

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**FELIPE EDUARDO FERNANDE DA SILVA
SAMUEL AUGUSTO CARRIEL BATAIOTE**

**A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO MÓDULO DE FINURA DO AGREGADO
MIÚDO NATURAL NO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS**

CURITIBA

2022

**FELIPE EDUARDO FERNANDE DA SILVA
SAMUEL AUGUSTO CARRIEL BATAIOTE**

**A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO MÓDULO DE FINURA DO AGREGADO
MIÚDO NATURAL NO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS**

**The influence of the variation of the thenness module of the natural small
agregate on the behavior of conventional concrete**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Cézar Augusto Casagrande

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**FELIPE EDUARDO FERNANDE DA SILVA
SAMUEL AUGUSTO CARRIEL BATAIOTE**

**A INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DO MÓDULO DE FINURA DO AGREGADO
MIÚDO NATURAL NO COMPORTAMENTO DE CONCRETOS CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14 / Junho / 2022

Cézar Augusto Casagrande
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lidiane Fernanda Jochem
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Arthur Medeiros
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**CURITIBA
2022**

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus primeiramente pela nossa saúde, vida, coragem e aprendizados que nos fizeram seguir em frente e concluir essa jornada.

As nossas queridas famílias, principalmente a nossos pais, pela compreensão apoio desde o início.

À Emily pelo carinho, apoio, muita paciência e cobrança para concluirmos mais essa etapa.

À Larissa pela grande ajuda nas atividades práticas do laboratório.

Aos nossos amigos pelo apoio e confiança em todas as etapas de mais essa jornada.

Agradecemos também ao nosso orientador, Prof. Dr. César Augusto Casagrande, pela dedicação, paciência, respeito e conhecimentos transmitidos no auxílio da execução deste trabalho.

Por fim, à UTFPR e à HOBIMIX, pela disponibilidade dos laboratórios e materiais utilizados ao longo do trabalho.

RESUMO

Existe uma zona aceitável do módulo de finura para recebimento dos agregados nas unidades dosadoras de concreto, para o agregado miúdo natural que é na faixa de 1,6 até 1,2, podendo variar em cada empresa. Sabendo-se disso, no presente trabalho buscou analisar o impacto que a variação do módulo de finura (dentro da zona aceitável de 1,6 até 1,2 variando-se a cada 0,1). Foram produzidas composições de amostras variando-se a sua composição granulométrica, com o objetivo de verificar o impacto nos ensaios de resistência à compressão axial e na resistência à tração diametral. Verificou-se que com a diminuição do módulo de finura há um aumento da resistência à compressão, porém estatisticamente (pelo teste de TUKEY) pode-se formar 3 grupos, módulo de finura 1,6 e 1,5; módulo de finura 1,4; módulo de finura 1,3 e 1,2. Comparando o módulo de finura de 1,6 com o 1,2 obteve-se redução de 10,70% na resistência à compressão e também houve aumento de 86,13% no teor de ar aprisionado, mas no ensaio de tração os dados foram, estatisticamente, iguais, pois não houve diferença entre amostra com os diferentes módulos de finura.

Palavras-chave: módulo de finura; agregado miúdo; composição granulométrica; estado fresco; estado endurecido.

ABSTRACT

There is an acceptable fineness module zone for receiving the aggregates in the concrete batching units, for the natural fine aggregate, which is in the range of 1.6 to 1.2, which may vary in each company. Knowing this, the present work sought to analyze the impact that the variation of the fineness modulus (within the acceptable zone from 1.6 to 1.2, varying every 0.1). Sample compositions were produced by varying their granulometric composition, with the objective of verifying the impact in the tests of axial compressive strength and diametral tensile strength. It was verified that with the decrease in the fineness modulus there is an increase in the compressive strength, however statistically (by the TUKEY test) 3 groups can be formed, fineness modulus 1.6 and 1.5; fineness modulus 1.4; fineness modulus 1.3 and 1.2. Comparing the fineness modulus of 1.6 with 1.2, a reduction of 10.70% in the compressive strength was obtained and there was also an increase of 86.13% in the content of trapped air, but in the tensile test the data were, statistically equal, since there was no difference between samples with different fineness modulus.

Keywords: fineness module; fine aggregate; granulometric composition; fresh state; hardened state.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição granulométrica dos agregados graúdos	19
Figura 2 - Composição granulométrica da areia de britagem.....	20
Figura 3 - Distribuição granulométrica das composições da areia natural	22
Figura 4 – Agitador de peneiras automático.....	23
Figura 5 - Amostras das variações do agregado miúdo natural	23
Figura 6- Fluxograma de desenvolvimento do programa experimental.....	24
Figura 7 - Prensa utilizada no ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	27
Figura 9 - Abatimento do tronco de cone das misturas de concreto	29
Figura 10 – Teor de ar aprisionado e massa específica aparente x módulo de finura	29
Figura 11 – Abatimento x módulo de finura.....	31
Figura 12 - Abatimento do tronco de cone x teor de ar aprisionado.....	32
Figura 13 – Zona de fratura dos corpos de prova	33
Figura 14 - Resistência à compressão axial.....	34
Figura 15 - Resistência à tração na compressão diametral	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado	13
Quadro 2 - Parâmetros físico-químicos do cimento utilizado (CP II F-40).....	18
Quadro 3 - Teste Tukey compressão axial 7 dias	35
Quadro 4 - Teste Tukey compressão axial 28 dias	36
Quadro 5 - Teste Tukey para tração diametral 7 dias	37
Quadro 6 - Teste Tukey tração diametral 28 dias	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporção Granulométrica dos Traços.....	15
Tabela 2 - Distribuição granulométrica das variações de areia natural	21
Tabela 3 - Quantidades em massa para produção de 25 L de concreto	25
Tabela 4 – Número de amostras para os ensaios de resistência mecânica	28
Tabela 5 - ANOVA compressão axial 7 dias	35
Tabela 6 - ANOVA compressão axial 28 dias	35
Tabela 7 – ANOVA tração diametral 7 dias.....	37
Tabela 8 - ANOVA tração diametral 28 dias	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>11</i>
1.1.2	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>11</i>
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	EFEITOS DA VARIAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO ESTADO FRESCO	13
2.2	EFEITOS DA VARIAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO ESTADO ENDURECIDO	16
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	18
3.1	MATERIAIS	18
3.2	MÉTODOS	21
3.2.1	<i>Variações granulométricas da areia natural</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Série de produção</i>	<i>24</i>
3.2.3	<i>Composição do traço de concreto</i>	<i>25</i>
3.2.4	<i>Ensaio em estado fresco</i>	<i>26</i>
3.2.5	<i>Cura dos corpos de prova</i>	<i>26</i>
3.2.6	<i>Ensaio em estado endurecido</i>	<i>27</i>
3.2.7	<i>Análise estatística.....</i>	<i>28</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	RESULTADOS NO ESTADO FRESCO	29
4.2	RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO	32
4.2.1	<i>Resistência à compressão axial</i>	<i>33</i>
4.2.2	<i>Resistência À Tração Por Compressão Diametral</i>	<i>36</i>
5	CONCLUSÕES	39
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Neville (2016) afirma que os agregados são um material de construção ligado a um todo coeso por meio da pasta de cimento e não apenas por partículas inertes incorporadas no cimento. E segundo Mehta e Monteiro (2014), não se deve tratar o agregado com menos respeito do que o cimento, concluindo então a importância desse insumo no concreto.

O módulo de finura (MF) é uma grandeza adimensional e não é um indicador de partícula, porém ele indica uma espessura ou finura do agregado (miúdo ou gráudo). O módulo de finura é calculado, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), pela soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de agregado, em todas as peneiras da série normal, dividida por 100.

Se tratando de argamassas, com comportamento semelhante ao do concreto, Oliveira *et al.*, (2020) afirma que as propriedades do agregado miúdo influenciam nas propriedades da argamassa fresca e conseqüentemente nas propriedades no estado endurecido, como a retração e a permeabilidade. Segundo Haddad *et al.* (2016), com um módulo de finura menor, uma argamassa, tem uma maior demanda de água de amassamento, para então envolver todos os grãos e melhorar a consistência, por conta de uma maior superfície específica do agregado. Ainda se tratando de módulo de finura, Carasek (2007) afirma que com seu decréscimo, afeta positivamente a trabalhabilidade, pois o teor de grãos angulosos decresce também, mas mantendo a continuidade da granulometria.

O controle de aceitação do agregado miúdo (de acordo com a NBR 7211, ABNT, 2019, é o agregado que os grãos passam pela peneira de abertura 4,8 mm e são retidos na peneira de abertura 150 μm) é baseado em parâmetros máximos e mínimos, levando em consideração dois indicadores, o módulo de finura e o teor de material pulverulento. Neste caso específico, a variável abordada neste trabalho será o módulo de finura. Mesmo admitindo um intervalo de variação, há certa diferença de comportamento do material quando são analisadas amostras no limite máximo com outras no limite mínimo. Por conseqüência, há um desvio na característica aparente do concreto resultante dessa variação dentro do intervalo permitido.

Portanto, a dimensão do impacto que essa variação causa no concreto tanto no estado fresco quanto no endurecido e em quais aspectos esse impacto estará

diretamente ligado são alguns pontos de partida para o desenvolvimento desse trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da variação do módulo de finura do agregado miúdo no estado fresco e endurecido de concretos convencionais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar o impacto da variação do módulo de finura do agregado miúdo nas propriedades do concreto;
- Avaliar o desempenho no estado endurecido em função da variação do módulo de finura do agregado miúdo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O módulo de finura não entra como parâmetro de dosagem de concretos. Nesse sentido é importante analisar a influência da variação do módulo de finura do agregado miúdo natural no comportamento de concretos, não só para um concreto dosado em obra, mas principalmente para um concreto usinado que é dosado em grandes quantidades.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entende-se a importância do conhecimento de cada insumo utilizado na dosagem de um concreto e dos ensaios no estado fresco e endurecido. Logo, neste capítulo contempla uma visão geral dos efeitos da variação do agregado miúdo no estado fresco e endurecido de concretos.

