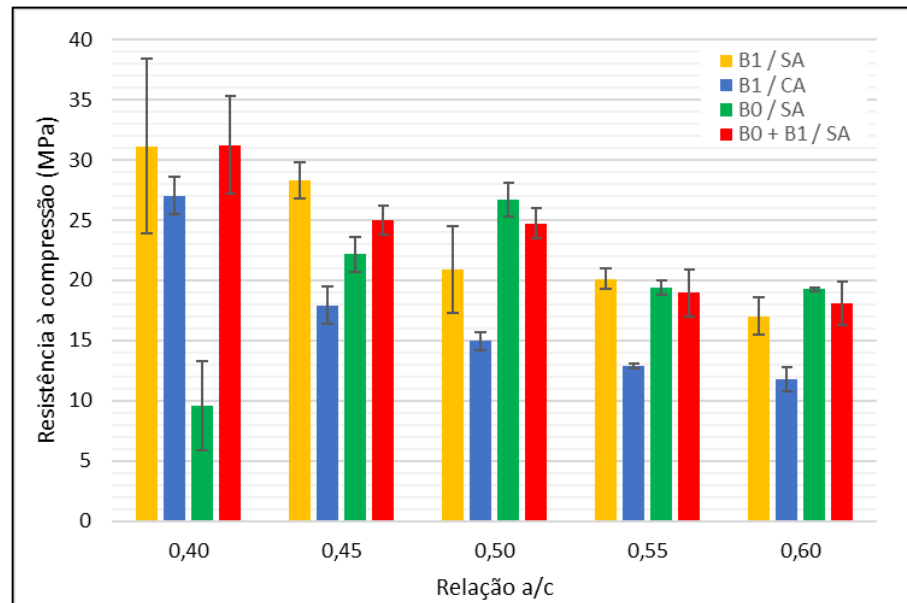
A Tabela 8 indica as resistências médias dos concretos confeccionados, obtidas por meio do ensaio de resistência à compressão axial. Os referidos valores, apresentados em MPa, estão expostos de acordo com a composição do traço e a respectiva relação a/c utilizada na mistura.

Tabela 8 - Resistência à compressão média de cada concreto (MPa)

Identificação do traço	Relação a/c	Resistência à compressão (MPa)	Desvio padrão (%)	CV (%)
B1 / SA	0,40	31,14	7,27	23,3
	0,45	28,29	1,49	5,3
	0,50	20,89	3,62	17,3
	0,55	20,10	0,86	4,3
	0,60	17,03	1,59	9,3
B1 / CA	0,40	27,03	1,54	5,7
	0,45	17,92	1,57	8,8
	0,50	14,95	0,73	4,9
	0,55	12,92	0,20	1,5
	0,60	11,78	1,04	8,8
B0 / SA	0,40	9,59	3,67	38,2
	0,45	22,16	1,46	6,6
	0,50	26,72	1,39	5,2
	0,55	19,21	0,57	3,0
	0,60	19,26	0,17	0,9
B0 + B1 / SA	0,40	31,22	4,04	12,9
	0,45	25,02	1,18	4,7
	0,50	24,71	1,25	5,0
	0,55	18,96	1,93	10,2
	0,60	18,06	1,79	9,9

Fonte: Autoria própria (2025)

As resistências à compressão são apresentadas no Gráfico 3, permitindo uma melhor visualização do comportamento dessa propriedade com o aumento da relação a/c e facilitando a comparação dos resultados entre os traços para uma mesma relação a/c.

Gráfico 3 - Resistência dos concretos de acordo com a relação a/c da mistura

Fonte: Autoria própria (2025)

Diante da análise dos dados acima, observa-se que, geralmente a resistência à compressão do concreto tende a diminuir à medida que a relação a/c aumenta. Isso ocorre porque uma maior quantidade de água na mistura torna o concreto mais poroso quando endurecido, comprometendo sua resistência à compressão.

Um ponto que chama atenção é que, em quase todos os traços, o coeficiente de variação (CV) se apresenta significativamente mais alto quando a relação a/c da mistura é igual a 0,40. Sabendo-se que misturas com essa relação água/cimento são mais secas, como corroborado pelas suas respectivas consistências, sugere-se que a maior dispersão nos resultados tenha sido causada pela quantidade de água presente na mistura, que dificultou a homogeneidade das amostras. Na Tabela 9, são apresentados os resultados da ANOVA, para identificar se as amostras apresentam diferença estatisticamente significativas entre elas.