Araújo *et al.*, (2020) estudaram a importância do controle dos agregados miúdos em diferentes obras de Sobral/CE. Os principais pontos abordados foram para evitar usos incorretos, maior economia, evitar problemas futuros na parte estrutural e utilização correta do insumo. Abordaram também que esse estudo só é válido para concretos estruturais, pois outros tipos de concreto não precisam de um controle rigoroso de resultados. Como cada obra armazena seus agregados de uma forma, o teor de umidade mostrou-se inconstante, sendo muitas vezes exposto a sol e chuva, além de que cada obra compra o agregado miúdo de um local e por isso acabam divergindo, gerando traços não uniformes. Por fim, ter-se um controle maior dos agregados miúdos entregues em obra é necessário apenas para as obras que produzem o concreto *in loco*.

É de extrema importância a seleção dos agregados, caso forem escolhidos de forma inadequada podem causar manifestações patológicas graves, principalmente, nas estruturas (SBRIGHI NETO, 2000). O autor enfatiza que é importante o conhecimento das propriedades e da aplicação de tecnologia na obtenção de melhores agregados em relação ao custo x benefício na produção de concretos e argamassas. Além dos critérios técnicos é preciso avaliar o custo total do produto, pois avaliando apenas o insumo pode ter um comparativo errôneo. Logo, é extremamente necessário conhecer a influência nas propriedades do concreto em relação aos agregados. No Quadro 1 é apresentada de forma simples a relação das propriedades do concreto com as características dos agregados (SBRIGHI NETO, 2000).

Quadro 1 - Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado

PROPRIEDADES DO CONCRETO	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DO AGREGADO
Resistência mecânica	Resistência mecânica
	Textura superficial
	Limpeza
	Forma dos grãos
	Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade
	Forma dos grãos
	Textura superficial
	Limpeza
	Dimensão máxima
Módulo de elasticidade	Granulometria
	Módulo de elasticidade
	Coefficiente de poisson
Resistência à derrapagem	Tendência ao polimento (abrasão)
	Textura superficial
Economia	Forma dos grãos
	Textura superficial
	Granulometria
	Dimensão máxima
	Beneficiamento requerido
	Disponibilidade

Fonte: Adaptado de Sbrighti Neto, 2000

2.1 EFEITOS DA VARIAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO ESTADO FRESCO

Compreende-se que o concreto no estado fresco é o concreto que entrou em contato com a água e ainda não deu pega. As características do concreto no estado fresco estão associadas com as propriedades do concreto no estado endurecido. Para a aplicação do concreto, as propriedades no estado fresco são de maior importância e tem extrema relevância nas resistências obtidas nos ensaios.

Para um concreto endurecido de qualidade é necessária uma mistura homogênea, com um índice de vazios baixo, para isso o concreto em seu estado fresco precisa ter as propriedades desejáveis de adensamento sem segregação e exsudação, fácil transporte e lançamento (BAUER, 1995).

Sendo o concreto uma mistura de multicomponentes, constituída de agregados (miúdo e graúdo), cimento, água e algumas adições químicas e minerais. Assim que a água é misturada aos outros insumos sólidos, começam-se as reações

químicas, se transformando em uma mistura de concreto fresco. Após um tempo dá pega e o material ganha resistência (CASTRO e LIBÓRIO, 2006).

A trabalhabilidade é uma propriedade significativa para um concreto endurecido de boa qualidade. O ensaio mais utilizado é o abatimento de tronco de cone, pois tem uma metodologia e aparelhagem simples que determinam fluidez e consistência. Martins (2008) realizou um estudo que analisou a influência das propriedades do agregado miúdo (com diferentes curvas granulométricas, módulo de finura e teor de finos) na trabalhabilidade do concreto. Foi produzido três tipos de concretos, mantendo-se constante todos os outros elementos na dosagem, e foi determinado os ensaios de abatimento do tronco de cone e a resistência à compressão. Os testes mostraram que com o aumento dos agregados com baixo teor de finos o abatimento diminuiu, concluindo que quanto menor o teor de finos do agregado, para um mesmo traço, menor foi o abatimento do concreto (MARTINS, 2008).

A principal influência do agregado miúdo em relação ao concreto é a trabalhabilidade. Sendo os principais fatores que afetam o abatimento do concreto, a quantidade de agregados total presente no traço, a proporção entre agregado miúdo e graúdo e também, as respectivas granulometrias, forma e textura das partículas (CASTRO e LIBORIO, 2006).

Conforme Ambrozewicz (2012), a composição do concreto, quantidade de água e cimento, presença de aditivos e granulometria dos agregados são características independentes da consistência e da trabalhabilidade, mas o inverso é totalmente dependente.

Segundo Sales, *et al.* (2014), estudaram argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por pó de mármore em 3 proporções (0%, 20% e 40%) com 2 traços diferentes, de 1:1:6 e 1:2:9, mas com a relação aglomerantes e agregados fixa. Foram realizados ensaios para medir a porosidade. Para o primeiro traço, com a substituição de 20% do agregado pelo pó, houve uma redução da absorção e do índice de vazios, já com a substituição de 40% houve um aumento da porosidade. Para o segundo traço, com o aumento do teor de substituição houve redução na porosidade.

Segundo Filho (2020), com o objetivo de obter um material com massa, estrutura mais densa, com menor índice de vazios e melhor desempenho de suas propriedades mecânicas produziu 4 traços, conforme Tabela 1, variando as

proporções dos agregados miúdo e graúdo, mas mantendo a relação água x cimento. Após os experimentos, concluiu-se que a granulometria teve influência direta nas propriedades do concreto. Nas misturas TI, TII e TIII as curvas granulométricas tenderam a ficar contínuas e suas massas unitárias aumentaram, mostrando que teve redução dos vazios. Com 75% de teor do agregado miúdo, no TIII, foi onde obtiveram os maiores valores de redução das características mecânicas, foi observado que o índice de vazios das misturas aumentou devido a pouca pasta de cimento, produzindo um concreto mais poroso, sem fluidez e assim dificultou seu adensamento.

Tabela 1 - Proporção Granulométrica dos Traços

Traço	Proporções dos Agregados
TR 1:2,11:2,20:0,51 Cimento, areia grossa, brita 19 mm e água.	-
TI 1:1,58:0,53:1,65:0,55:0,51 Cimento, areia grossa, areia média, brita 19 mm, brita 9,5 mm e água.	75% Areia grossa, 25% Areia média, 75% Brita 19 mm e 25% Brita 9,50 mm.
TII 1:1,055:1,055:1,10:1,10:0,51 Cimento, areia grossa, areia média, brita 19 mm, brita 9,50 mm e água.	50% Areia grossa, 50% Areia média, 50% Brita 19 mm e 50% Brita 9,50 mm.
TIII 1:0,53:1,58:0,55:1,65:0,51 Cimento, areia grossa, areia média, brita 19 mm, brita 9,50 mm e água.	25% Areia grossa, 75% Areia média, 25% Brita 19 mm e 75% Brita 9,5 mm.

Fonte: Segundo Filho, 2020

Segundo o autor, os traços TI, TII e TIII foram elaborados empiricamente com o intuito de melhorar o empacotamento das partículas, utilizando outras faixas granulométricas em sua composição, conforme a Tabela 1. Ressaltando que as proporções de cimento e a relação água x cimento foram mantidas, alterando apenas a granulometria dos agregados (SEGUNDO FILHO, 2020).

Já para um concreto de baixo consumo de cimento, Rebmann (2016) analisou a variação da granulometria e morfologia dos agregados tanto do miúdo como do graúdo. Com a aplicação de conceitos de empacotamento e dispersão das partículas foi desenvolvido um concreto com consumo relativamente baixo de ligantes. Tendo resultados de que a variação granulométrica é a mais impactante.

Weidmann (2008) analisou a influência da forma e composição granulométrica dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. Após as

análises feitas e adaptações para alguns coeficientes (de uniformidade, de forma e volumétrico) da forma dos agregados, tem-se que alterações na forma e granulometria dos agregados miúdos influenciam o desempenho do concreto. Com essas adaptações feitas, podem proporcionar uma redução no consumo de cimento mantendo uma mesma trabalhabilidade, aponta o autor. Também que o ensaio do cone invertido foi útil na avaliação de diferentes agregados para concreto, quando se avalia a condição de bombeamento.

2.2 EFEITOS DA VARIAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NO ESTADO ENDURECIDO

Sales *et al.*, (2014) realizaram ensaios no estado endurecido em dois traços (1:1:6 e 1:2:9). Os ensaios foram resistência à tração indireta, à compressão axial e módulo de elasticidade. Para o primeiro traço, com a substituição de 20% do agregado por pó, houve aumento de 10% na resistência à compressão, se comprada a 0% e para o módulo de elasticidade essa substituição foi o que obteve maior valor. Na resistência à tração houve aumento de 28,57%, já com a substituição de 40% a resistência a compressão reduziu 30% e a resistência a tração diminuiu 32,47%. Para o segundo traço, com o aumento do teor de substituição houve redução da resistência a compressão, menores resistências a tração indireta e módulo de elasticidade.

Segundo Weidmann (2008), estudando a contribuição da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto, no estado endurecido quando se manteve a relação água x cimento, os agregados miúdos de britagem proporcionaram menores resistência a compressão se comparado ao lamelares. Já na comparação fixando a resistência a compressão, observou-se que os concretos com areia de britagem com grãos mais lamelares necessitaram de um consumo de cimento maior, mas para concretos com maior consumo de cimento essa influência da forma dos agregados miúdos de britagem foi minimizada. Com as adaptações na alteração na forma e granulometria dos agregados miúdos mantiveram a resistência quando houve uma redução no consumo de cimento, aponta os autores.

Se tratando de massa específica, Ambrozewicz (2012) afirma que influencia no peso próprio das estruturas e varia conforme o processo de execução (tipo de

agregado, adensamento e quantidade de vazios). Para concretos usuais varia de 2,3 t/m³ a 2,5 t/m³.

Hansmann (2020) avaliou a influência da granulometria do agregado miúdo na resistência à compressão e no módulo de elasticidade do concreto em três traços distintos. Primeiramente, utilizando areia fina como agregado miúdo, em sequência foi utilizada areia média e por último uma areia grossa, com dois tempos de hidratação (7 e 28 dias) em 6 corpos de prova em cada. Concluindo que a granulometria da areia tem influência nas propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido, apontou também que o fato da areia grossa apresentar menores valores se tratando de resistência a compressão e a tração, deve-se ao fato da baixa existência de finos, sendo assim há uma falha no pacote granulométrico do concreto e a areia de melhor desempenho foi a média, devido a sua maior massa unitária.

Oliveira *et al.*, (2020) analisaram a influência do módulo de finura nas propriedades mecânicas de argamassas em quatro composições granulométricas diferentes com módulos de finura de 1,47; 2,05; 2,46 e 2,95, verificando que com o aumento do módulo de finura houve também um aumento no teor de ar aprisionado, diminuindo a retenção de água. Esses efeitos foram observados em relação a resistência à compressão e à flexão foram mais influenciados pela melhor distribuição granulométrica do que pela variação do módulo de finura.

Entre 1970 e 1990 foram realizados um maior número de estudos que relacionam a perda de resistência do concreto com a quantidade de ar aprisionado. Mehta e Monteiro (2014) apresentaram no seu estudo que concretos com alto consumo de cimento sofrem perda de resistência significativa com a incorporação de ar, porém concretos com baixo consumo de cimento tem outra tendência, até ganhando resistência com o ar incorporado, tendo uma compensação do efeito benéfico do ar incorporado na zona de transição, pois há melhoria na trabalhabilidade e na compacidade da mistura que refere-se ao grau de empacotamento dos agregados constituintes na mistura e intrinsecamente relacionada a sua distribuição granulométrica.

Relacionando a incorporação de ar com o módulo de elasticidade, Rebmann (2011) analisou que com a alteração da incorporação de ar, altera a quantidade de poros da matriz cimentícia no concreto, afetando então diretamente o módulo de elasticidade.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 MATERIAIS

O cimento utilizado no preparo dos concretos foi o CP II F-40 (ABNT, 2018), Portland do tipo F (adição de fíler calcário em sua composição) que atualmente é amplamente empregado na indústria da construção civil. A amostra coletada foi proveniente de um lote produzido em Balsa Nova/ PR. Os dados coletados diretamente do fornecedor contendo parâmetros químicos e físicos da amostra de cimento constam no Quadro 2.

Quadro 2 - Parâmetros físico-químicos do cimento utilizado (CP II F-40)

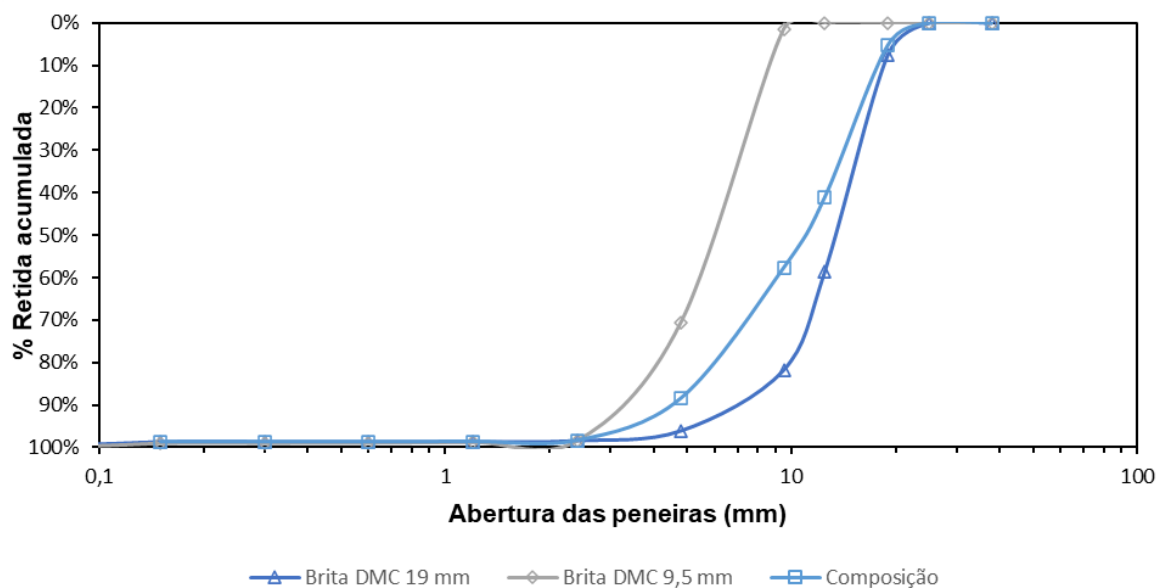
Parâmetros												
Químicos						Físicos						
Al₂O₃	SiO₂	Fe₂O₃	CaO	MgO	SO₃	Tempo de pega		Blaine	Resistência à Compressão			
						Início	Fim		1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
%	%	%	%	%	%	min	min	cm²/g	MPa	MPa	MPa	MPa
4,39	18,27	2,79	60,39	3,93	2,99	185	245	4330	23,1	37,4	44,2	52,7

Fonte: Fornecedor do cimento (2021)

Todas as amostras de agregados que foram utilizadas no desenvolvimento do trabalho foram fornecidas por uma central dosadora de concreto localizada na região metropolitana de Curitiba/PR. Essas amostras foram coletadas das baias armazenadas no terreno da usina, sendo provenientes de lotes utilizados diretamente na produção de concreto da central. Os agregados foram caracterizados no laboratório central da usina, seguindo as recomendações das normas referentes à cada ensaio.

Os agregados graúdos que fazem parte da composição dos traços são provenientes de rochas de granito, extraídos de uma jazida localizada na cidade de Quatro Barras/ PR, região metropolitana de Curitiba/ PR. A composição de agregados graúdos foi adotada na proporção de 70% para agregados com diâmetro máximo característico (DMC) de 19 mm e 30% com DMC 9,5 mm. As composições granulométricas tanto dos agregados separadamente por DMC quanto a composição de ambos são apresentadas no gráfico da Figura 1.

Figura 1 - Composição granulométrica dos agregados graúdos



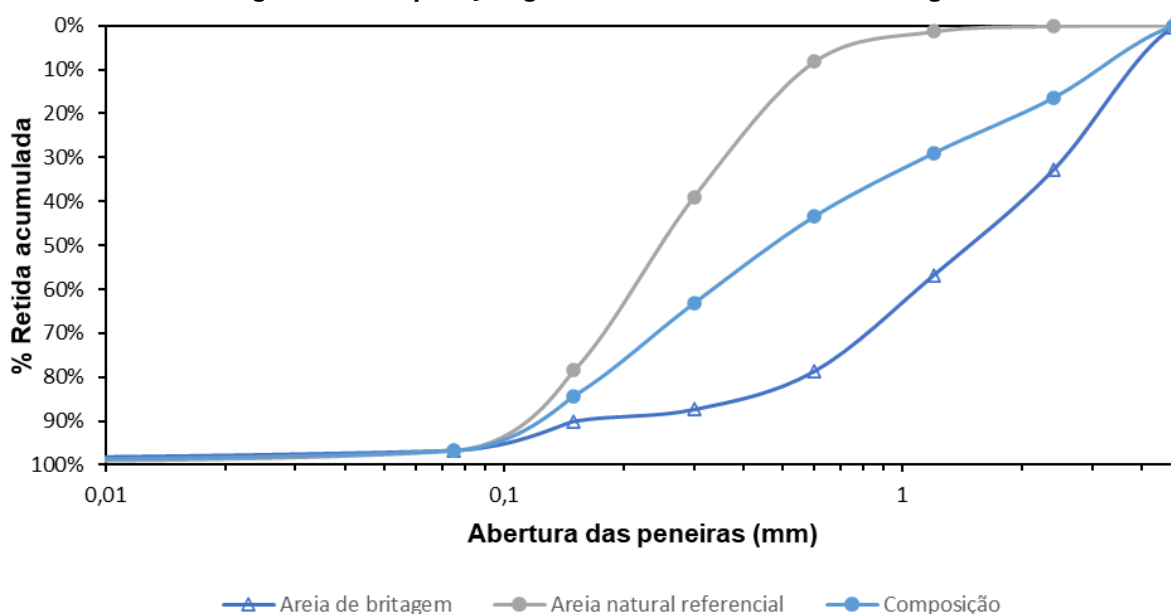
Fonte: Autoria Própria (2022)

As massas específicas aparente e módulos de finura dos agregados graúdos representados são 2,67 g/cm³ e 5,79 para a brita 1 e 2,66 g/cm³ e 5,67 para a brita 0, respectivamente. Os agregados utilizados têm índice de forma cúbica, sendo recomendados para a utilização no concreto (FRAZAO e SBRIGHI, 1984). A proporção adotada entre as dimensões disponíveis foi definida baseada numa curva de composições a partir do ensaio de massa unitária compactada, encontrando o menor índice de vazios.

A parte miúda (<4,8 mm) utilizada nos traços foi composta por duas areias distintas, sendo uma de britagem e a outra areia natural. A proporção entre as areias foi de 50% de areia de britagem provenientes de uma mesma amostra que serviu para todos os traços de maneira constante, enquanto a outra metade foi de areia natural onde abordadas as variações granulométricas que conduziram o desenvolvimento da presente pesquisa.

A areia de britagem utilizada, também classificada como pó de pedra, tem origem numa rocha calcária extraída na região de Rio Branco do Sul/ PR. Se trata de um agregado artificial que passa por um processo de britagem mais longo e detalhado que as britas até chegar em partículas menores e ser utilizada como agregado miúdo. A composição granulométrica está exemplificada no gráfico da Figura 2.

Figura 2 - Composição granulométrica da areia de britagem



Fonte: Autoria Própria (2022)

A areia artificial tem massa específica de $2,81 \text{ g/cm}^3$ e módulo de finura de 3,46. Sua distribuição granulométrica concentra a maior parte do material retido entre as peneiras 2,4 e 0,6 mm.

O agregado miúdo natural escolhido tem origem na região metropolitana de Curitiba/ PR, uma areia de cava utilizada regularmente na central dosadora. A massa específica é de $2,59 \text{ g/cm}^3$ e o módulo de finura referencial foi de 1,26. O intervalo de módulo de finura admitido pela central para o agregado vir a ser utilizado é máximo de 1,60 e mínimo de 1,20.