Tabela 9 - Resultado da análise estatística (ANOVA)

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Amostra	480,160	3	160,053	26,237	1,51E-09	2,838
Colunas	601,095	4	150,273	24,634	2,47E-10	2,605
Interações	1085,315	12	90,442	14,826	3,84E-11	2,003
Dentro	244,007	40	6,100	Nível de significância de 5%		
Total	2410	59				

Fonte: Autoria própria (2025)

Conforme os resultados da ANOVA, observa-se que os valores de P são menores que o nível de significância adotado na análise e que os valores de F são superiores ao valor crítico. Portanto, conclui-se que existem, pelos menos, dois traços com resistência à compressão média significativamente diferentes dentro de uma mesma relação a/c.

A Tabela 10 apresenta os resultados do teste de Tukey, que tem como objetivo identificar quais médias de resistência à compressão diferem ou são estatisticamente iguais dentro de uma mesma relação a/c. Dois valores são considerados estatisticamente iguais quando o módulo das suas médias for igual ou inferior à diferença mínima significativa (DMS) calculada. Além disso, são apresentadas apenas as comparações em que o traço de referência está presente.

Tabela 10 - Resultado do teste de Tukey para o traço referência

a/c	Comparação	Média 1	Média 2	Módulo da média
0,40	B1 / SA x B1 / CA	31,14	27,03	4,11
	B1 / SA x B0 / SA	31,14	9,59	21,55
	B1 / SA x BO + B1 / SA	31,14	31,22	0,08
0,45	B1 / SA x B1 / CA	28,29	17,92	10,38
	B1 / SA x B0 / SA	28,95	22,16	6,17
	B1 / SA x BO + B1 / SA	28,29	25,07	3,28
0,50	B1 / SA x B1 / CA	20,89	14,95	5,94
	B1 / SA x B0 / SA	20,89	26,72	5,84
	B1 / SA x BO + B1 / SA	20,89	24,75	3,83
0,55	B1 / SA x B1 / CA	20,10	12,92	7,19
	B1 / SA x B0 / SA	20,10	19,35	0,75
	B1 / SA x BO + B1 / SA	20,10	18,96	1,15
0,60	B1 / SA x B1 / CA	17,03	11,78	5,25
	B1 / SA x B0 / SA	17,03	19,26	2,22
	B1 / SA x BO + B1 / SA	17,03	18,06	1,02

Fonte: Autoria própria (2025)

Os valores do teste de Tukey para uma DMS de 5,40, nos permitem ter uma noção de como os parâmetros variáveis influenciam a resistência média à compressão do concreto em comparação ao traço de referência. Com isso, têm-se as seguintes considerações:

- B1 / SA x B1 / CA: Nessa comparação, a resistência à compressão média dos concretos são consideradas iguais apenas para as relações a/c de 0,40 e 0,60. Porém, acredita-se que o aditivo utilizado no traço B1 / CA não funcionou perfeitamente em todas as

moldagens, uma vez que sua finalidade é modificar a consistência da mistura sem comprometer a resistência à compressão. Tais motivos podem estar relacionados ao tipo do aditivo, segregação dos materiais, tempo de mistura e até qualidade do aditivo.

- B1 / SA x B0 / SA: Observa-se que a resistência à compressão dos concretos é igual apenas nas relações a/c de 0,55 e 0,60. Isso pode indicar que a brita 0, por apresentar uma maior área de contato, demanda uma maior quantidade de água para umedecer toda sua superfície. Acredita-se que, nas relações a/c iniciais, a água disponível não tenha sido suficiente para essa finalidade, impossibilitando a hidratação adequada do cimento e, conseqüentemente, comprometendo a resistência à compressão.
- B1 / SA x B0 + B1 / SA: Esses dois traços apresentam comportamento semelhante e, conforme observado, a média das resistências à compressão de ambos pode ser considerada igual em todas as relações a/c analisadas. No entanto, é evidente que a mistura da brita 0 com a brita 1 traz benefícios para o traço, o que pode ser comprovado pelos valores bem mais aceitáveis de desvio padrão e CV, indicando uma melhor uniformidade das amostras. Tal fato é atribuído à mistura da brita 0 com a brita 1, na qual os vazios entre as partículas da brita 1 tendem a ser preenchidos pela brita 0, tornando a composição mais homogênea e compacta, colaborando para sua resistência e durabilidade.

Diante do exposto, evidencia-se que, para uma mesma relação a/c, a substituição total ou parcial de um insumo na composição do traço pode ou não influenciar na resistência à compressão do concreto, dependendo também da quantidade de água na mistura, como observado para o traço BO / SA. Por esse motivo, quando essa propriedade for uma especificação de projeto, é fundamental que a relação a/c estabelecida para a mistura seja rigorosamente respeitada.

4.2.2.1 Classificação dos concretos

No Quadro 2, os concretos produzidos são classificados com base em sua resistência à compressão aos 28 dias. Essa classificação fundamenta-se nos grupos I e II definidos pela NBR 8953 (ABNT, 2015) e está organizada conforme a composição do traço e a relação a/c utilizada na mistura, sendo: BR para baixa resistência, RN para resistência normal e AR para alta resistência.