O aditivo selecionado para a produção dos traços é um plastificante polifuncional à base de policarboxilato, com propriedades de manutenção de abatimento, retardo no início de pega, redução da água de amassamento além de garantir coesão e uniformidade ao volume de concreto produzido. A massa específica do aditivo é de $1,18 \text{ g/cm}^3$ e sua dosagem é determinada por uma porcentagem (0,6%) sobre a massa de cimento por metro cúbico.

A água utilizada é proveniente de um poço artesiano que pertence à central dosadora.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Variações granulométricas da areia natural

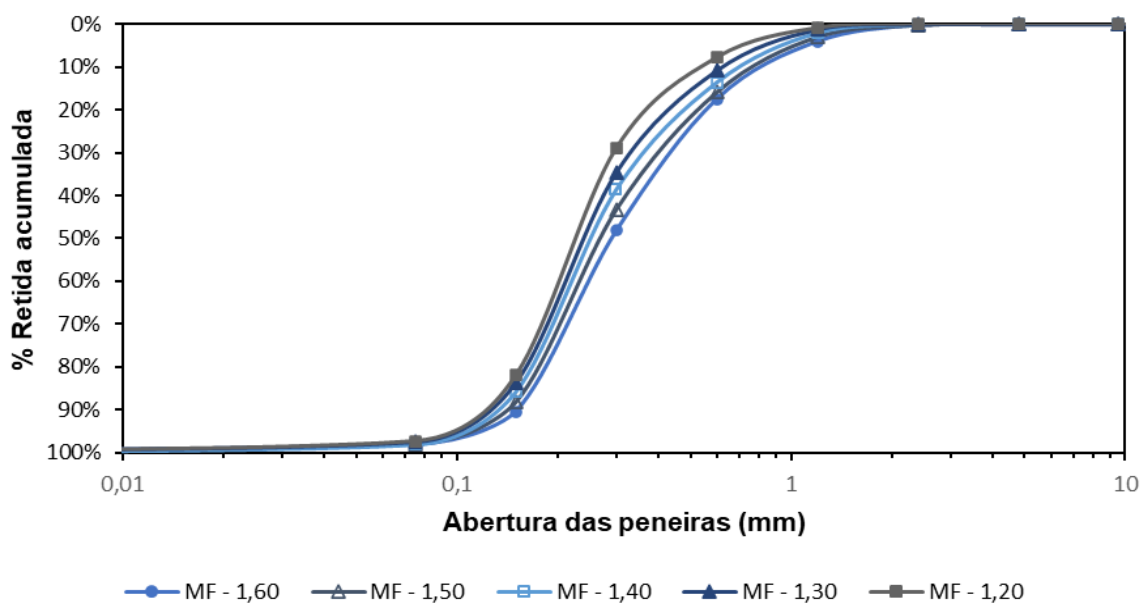
O módulo de finura da areia que foi utilizada como referência foi de 1,27. Esta amostra foi separada por frações granulométricas até obter uma quantidade suficiente em cada peneira para produzir todas as variações do módulo de finura que seriam ensaiadas. A partir da amostra de referência, as frações foram separadas e misturadas novamente seguindo as distribuições da Tabela 2. Obtiveram-se cinco amostras com módulos de finura de 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 e 1,6. A distribuição granulométrica é apresentada na Figura 3.

Tabela 2 - Distribuição granulométrica das variações de areia natural

Porcentagem retida acumulada da areia em cada traço					
Peneira # (mm)	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
4,8	0%	0%	0%	0%	0%
2,4	0%	0%	0%	0%	0%
1,2	1%	1%	2%	3%	4%
0,6	8%	11%	14%	16%	17%
0,3	29%	35%	39%	43%	48%
0,15	82%	84%	86%	88%	90%
0,075	97%	98%	98%	98%	98%
Fundo	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 3 - Distribuição granulométrica das composições da areia natural

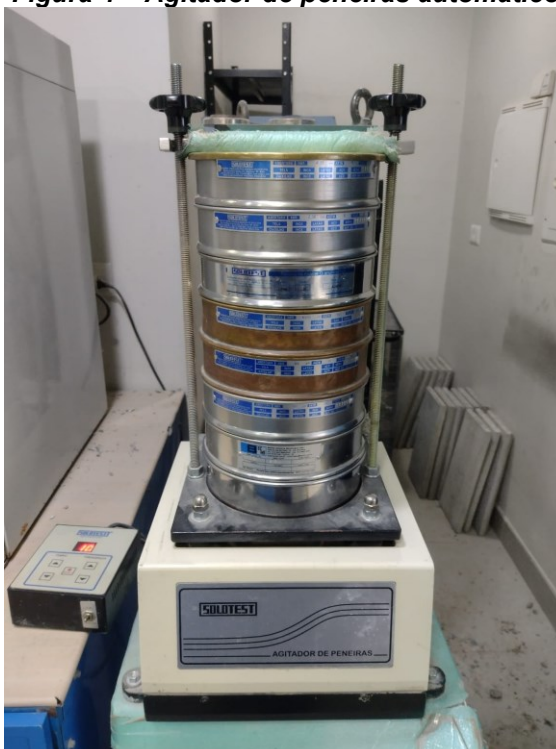


Fonte: Autoria própria (2022)

As variações granulométricas apresentadas na Figura 3 representam uma composição manual realizada de forma empírica, separando as quantidades retidas por peneira de maneira que tenham comportamentos semelhantes entre si na curva de distribuição. As variações foram definidas de tal forma que o módulo de finura resultante fosse exatamente o que foi estipulado.

Para a separação do material, foi utilizado um agitador de peneiras automático (SOLOTEST Modelo 8X2 110/220-50/60HZ) (Figura 4) que funcionou por 10 minutos para cada amostra contendo aproximadamente 2 kg. Após acumular uma quantidade suficiente de material passante em cada peneira para produzir todos os traços, as areias foram separadas com o auxílio de uma balança com precisão de duas casas decimais, sendo distribuídas proporcionalmente de acordo com a Tabela 2.

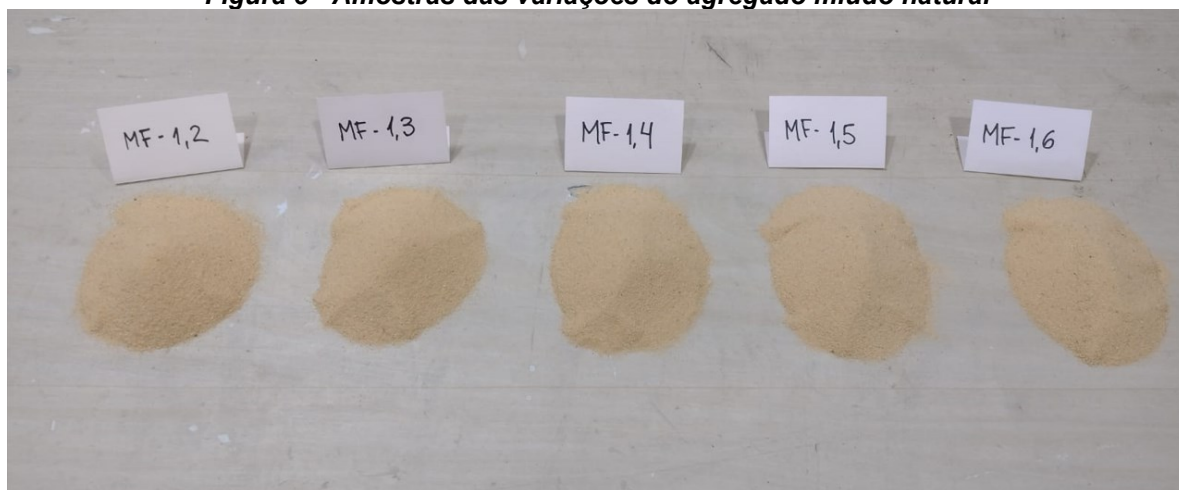
Figura 4 – Agitador de peneiras automático



Fonte: Autoria Própria (2022)

Ao fim da separação, obteve-se cinco amostras com módulo de finura distintos para produzir as misturas em laboratório, essas apresentadas na Figura 5.

Figura 5 - Amostras das variações do agregado miúdo natural

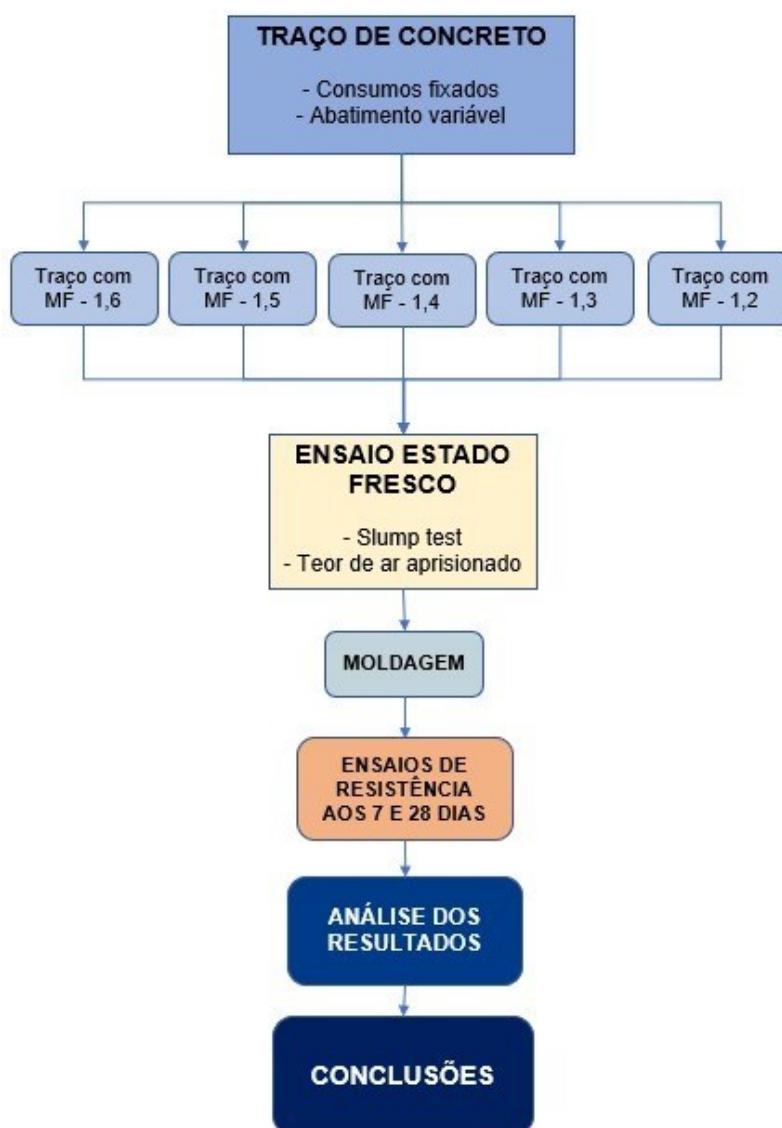


Fonte: Autoria Própria (2022)

3.2.2 Série de produção

O desenvolvimento foi conduzido por uma série de cinco composições, considerando o traço de referência, produzidos no laboratório conforme Figura 6.

Figura 6- Fluxograma de desenvolvimento do programa experimental



Fonte: Autoria Própria (2022)

Foram analisados dois parâmetros no estado fresco, sendo o abatimento do tronco de cone (*slump test*) e o teor de ar aprisionado no concreto, ao aumentar o valor do módulo de finura da areia natural de 1,2 até 1,6. Todos os traços preparados com o mesmo consumo de cimento, água, agregado (miúdo e graúdo), aditivo, a relação água/cimento e a umidade do concreto.

3.2.3 Composição do traço de concreto

O traço utilizado teve consumo de cimento fixo com base num consumo médio de concretos dosados nas centrais para diferentes resistências. A relação água/cimento, teor de argamassa, consumo de aditivo e umidade do concreto foram definidos no laboratório a partir do ajuste do traço referência. Os parâmetros foram definidos em:

- Consumo de cimento: 300 kg/m³;
- Consumo de água: 175 litros/m³;
- Relação água x cimento: 0,58;
- Consumo de aditivo: 0,6% sobre a massa do cimento;
- Teor de argamassa: 56%;

O traço utilizado está representado na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidades em massa para produção de 25 L de concreto

Cimento	Brita 1	Brita 0	Areia artif.	Areia nat.	Água	Aditivo
(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(%)
7,50	16,85	7,22	11,57	11,57	4,38	0,6
1:	2,25:	0,96:	1,54:	1,54:	0,58:	0,6

Fonte: Autoria Própria (2022)

Na tabela 3, é possível verificar as quantidades em massa para a produção de 25L de concreto utilizado e a porcentagem de aditivo sobre a massa do cimento.

Assim como os ensaios de caracterização dos agregados, os processos de produção, controle, armazenamento e resistência mecânica dos concretos foram realizados no laboratório central da usina de concreto disponibilizado para o desenvolvimento do trabalho.

Os concretos foram produzidos em uma betoneira com capacidade de 120 litros, cada mistura contendo o volume de 25 litros de concreto, esse volume foi o suficiente para a moldagem de todos os 12 corpos de prova que foram submetidos aos ensaios de resistência mecânica.

Antes de produzir cada traço, a betoneira foi umedecida para então dar início ao processo. Foram colocados todos os agregados junto a uma parcela de água (aproximadamente 70%), misturados por aproximadamente 1 minuto afim de homogeneizar a amostra antes da adição do cimento. Após adicionar o aglomerante, misturou-se por mais um pequeno período adicionando aos poucos o restante da

água de amassamento até que, por fim, fosse introduzido o aditivo ao concreto. O tempo de mistura dos traços foi padronizado em 10 minutos após a adição do aditivo polifuncional, logo após esse tempo foram realizados os ensaios no estado fresco.

Após os ensaios de estado fresco e a validação de cada traço, foram moldados os 12 corpos de prova cilíndricos nas dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Estes foram divididos em dois grupos de 6, sendo um dos grupos submetido ao ensaio de resistência à compressão axial e o outro na resistência à tração por compressão diametral, ambos nos tempos de hidratação de 7 e 28 dias (3 para cada tempo). O processo de moldagem estava de acordo com as especificações da NBR 5738 (ABNT, 2015), que consiste em 2 camadas com 12 golpes de adensamento em cada camada, desferindo golpes na borda do topo do molde cilíndrico para preencher os vazios deixados pela haste de adensamento em cada camada e rasando-os com uma colher posteriormente.

3.2.4 Ensaios em estado fresco

Após o concreto estar completamente homogeneizado na betoneira, foram realizados os ensaios de abatimento do tronco de cone (*slump test*) (ABNT, 1996) e do teor de ar pelo método gravimétrico (ABNT, 2009). Para dar início na série de produção, o traço de referência foi ajustado para um abatimento compreendido na classe S100-S160, enquanto as demais misturas contaram com abatimentos consequentes das variações da areia e foram analisados ao fim da produção.

3.2.5 Cura dos corpos de prova

A cura dos corpos de prova também esteve nos conformes da NBR 5738 (ABNT, 2015), com a desforma das amostras sendo realizada com aproximadamente 48 horas após a moldagem. Em seguida, os corpos de prova foram identificados e mergulhados num tanque de cura onde permaneceram submersos até 24 horas antes da data de ensaio.

O tanque é preenchido com água e uma pequena quantidade de cal (segundo Quarcioni (2008) há um ganho de resistência em idades avançadas pelos efeitos físicos da cal hidratada, a qual favorece a hidratação do cimento, preenchendo os vazios e expulsando a água em excesso) e se manteve no intervalo de temperatura controlada entre 22° e 25°C ao longo do tempo de cura.

3.2.6 Ensaios em estado endurecido

Os corpos de prova foram retirados do tanque aproximadamente 24 horas antes do ensaio referente a cada tempo de hidratação programado. Logo após a retirada, os exemplares foram submetidos a um processo de uniformização do topo, passando por um equipamento de retífica e colocados para secagem horas antes do ensaio. Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados seguindo os procedimentos especificados na NBR 5739 (ABNT, 1994), numa prensa eletrohidráulica digital com capacidade de 100tf (SOLOTEST modelo 1.501.220) disponível no laboratório da central dosadora.

Os corpos de prova destinados ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral foram submetidos ao ensaio em uma prensa (EMIC Modelo DL 30000) pertencente à universidade (Figura 6).

Figura 7 - Prensa utilizada no ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Aatoria Própria (2022)

Os resultados de resistência à compressão axial e da resistência à tração na compressão diametral foram dados pelas médias de 3 corpos de prova de cada traço e cada tempo de hidratação, repetidos aos 7 e 28 dias.

3.2.7 Volume de concreto utilizado no trabalho

O volume de concreto produzido foi de 125L (5 traços com 25L cada). Na Tabela 4 é apresentado o número de corpos de prova de cada variação do módulo de finura utilizado, em cada tempo de hidratação e em cada ensaio de resistência, à tração e à compressão, além do número total de corpos de prova utilizado (60 corpos de prova).

Tabela 4 – Número de amostras para os ensaios de resistência mecânica

NÚMERO DE AMOSTRAS PARA OS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA											
Tempo de Hidratação	7 Dias					28 Dias					Volume Total (L)
Módulo de Finura	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	-
Compressão	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	47,1
Tração	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	47,1
Número de corpos de prova	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	94,2

Fonte: Aatoria Própria (2022)

Na Tabela 4 é apresentado também o volume utilizado total de cada ensaio e o volume total, em litros, utilizado no trabalho todo.

3.2.8 Análise estatística

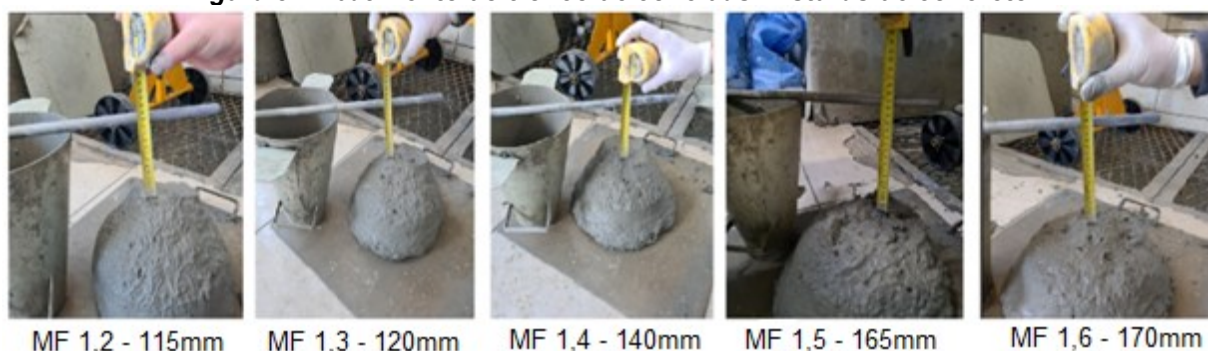
Para comparar os resultados, foi realizado ANOVA e a comparação múltipla de médias pelo teste de Tukey (que consiste em comparar todos os possíveis pares de médias, baseando-se na diferença mínima significativa) para todas as combinações de variáveis dependentes do módulo de finura com repetições de resultados para comparação das médias, no caso, os ensaios de resistência à compressão e à tração na compressão diametral. Para tal, foi considerado um nível de significância de 95% nos ensaios de 7 e 28 dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS NO ESTADO FRESCO

Os resultados obtidos no programa experimental referentes aos concretos em estado fresco são apresentados na Figura 9, referentes à cada módulo de finura ensaiado sendo possível observar as variações entre as diferentes misturas pela variação do abatimento, descritas abaixo de cada imagem.