Quadro 2 - Classificação dos concretos quanto a resistência à compressão

Identificação do traço	Relação a/c				
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
B1 / SA	RN	RN	RN	RN	BR
B1 / CA	RN	BR	BR	BR	BR
BO / SA	BR	RN	RN	BR	BR
BO + B1 / SA	RN	RN	RN	BR	BR

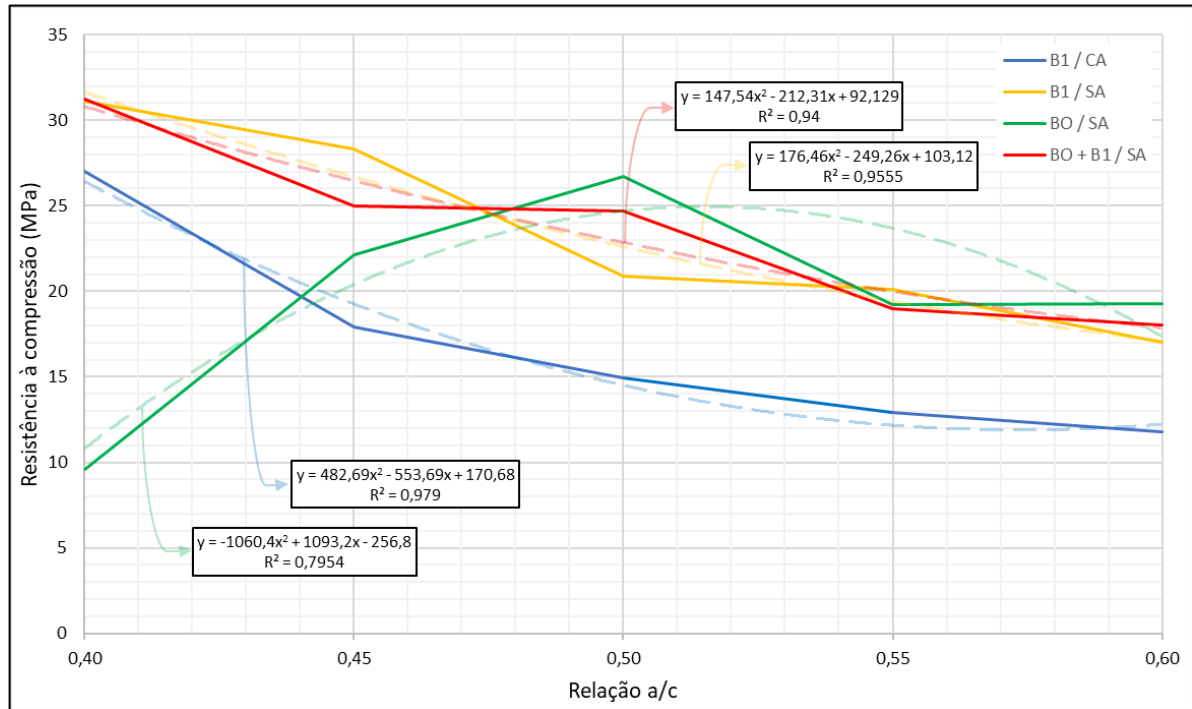
Fonte: Autoria própria (2025)

A classificação dos concretos quanto à resistência à compressão indica que 50% das misturas enquadram-se como de baixa resistência, 50% como de resistência normal e 0% como de alta resistência. Uma vez que os concretos de baixa resistência, conforme a norma, não possuem finalidade estrutural, eles são amplamente utilizados em aplicações de baixas solicitações, como calçadas, alguns pavimentos de baixo tráfego, entre outros. Já os concretos de resistência normal, que contemplam resistências entre 20 e 50 MPa, estão presente em maioria dos elementos estruturais como fundações, pilares, vigas e lajes.

Com isso, todos os concretos produzidos podem ser normalmente utilizados no nosso meio, sendo a sua aplicação dependente da finalidade da obra. É importante ressaltar que para a relação a/c de 0,60 todos os concretos produzidos foram de baixa resistência e, portanto, não possuem finalidade estrutural. Essa observação pode ser útil na dosagem, indicando que essa relação a/c deve ser descartada quando se busca resistências mais satisfatórias.

4.2.2.2 Curvas resistência x relação a/c

O Gráfico 4 apresenta curvas de resistência à compressão versus relação a/c. Cada traço possui uma curva própria, fundamentada nas resistências à compressão média obtidas para cada relação a/c fixada no estudo.

Gráfico 4 - Curvas de resistência à compressão versus relação a/c

Fonte: Autoria própria (2025)

As curvas apresentadas caracterizam-se como uma ferramenta de grande utilidade na dosagem do concreto, podendo ser utilizadas para determinar a relação a/c na mistura, de acordo com a resistência à compressão desejada. No entanto, é essencial que sejam utilizados os mesmos materiais e proporções do traço representado pela curva escolhida. É importante salientar que a utilização dessas curvas restringe-se a misturas em que a única especificação seja a resistência do concreto.