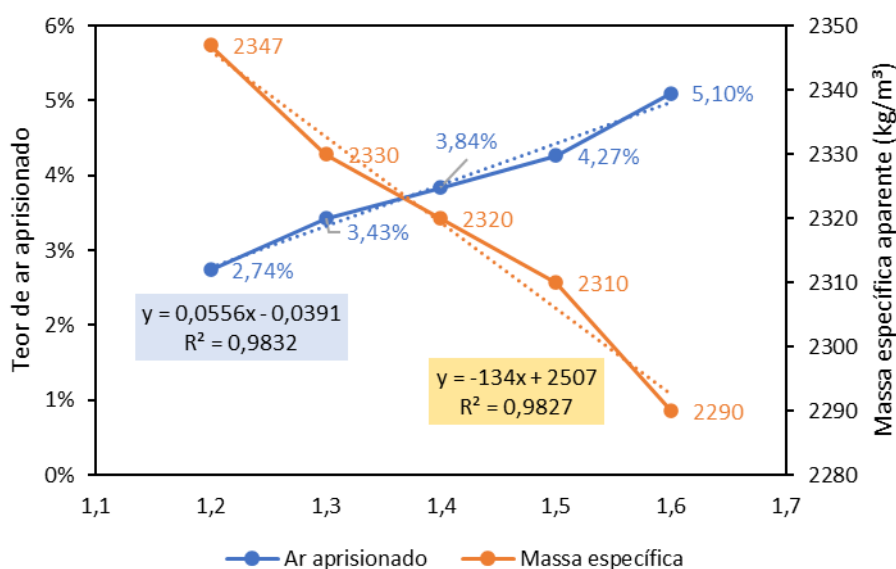
Figura 8 - Abatimento do tronco de cone das misturas de concreto



Fonte: Autoria Própria (2022)

Os resultados de ar aprisionado e massa específica aparente em função do módulo de finura são apresentados na Figura 10 e também suas regressões lineares.

Figura 9 – Teor de ar aprisionado e massa específica aparente x módulo de finura

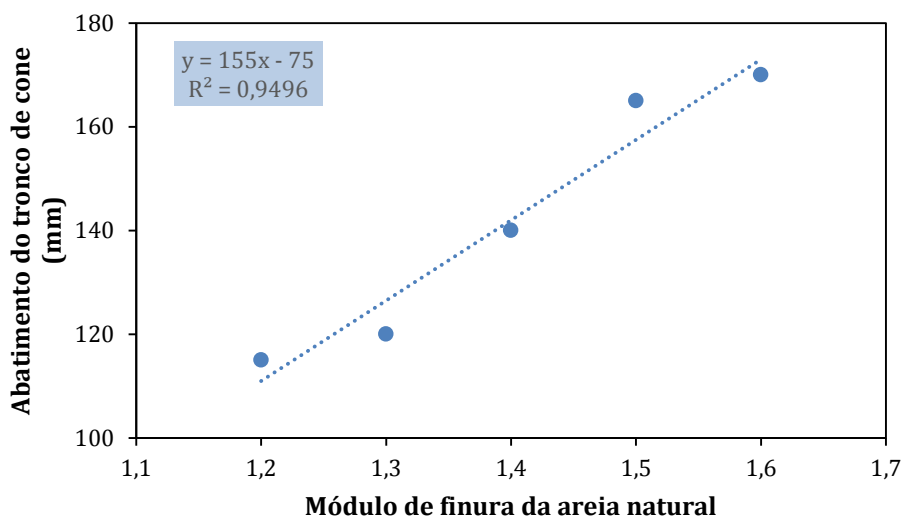


Fonte: Autoria própria (2022)

Verificou-se que as variações do teor de ar aprisionado em função do módulo de finura do agregado miúdo seguem uma tendência de crescimento, aumentando entre 0,4 e 0,8 pontos percentuais de valor absoluto de ar aprisionado à medida em que se aumenta o valor do MF. Essa variação pode ocorrer pelo fato de que, com valores mais altos de MF, o agregado miúdo apresenta uma quantidade menor de finos que preenchem os espaços vazios entre os grãos, aumentando assim o atrito entre os grãos maiores que resultam no aumento do teor de ar na mistura. Para analisar os resultados obtidos, adotou-se o modelo de regressão linear para ajustar uma equação de reta que representa o comportamento dos dados dispostos no gráfico. A equação minimiza a distância entre a reta ajustada e todos os valores de dados obtidos no programa experimental, possibilitando assim obter valores de teor de ar aprisionado ou massa específica aparente apenas com o módulo de finura do agregado miúdo. Na Figura 10, foram ajustadas duas linhas de tendência para as variáveis de teor de ar aprisionado e massa específica aparente, ambas em função do módulo de finura. O R^2 é uma medida de ajuste do modelo estatístico linear aos valores observados, varia entre 0 e 1 e é expresso em porcentagem. Quanto mais próximo de 1 for esse valor, a equação explica a variável com maior exatidão. Para as duas variáveis analisadas, obteve-se um R^2 de 0,98, indicando que, ao aplicar o valor do MF na equação, tem-se a previsão dos resultados de teor de ar e massa específica aparente com 98% de precisão.

Os resultados de massa específica aparente foram inversamente proporcionais aos resultados de teor de ar aprisionado, indicando que quanto maior for o número de vazios, a propriedade de massa por volume do concreto tende a ser menor.

Na Figura 11 são apresentados os resultados de abatimento de tronco de cone em função do MF. O valor do abatimento do tronco de cone aumentou à medida que o valor do MF aumentava, diretamente. O resultado de R^2 obtido nessa ocasião foi de 0,95.

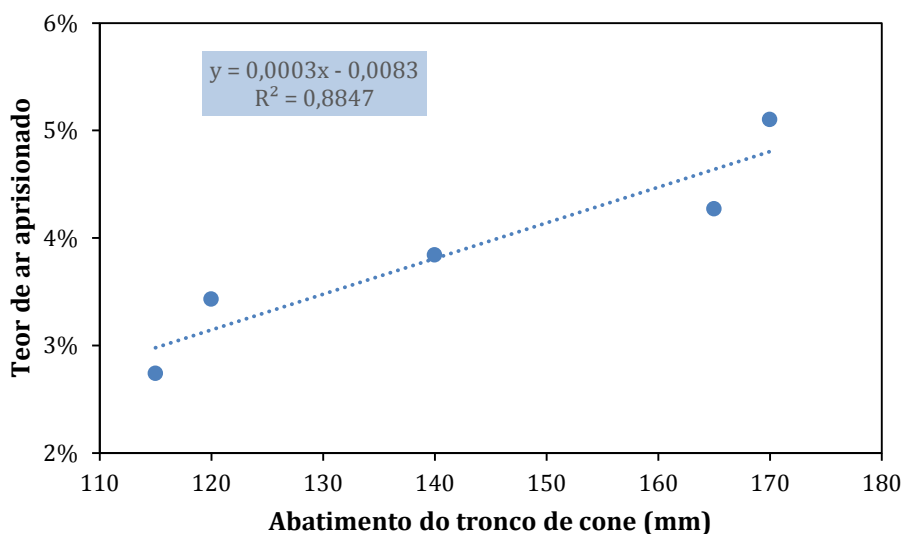
Figura 10 – Abatimento x módulo de finura

Fonte: Autoria própria (2022)

O abatimento do tronco de cone apresentou resultados cada vez maiores conforme aumentou-se o valor do MF do agregado miúdo e esse fato pode ser explicado pela área superficial do agregado. Quanto menor for a superfície específica, a demanda de água para poder envolver todos os grãos e proporcionar melhor deslize entre si diminui ao longo das variações. No caso do concreto estudado, a quantidade de água foi a mesma para todas as misturas, como consequência, obteve-se um aumento no resultado de abatimento. O resultado de R^2 obtido nessa ocasião foi de 0,95. Em ambos os gráficos, os valores que mais divergiram da reta foram relativos às amostras de MF 1,3 e MF 1,5, porém não foi possível identificar uma resposta para isso.

No gráfico da Figura 12, é possível analisar a relação entre duas variáveis dependentes ao módulo de finura, sendo o teor de ar em função do abatimento.

Figura 11 - Abatimento do tronco de cone x teor de ar aprisionado



Fonte: Autoria própria (2022)

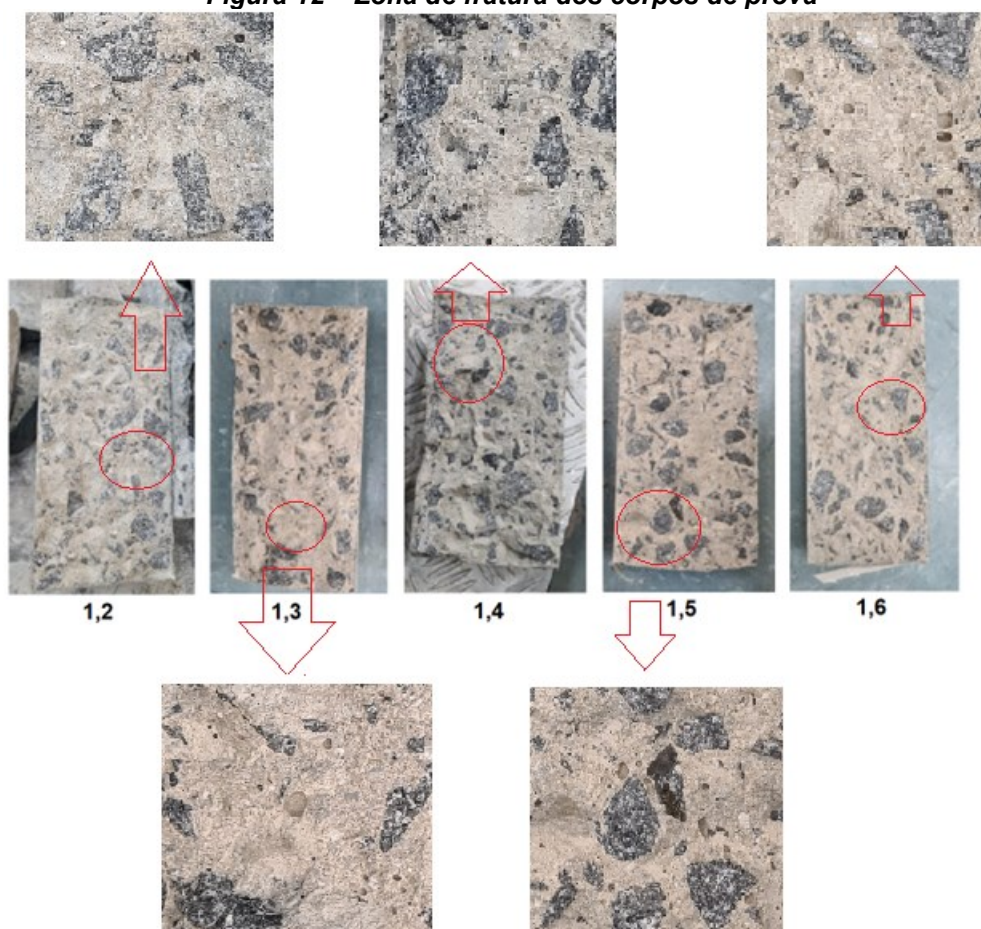
O objetivo desse gráfico é um modelo de avaliação para se obter uma variável dependente quando só é possível executar apenas um dos ensaios. Os dados apresentam maior variação em relação às Figuras 9 e 10, pois se trata de duas variáveis dependentes que com o aumento do teor de ar aprisionado, aumenta diretamente o abatimento do tronco de cone, aumentando a porcentagem de vazios.