4.2.3 Absorção, índice de vazios e massa específica

Na Tabela 11, são apresentados os valores de absorção, índice de vazios e massa específica de cada concreto produzido. Tais valores são mostrados em função da composição do traço e respectiva relação a/c utilizada na mistura.

Tabela 11 - Absorção, índice de vazios e massa específica de cada concreto

Identificação do traço	Relação a/c	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (kg/m³)
B1 / SA	0,40	5,8	13,1	2250,0
	0,45	7,1	15,7	2220,0
	0,50	6,9	15,2	2210,0
	0,55	7,4	16,3	2200,0
	0,60	8,1	17,6	2180,0
B1 / CA	0,40	5,1	11,2	2210,0
	0,45	7,1	14,7	2050,0
	0,50	7,0	14,2	2030,0
	0,55	7,8	15,9	2030,0
	0,60	9,0	18,1	2010,0
B0 / SA	0,40	9,1	18,4	2030,0
	0,45	7,9	16,7	2120,0
	0,50	7,6	16,3	2160,0
	0,55	7,4	15,8	2140,0
	0,60	11,9	24,5	2060,0
B0 + B1 / SA	0,40	6,4	14,1	2200,0
	0,45	6,8	14,8	2190,0
	0,50	7,4	16,2	2190,0
	0,55	6,4	14,0	2190,0
	0,60	8,2	17,7	2160,0

Fonte: Autoria própria (2025)

Os dados mostram que, em geral, a absorção de água e o índice de vazios aumentam com o aumento da relação a/c, enquanto a massa específica do concreto diminui. Isso ocorre porque a água na mistura favorece a formação de poros no concreto endurecido. Com mais poros, a massa específica diminui, pois parte do volume é ocupado pelo ar. Como a água é mais densa que o ar, ela tende a preencher os poros, o que explica a maior capacidade de absorção.

4.2.3.1 Classificação dos concretos

No Quadro 3, os concretos produzidos são classificados de acordo com a absorção, o índice de vazios e a massa específica. Essa classificação segue as diretrizes da *International Tunnelling Association* (1993) e da NBR 8953 (ABNT, 2015). As classificações apresentadas estão organizadas em função do traço e da relação a/c utilizada na mistura.

Quadro 3 - Classificação dos concretos quanto absorção, índice de vazios e massa específica

Identificação do traço	Relação a/c	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (kg/m³)
B1 / SA	0,40	Excelente	Excelente	CN
	0,45	Tolerável	Boa	
	0,50			
	0,55		Razoável	
	0,60			
B1 / CA	0,40	Excelente	Excelente	CN
	0,45	Tolerável	Boa	
	0,50			
	0,55		Razoável	
	0,60			
B0 / SA	0,40	Ruim	Razoável	CN
	0,45	Tolerável	Boa	
	0,50			
	0,55		Ruim	
	0,60			
B0 + B1 / SA	0,40	Tolerável	Boa	CN
	0,45			
	0,50			
	0,55			
	0,60		Razoável	

Fonte: Autoria própria (2025)

A classificação dos concretos quanto à absorção de água revelou que 10% das amostras são classificadas como excelentes, 10% como ruins e 80% como toleráveis. Em relação ao índice de vazios, 10% das amostras foram classificadas como excelentes, 65% como boas, 20% como razoáveis e 5% como ruins. Já quanto à massa específica, todas as amostras foram enquadradas na categoria de concreto normal (CN).

Sabendo que tais propriedades analisadas estão interligadas, os resultados obtidos para a absorção de água indicam um desempenho intermediário das amostras, que é corroborado pelos resultados encontrados para o índice de vazios. Acredita-se que os principais fatores que possam ter influenciado esses resultados sejam a distribuição granulométrica do agregado graúdo e a relação a/c utilizada na mistura, visto que, além da facilidade de acomodação das partículas, a fluidez da pasta é essencial para uma compactação eficiente. Apesar disso, todas