Quando são analisados os valores de módulo de finura máximo e mínimo dentro do intervalo definido, há diferença onde o concreto com o menor valor apresenta menor trabalhabilidade que o concreto com o agregado miúdo de maior MF. Observa-se que no concreto 1,2 foi obtido um abatimento e teor de ar 32% e 46% menores que o 1,6, respectivamente.

4.2 RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO

Para o estado endurecido do concreto, foram feitos dois tipos de ensaio de resistência mecânica, sendo compressão axial e tração na compressão diametral. Para ambos os métodos, foram ensaiados 3 corpos de prova nos tempos de hidratação de 7 e 28 dias após a moldagem. Os resultados visuais das rupturas não apresentaram diferenças significativas, como é observado no conjunto de amostras submetidas ao ensaio de tração na composição diametral (Figura 13), o qual os corpos de prova são ensaiados ao longo de seu comprimento.

Figura 12 – Zona de fratura dos corpos de prova



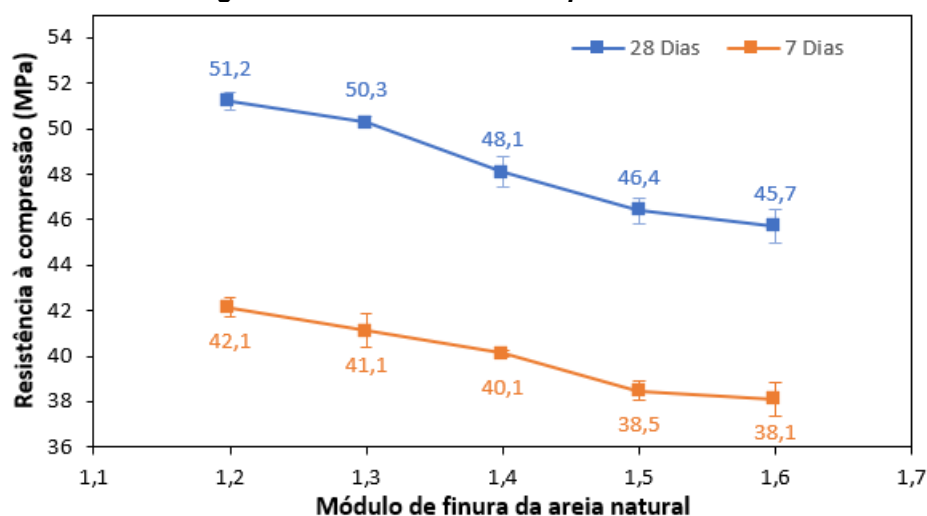
Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando-se a Figura 13 não é possível analisar nenhuma diferença entre as zonas de fratura dos corpos de prova, houve um mesmo modo de fratura independente do módulo de finura. De modo geral, houve fratura na região de zona de transição e na pasta cimentícia.

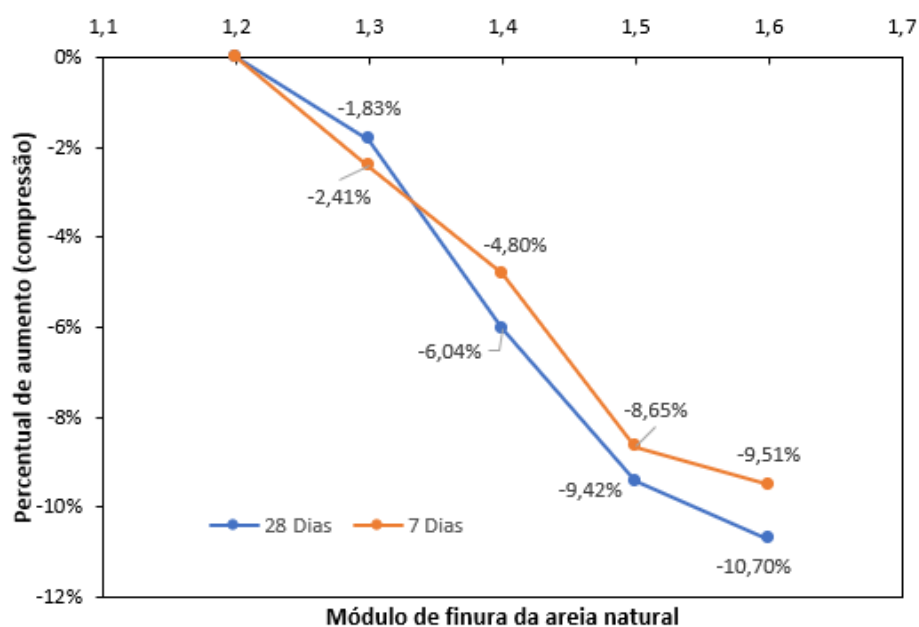
4.2.1 Resistência à compressão axial

Os resultados de resistência à compressão axial (Figura 14) para 7 e 28 dias são dispostos na Figura 14 (a), seguidos do gráfico de percentual de crescimento da resistência resultante da alteração da finura da areia (Figura 14 (b)).

Figura 13 - Resistência à compressão axial



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2022)

Verificou-se que os valores, da resistência à compressão, seguem uma mesma tendência de aumento ao variar o módulo de finura partindo do valor de 1,2, no entanto, os valores numéricos não são equivalentes. Obteve-se menores valores relativos em 1,3 e 1,6, se comparado ao módulo de finura anterior, enquanto 1,4 e 1,5 foram maiores.

A ANOVA dos resultados de resistência à compressão para 7 dias de hidratação é apresentado na Tabela 4.

Tabela 5 - ANOVA compressão axial 7 dias

Fonte da variação	Grau de Liberdade	SQ	MQ	F	valor-P
Entre os grupos	4	34,81	8,7	29,3	0,00001
Dentro dos grupos	10	2,97	0,3	-	-
Total	14	37,78	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2022)

OBS: SQ = soma dos quadrados

MQ = quadrado médio

F = F crítico

Observa-se que o valor-P é inferior ao erro de 5%, caracterizando as médias como não iguais. O teste de Tukey é apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Teste Tukey compressão axial 7 dias

	Média	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
1,2	42,14	****		
1,3	41,12	****	****	
1,4	40,11		****	
1,5	38,49			****
1,6	38,13			****

Fonte: Autoria própria (2022)

As médias de resistência à compressão no tempo de hidratação de 7 dias, obteve-se três conjuntos de médias, com igualdades para as amostras com MF de 1,2-1,3; 1,3-1,4 e 1,5-1,6. A ANOVA foi repetida para os resultados de 28 dias, conforme a Tabela 5.

Tabela 6 - ANOVA compressão axial 28 dias

Fonte da variação	Grau de Liberdade	SQ	MQ	F	valor-P
Entre os grupos	4	67,95	16,99	55	0,000001
Dentro dos grupos	10	3,09	0,31	-	-
Total	14	71,04	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2022)

O resultado do valor-P foi o mesmo dos 7 dias, inferior a 5% e confirmando a diferença entre as médias. O teste Tukey para a resistência à compressão aos 28 dias é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Teste Tukey compressão axial 28 dias

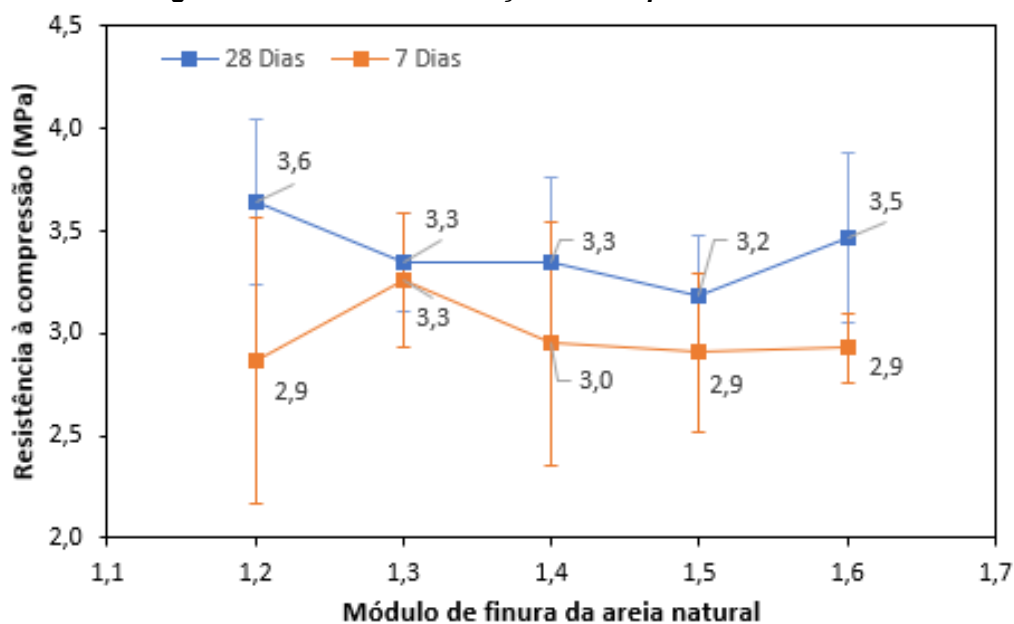
	Média	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
1,2	51,21	****		
1,3	50,28	****		
1,4	48,12		****	
1,5	46,39			****
1,6	45,73			****

Fonte: Autoria própria (2022)