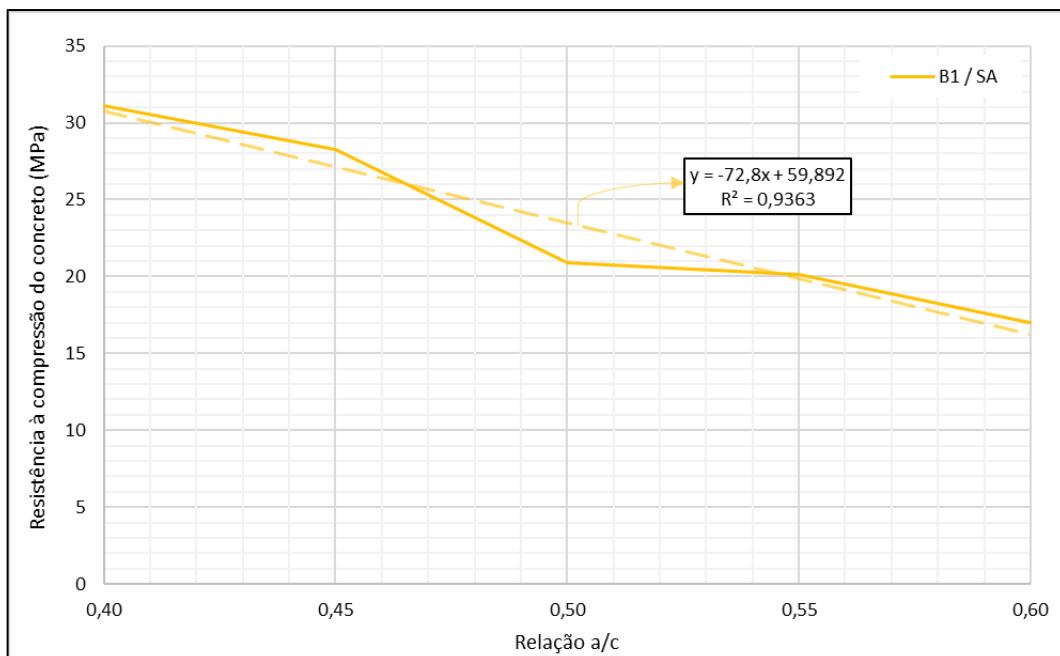
as amostras apresentaram uma densidade satisfatória, conforme esperado, visto que os materiais empregados são comumente utilizados em concretos convencionais.

Os resultados obtidos indicam que todos os concretos produzidos apresentam uma durabilidade relativamente satisfatória, podendo ser comumente empregados em uma diversidade de obras da construção civil. No entanto, é importante destacar que devem ser evitados em ambientes com exposição agressiva, onde as exigências de durabilidade são mais severas, pois as características de absorção de água e índice de vazios podem comprometer o desempenho do material ao longo do tempo.

4.3 Análise comparativa para eficiência de dosagem

O Gráfico 5 apresenta uma curva semelhante à de Abrams, ajustada ao traço que obteve o melhor desempenho, que, neste caso, corresponde ao traço B1 / SA. É importante enfatizar que, nesse modelo a resistência de dosagem não precisa ser ajustada podendo-se utilizar direto a curva para determinar a relação a/c de dosagem.

Gráfico 5 - Curva de Abrams adaptada do traço referência

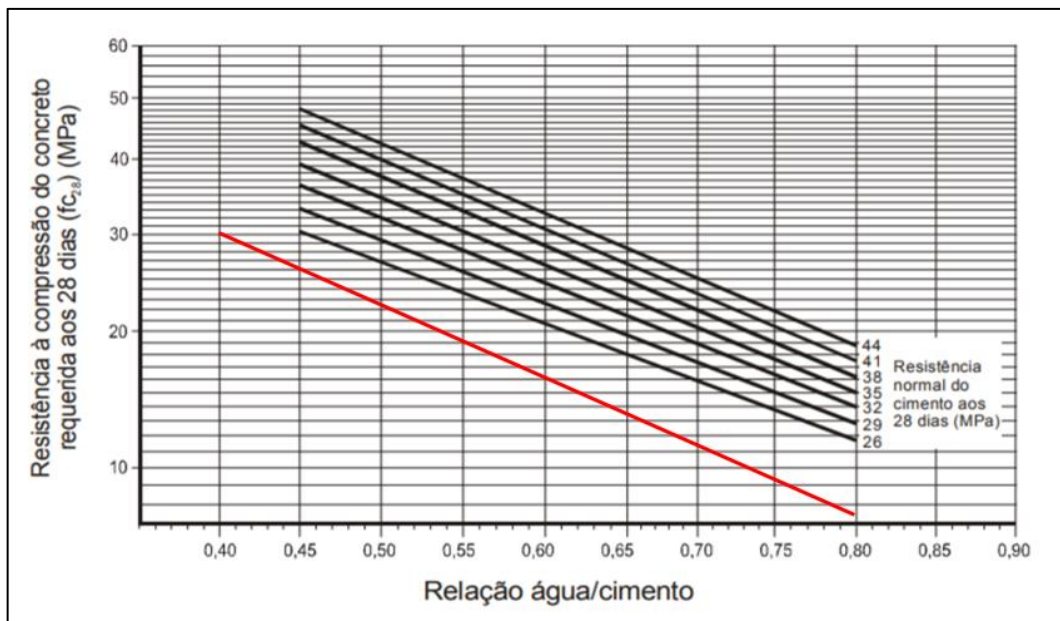


Fonte: Autoria própria (2025)

A Figura 16 ilustra a sobreposição da curva do traço referência e as curvas de Abrams, obtida ligando-se dois pontos conhecidos da reta. Observa-se que, a inclinação das curvas é

semelhante, porém as resistências indicadas pela curva do traço referência são inferiores. Essa análise evidencia que as curva de Abrams superestimam as resistências à compressão para cada relação a/c levando em conta os materiais da região estudada. Mesmo com o ajuste realizado por meio da equação para se obter a resistência de dosagem, essa superestimação pode não ser compensada, e pode conduzir a mistura a um desempenho abaixo do esperado.

Figura 16 - Sobreposição da curva do traço referência com as de Abrams para fins de comparação



Fonte: Adaptado de Telluria (2023)

Ao realizar uma dosagem pelo método da ABCP para uma resistência de 25 MPa, observa-se que a relação a/c da mistura é de 0,48 quando se utiliza a curva do traço de referência. Por outro lado, ao empregar a Equação (7) para determinar a resistência de dosagem e utilizar a curva de Abrams para um cimento de resistência normal de 32 MPa, a relação a/c obtida é de 0,47.

Considerando que o traço de referência foi dosado pelo método da ABCP e que foi necessário ajustar o teor de argamassa para alcançar as resistências que compõem a curva, presume-se que, sem esse ajuste, a resistência desejada não teria sido atingida. Isso pode indicar que os agregados considerados pelo método de dosagem da ABCP não contemplam as características dos agregados regionais.

Na Tabela 12, são apresentadas as resistências e as respectivas relações a/c contempladas pela curva do traço referência. Além disso, estão indicados os coeficientes a

serem aplicados nas quantidades obtidas para o cimento, areia e água, com o objetivo de compensar o ajuste do teor de argamassa considerado no traço referência.

Tabela 12 - Coeficientes aplicáveis as quantidades de cimento, areia e água para ajustar o teor de argamassa na mistura

Resistência (MPa)	Relação a/c	Coeficientes		
		Abatimento do tronco de cone (mm)		
		40 a 60	60 a 80	80 a 100
16,0	0,600	1,1627	1,1746	1,1867
17,0	0,590	1,1618	1,1736	1,1857
18,0	0,565	1,1595	1,1712	1,1831
19,0	0,560	1,1590	1,1706	1,1826
20,0	0,550	1,1579	1,1696	1,1814
21,0	0,535	1,1563	1,1540	1,1797
22,0	0,520	1,1546	1,1661	1,1778
23,0	0,508	1,1532	1,1647	1,1763
24,0	0,495	1,1516	1,1630	1,1745
25,0	0,480	1,1497	1,1609	1,1724
26,0	0,465	1,1476	1,1587	1,1701
27,0	0,450	1,1454	1,1565	1,1677
28,0	0,439	1,1437	1,1547	1,1658
29,0	0,424	1,1412	1,1521	1,1632
30,0	0,410	1,1388	1,1496	1,1605
31,0	0,400	1,1369	1,1476	1,1585

Fonte: Autoria própria (2025)

Diante do mencionado, a curva do traço de referência se apresenta como uma ferramenta útil na dosagem do concreto pelo método da ABCP, auxiliando na obtenção da resistência desejada e contemplando as consistências comumente especificadas nos projetos. É importante destacar que os coeficientes apresentados acima são fundamentais e devem ser utilizados para multiplicar as quantidades de cimento, areia e água expressas em massa.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou compreender a influência dos insumos regionais do concreto em suas principais propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido, por meio de uma análise aprofundada dos resultados dos ensaios físico-mecânicos. Além disso, constatou-se que o método de dosagem da ABCP não considera as características dos materiais disponíveis em nossa região, tornando necessário o ajuste do teor de argamassa no traço para se obter a resistência à compressão e o abatimento desejados.

Os ensaios de consistência do concreto mostraram que, de forma geral, essa propriedade depende da quantidade de água na mistura, mas que os materiais empregados na composição do concreto também apresentam influência. Independentemente dos materiais utilizados, relações a/c de 0,40 sempre resultam em misturas de consistência seca, com abatimento entre 10 e 50 mm. No entanto, a partir da relação a/c de 0,45, os insumos empregados na mistura começam a influenciar significativamente o abatimento do concreto. Isso se torna ainda mais evidente na relação a/c de 0,55, quando todos os concretos apresentaram consistências pertencentes a classes diferentes.

Experimentalmente, observou-se que o aditivo plastificante pode aumentar em até 30% a consistência do concreto em comparação com o mesmo traço sem sua utilização. A brita 0, por sua vez, não se mostra uma grande aliada da consistência, pois, para a maior relação a/c estabelecida no estudo, ela apresenta apenas 50% da consistência obtida com a brita 1 como agregado. A mistura de brita 0 com brita 1, como opção de agregado graúdo, mostrou que, a partir de relações a/c de 0,50, há uma tendência da consistência se igualar à observada no traço em que o agregado é exclusivamente a brita 1.