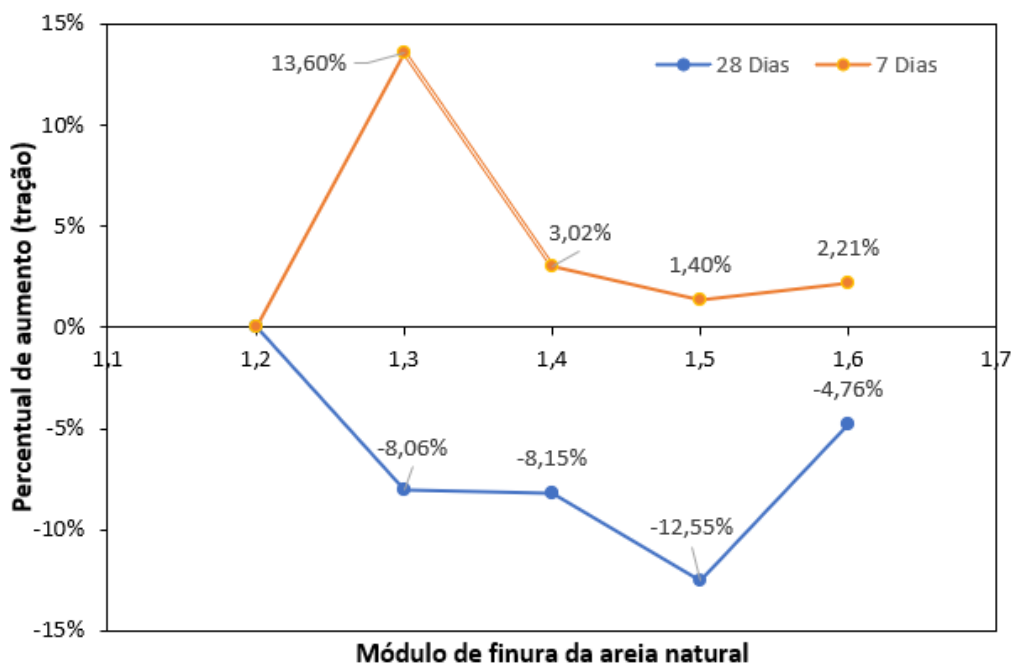
Para essa análise, também se obteve três grupos. Entretanto, nesse caso para a amostra de MF 1,4 não foi considerada semelhança com nenhuma outra, enquanto as amostras com MF 1,2-1,3 e MF 1,5-1,6 são consideradas iguais.

4.2.2 Resistência À Tração Por Compressão Diametral

Os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral estão apresentados nos gráficos da Figura 15.

Figura 14 - Resistência à tração na compressão diametral

(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2022)

Analisando o gráfico da Figura 15 (a), observa-se que para ambos os tempos de hidratação, a resistência à tração não apresentou tendência de variação, obtendo resultados semelhantes entre si. A ANOVA para os 7 dias de hidratação é apresentada na Tabela 6.

Tabela 7 – ANOVA tração diametral 7 dias

Fonte da variação	Grau de Liberdade	SQ	MQ	F	valor-P
Entre os grupos	4	0,29	0,07	0,33	0,85503
Dentro dos grupos	10	2,26	0,23	-	-
Total	14	2,55	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2022)

O valor-P encontrado foi superior a 5%, caracterizando as médias como iguais. O teste Tukey é apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 - Teste Tukey para tração diametral 7 dias

	Média	Grupo 1
1,2	3,26	****
1,3	2,95	****
1,4	2,93	****
1,5	2,91	****
1,6	2,87	****

Fonte: Autoria própria (2022)

Na Tabela 7, encontra-se o resultado da ANOVA para as médias de resistência à tração na compressão diametral aos 28 dias.

Tabela 8 - ANOVA tração diametral 28 dias

Fonte da variação	Grau de Liberdade	SQ	MQ	F	valor-P
Entre os grupos	4	0,35	0,09	0,66	0,636634
Dentro dos grupos	10	1,32	0,13	-	-
Total	14	1,67	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2022)

O resultado do valor-P também foi superior a 5%, confirmando que não houve diferença entre as médias analisadas. O teste Tukey é apresentado no Quadro 6.

Quadro 6 - Teste Tukey tração diametral 28 dias

	Média	Grupo 1
1,2	3,64	****
1,3	3,47	****
1,4	3,35	****
1,5	3,35	****
1,6	3,18	****

Fonte: Autoria própria (2022)

Com base nos resultados encontrados, entende-se que para o intervalo de módulo de finura do agregado miúdo analisado, não houve diferença significativa quando comparados os resultados de resistência à tração na compressão diametral.

5 CONCLUSÕES

A principal conclusão extraída do trabalho foi identificar o impacto que o agregado miúdo tem diretamente nas propriedades do concreto. Verificou-se diferença nos parâmetros de estado fresco, como o abatimento e o teor de ar aprisionado na mistura. À medida que se aumentou o valor do módulo de finura do agregado miúdo, o concreto apresentou maior teor de ar aprisionado e maior abatimento. Tais resultados impactaram diretamente na resistência à compressão das amostras, observando-se uma diminuição de resistência mecânica ao longo da série de variações, partindo da variação 1 (com módulo de finura de 1,2). Foi possível chegar nesses resultados baseando-se que, com o aumento do módulo de finura, obteve-se um maior índice de vazios e menor teor de finos, fazendo com que tivesse mais água no concreto e aumentando, também, o abatimento.

Para as médias de resistência à compressão, houve diferença significativa entre as amostras com um nível de confiabilidade de 95%. Entretanto, para os ensaios de resistência à tração na compressão diametral, não houve diferença significativa entre as médias. Diante disso, os resultados em conjunto com os testes estatísticos comprovaram que o módulo de finura não alterou a resistência à tração axial aos 7 e 28 dias, por outro lado, para à compressão axial variando o módulo de finura de 1,6 para 1,2 altera significativamente a resistência do corpo de prova tanto aos 7 como aos 28 dias.

Conclui-se que os resultados obtidos foram determinantes para classificar o módulo de finura do agregado miúdo como um parâmetro importante a ser considerado na dosagem do concreto, visto que a variação teve importância nos resultados do programa experimental baseando-se numa única composição de materiais.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No trabalho apresentado, foi possível identificar a diferença entre amostras do mesmo agregado miúdo variando a sua principal característica, a distribuição granulométrica expressa no indicador de módulo de finura. No entanto, foi utilizada uma areia artificial para complementar a parte miúda do concreto, dividindo em duas partes iguais. Sugere-se para trabalhos futuros utilizar somente um tipo de agregado.

No desenvolvimento do programa experimental, foi utilizado um traço como base para todas as variações do MF e os resultados de ensaios em estado fresco foram consequências. Sugere-se uma nova análise fixando o abatimento e trabalhabilidade, alterando os parâmetros de dosagem experimentalmente até chegar em resultados semelhantes no estado fresco.

Outra situação a ser analisada é a variação na distribuição granulométrica dos agregados graúdos, com a possibilidade de analisar mais de uma variável independente ao incluir o índice de forma dos grãos.

REFERÊNCIAS

AMBROZEWICZ, P. H. L. **Materiais de construção: normas, especificações, aplicações e ensaios em laboratórios**. São Paulo: Editora PINI, 2012.

ARAÚJO, L. E. F.; CARVALHO, F. M.; SANTANA, K. A. de; RODRIGUES, M. D. A.; SALES, J. C. **A falta de controle dos agregados miúdos em diferentes obras de Sobral**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 67714-67723, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: concreto de cimento portland - preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento**. Rio de janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica**, Rio de janeiro 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: agregados para concretos - Especificação**. Rio de janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: cimento Portland – requisitos**. Rio de janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de janeiro, 2014.

BARBAR, J. S. **Influência do teor de ar incorporado no desempenho de concretos com diferentes teores de agregados – USP, São Carlos**. 2016.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1995. 529p.

CARASEK, H. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

CASTRO, A. L. de; LIBÓRIO, J. B. L. **A Influência dos agregados sobre o comportamento do concreto de alto desempenho no estado fresco**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 48., 2006, Rio de Janeiro.

FRAZAO, E. B.; SBRIGHI, Neto C. **The influence of the shape of the coarse aggregate on some hydraulic concrete properties**. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, v. 30, n. 1, p. 221-224, 1984.

HADDAD, L. D.; COSTA, C. M.; LOPES, P. H. P.; CARVALHO, A. N.; SANTOS, W. J. **Análise da Influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades mecânicas e de durabilidade das argamassas de revestimento** – UFMG, 2016.

HANSMANN, B. B. **A influência da areia como agregado miúdo na resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto**. 2020. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Santa Cruz do Sul, Curso de Engenharia Civil, Santa Cruz do Sul, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11624/2888> Acesso em: 04/06/2022

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. *In*: Isaia, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. Ed. 3 v. 2. São Paulo: IBRACON, 2010, p. 905-944.

MARTINS, P. B. M. **Influência da granulometria agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto**. 2008. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO. P. J. M. Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais. Segunda Edição. Ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. Tradução de Ruy Alberto Cremonini. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888 p.

OLIVEIRA, P. M.; RIZZATI, E.; MOHAMAD, G.; LÜBECK, A.; OTTONI, T. P.; WEIDE, H. **Influência do módulo de finura nas propriedades mecânicas de argamassas com aditivo incorporador de ar**. Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, p. 1-8, 2020.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland – estudo em pasta**. 2008. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia da Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

REBMANN, M. S. **Durabilidade de concretos estruturais com baixo consumo de cimento Portland e alta resistência**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011.

REBMANN, M. S. **Robustez de concretos com baixo consumo de cimento Portland: desvios no proporcionamento e variabilidade granulométrica e morfológica dos agregados**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. doi:10.11606/T.3.2017.tde-20012017-090400. Acesso em: 02/06/2022

SALES, ATC; SÁ, BRC; SANTOS, D. G. Argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por pó de mármore. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 15, p. 2472-2481, 2014.

SBRIGHI NETO, C. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção de agregados para argamassas e concretos**. ANEPAC – Associação Nacional das

Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. Revista Areia e Brita Nº 12. Out, nov, dez 2000.

SEGUNDO FILHO, C. A. **Influência da granulometria nas propriedades do concreto**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2020.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.