Os ensaios de resistência do concreto revelaram que a quantidade de água na mistura e os tipos de insumos empregados em sua produção produzem efeitos significativos na resistência do concreto. Para todos os tipos de insumos utilizados, as relações a/c de 0,60 sempre resultaram em resistências inferiores a 20 MPa, não atendendo à função estrutural. Por outro lado, as relações a/c de 0,40 sempre resultaram nas melhores resistências.

Entre os dois extremos de relação a/c mencionados, observa-se a influência dos materiais, sendo constatado que o aditivo comprometeu a resistência do concreto em algumas relações a/c, quando comparado com o mesmo traço sem sua utilização. A brita 0, por sua vez, não apresenta desempenho satisfatório para as relações a/c iniciais, quando comparada com o mesmo traço em que o agregado graúdo é a brita 1. Já a mistura de brita 0 com brita 1 mostrou-

se uma excelente alternativa como agregado, mantendo a mesma resistência do traço com apenas a brita 1.

A análise estatística das resistências à compressão dos concretos, realizada por meio da ANOVA e do teste de Tukey, permitiu uma avaliação mais precisa dos resultados, identificando quais resistências podem ser consideradas estatisticamente iguais. Isso facilitou a compreensão da influência dos insumos na propriedade estudada e aumentou a confiabilidade do estudo. Esse fato foi constatado na comparação dos traços B1 / SA e B0 + B1 / SA, que, embora apresentem resistências diferentes, podem ser considerados estatisticamente equivalentes, reforçando a importância dessa análise na Engenharia Civil.

Os ensaios para determinar a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica comprovam que a água incorporada na mistura torna o concreto mais poroso, o que influencia diretamente sua resistência à compressão. Isso fica evidente pelo fato de que os maiores índices de absorção de água e de vazios estão relacionados às menores resistências à compressão, e vice-versa. Embora os insumos também influenciem a porosidade, merece destaque apenas a brita 0, cuja absorção e índice de vazios apresentam significativa diferença quando comparados aos demais traços.

A curva do traço referência, proposta como ferramenta para aprimorar o método de dosagem da ABCP, representa uma contribuição significativa para a obtenção de concretos com as propriedades desejáveis no estado fresco e endurecido. Ela contempla resistências à compressão entre 16 e 31 MPa e abatimentos do tronco de cone entre 40 e 100 mm, o que a torna útil para atender a diversas exigências de projeto, adaptando-se a diferentes condições de obra e tipos de construção.

Diante da realização da pesquisa, observa-se que há uma certa deficiência de estudos relacionando os agregados regionais e suas influências nas propriedades dos concretos, assim como de estudos buscando garantir que esses materiais sejam contemplados pelos métodos de dosagem mais tradicionais. Apesar do avanço que este trabalho representa, esse tema ainda tem muito a explorar, de forma que os concretos produzidos em nossa região atendam às especificações de projeto de maneira mais simples e eficiente. Nesse sentido, como opção de trabalho futuro, pode-se realizar um estudo semelhante a este para encontrar novos coeficientes, desta vez considerando o agregado graúdo da mistura, sendo a brita 0. Além disso, pode-se pensar também em diferentes agregados miúdos, como é o caso do pó de brita, mármore, entre outros, que estão em alta na busca pela substituição do agregado miúdo mais tradicional, que, no caso, é a areia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. C. **Concreto: notas de aula da disciplina**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ALMEIDA, Laury Araujo. **Estudo sobre a influência da relação água/cimento e do uso de aditivo plastificante nas propriedades do concreto produzido com brita calcária**. 67 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. **Controle tecnológico básico do concreto**. Ilha Solteira, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do Cimento Portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768-1: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 22 p, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023. Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 221 p, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2022. Agregados para concreto - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953:2015. Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro, 3 p, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778:2005. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 3 p, 2005.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado.** Bauru: Unesp, 2023. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>
Acesso em: 05 nov. 2024.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019. v. 1.

BOGGIO, A. J. **Estudo Comparativo de Métodos de Dosagem de Concretos de Cimento Portland.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2000.

CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho.** 2007. 302 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. São Paulo: Ipsi, v.1, 2011. P. 415-452.

FONSECA, G. C. da. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: Uma abordagem epistêmica.** 2010. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural.** 1ª Ed. São Paulo: PINI, 2008.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Materiais de construção básicos. Rio Grande do Sul: Instituto Federal Sul-Rio-Grandense,** 2011.

HELENE, P.; ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland. In: MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E PRINCÍPIOS DE CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS.** São Paulo: Ed. G. C. ISAIA, 2010. v. 2.

INTERNATIONAL TUNNELLING ASSOCIATION., “Shotcrete for rock support: a summary report of the state of the art in 15 countries”, **Tunneling and Underground Space Technology.** v.8, n.4, pp. 441-470, 1993.

LOPES, H. M. T. **Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland.** 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LOPES, Herbert Medeiros Torres; PEÇANHA, Ana Carolina Corsi; CASTRO, Alessandra Lorenzetti de. **Considerações sobre a eficiência de misturas de concreto de cimento Portland com base no conceito de empacotamento de partículas.** *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, p. e-12549, 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais – 3ª edição.** Português, p. 674, 2008.

NEVILLE, A M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. *E-book*. p.[503] ISBN 9788582603666. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788582603666/>. Acesso em: 18 jan. 2025.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

RIBEIRO JÚNIOR, Enio Ribeiro. Propriedades dos materiais constituintes do concreto. **Revista Especializem**, 2015.

SALOMÃO, Pedro Emílio Amador et al. Elaboration of tables for concrete dosage based on the aggregates used in Northeast Mineiro. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 4, p. 1274305, 2018.

SILVA, Karyston Lucas. **Análise das emissões de co2 da indústria cimenteira**: Alternativas para diminuir o lançamento de dióxido de carbono decorrente da produção de cimento Portland. 2019. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Pitágoras, Londrina, 2019.

SILVA, Sara Cavalcante. **ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETO**. 79 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2023.

TUTIKIAN, B.; HELENE, P. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. *In*: ISAIA, G.C.

APÊNDICE**APÊNDICE A – Carga suportada por cada CP antes de romper-se**

Traço	Relação a/c	Carga suportada por cada CP (KN)		
		CP-1	CP-2	CP-3
B1 / SA	0,40	35,497	35,171	22,753
	0,45	29,989	27,161	27,735
	0,50	22,391	16,756	23,513
	0,55	19,860	19,398	21,058
	0,60	15,609	16,749	18,747
B1 / CA	0,40	27,618	28,201	25,284
	0,45	19,628	16,547	17,578
	0,50	14,250	15,711	14,885
	0,55	12,790	12,820	13,149
	0,60	12,937	10,918	11,487
B0 / SA	0,40	12,492	5,470	10,821
	0,45	20,476	23,113	22,889
	0,50	27,809	27,199	25,163
	0,55	19,158	19,808	18,677
	0,60	19,081	19,279	19,417
B0 + B1 / SA	0,40	31,454	27,074	35,145
	0,45	24,399	24,267	26,382
	0,50	26,124	23,752	24,269
	0,55	20,334	16,749	19,796
	0,60	18,103	16,253	19,824

APÊNDICE B – Massa da amostra seca, saturada imersa em água e saturada

Traço	Relação a/c	Massa seca – g		Massa sat. Imersa - g		Massa saturada – g	
		CP-1	CP-2	CP-1	CP-2	CP-1	CP-2
B1 / SA	0,40	3534,9	3577,7	2173,5	2194,0	3740,0	3787,0
	0,45	3527,2	3458,1	2185,2	2142,0	3773,0	3707,0
	0,50	3528,2	3469,2	2178,8	2141,0	3765,0	3714,0
	0,55	3520,7	3475,3	2182,1	2157,0	3780	3734
	0,60	3409,0	3487,2	2119,3	2168,0	3701,0	3752,0
B1 / CA	0,40	3476,4	3516,1	2075,0	2109,0	3658,0	3691,0
	0,45	3250,6	3203,4	1901,3	1869,0	3487,0	3428,
	0,50	3170,6	3212,4	1837,7	1851,0	3394,0	3437,0
	0,55	3140,7	3253,6	1833,2	1908,0	3395,0	3500,0
	0,60	3079,7	3199,5	1818,6	1904,0	3379,0	3467,0
B0 / SA	0,40	3179,0	2897,7	1895,7	1733,0	3438,0	3190,0
	0,45	3271,3	3240,0	1983,3	1969,0	3526,0	3497,0
	0,50	3428,3	-	2100,7	-	3688,0	-
	0,55	3434,3	3090,1*	2079,7	1874,0*	3687,0	3321,0*
	0,60	3118,4	2903,4*	2037,9	1782,0*	3603,0	3135,0*
B0 + B1 / SA	0,40	3479,3	3411,0	2136,0	2089,0	3693,0	3635,0
	0,45	3539,0	3438,4	2165,2	2102,0	3778,0	3671,0
	0,50	3435,1	3422,3	2126,0	2113,0	3683,0	3681,0
	0,55	3487,8	3505,9	2117,7	2134,0	3710,0	3732,0
	0,60	3407,9	3386,2	2116,2	2095,0	3674,0	3676,0