



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JÚLIO GIORCELI SODRÉ NETO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO ESTRUTURAL COM
ADIÇÃO DE SOBRAS DE ARAME RECOZIDO LISO**

São Luís

2020

JÚLIO GIORCELI SODRÉ NETO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO ESTRUTURAL
COM ADIÇÃO DE SOBRAS DE ARAME RECOZIDO LISO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Esp. Rogério José Belfort Freire

São Luís

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Centro Universitário - UNDB / Biblioteca

Sodré Neto, Júlio Giorceli

Análise das propriedades mecânicas do concreto estrutural com adição de sobras de arame recozido liso. / Júlio Giorceli Sodré Neto. — São Luís, 2020.

100f.

Orientador: Prof. Esp. Rogério José Belfort Freire.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB, 2020.

1. Construção civil. 2. Concreto estrutural. 3. Arame recozido liso.
I. Título.

CDU 691.322

JÚLIO GIORCELI SODRÉ NETO

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO ESTRUTURAL
COM ADIÇÃO DE SOBRAS DE ARAME RECOZIDO LISO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Esp. Rogério José Belfort Freire

Aprovada em: 17 / 12 / 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Rogério José Belfort Freire (Orientador)
Centro Universitário - UNDB

Prof. Esp. Ricardo Alberto Barros Aguado
Centro Universitário - UNDB

Prof. Esp. Natália Barros Falcão Cutrim
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a Deus pela vida e oportunidade para que eu pudesse trilhar o meu caminho, tanto no âmbito profissional, quanto no pessoal, ao longo desses 22 anos.

Agradeço em especial a minha mãe, Adriana Ribeiro Costa, minha grande incentivadora no campo acadêmico, por ter me concedido a oportunidade de ter uma educação de qualidade, de modo que eu pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos. Além de todo amor e carinho dedicados a mim.

Ao meu pai, Júlio Sodré Junior, por me ensinar por meio do exemplo, a ser um homem sério, de caráter singular e que respeita Deus e as pessoas em primeiro lugar.

Agradeço, portanto, aos meus pais, por serem inigualáveis, pessoas na qual sinto saudade diária dos ensinamentos, dos abraços, dos conselhos, dos carinhos e do apoio para que eu continue seguindo um caminho próspero. Obrigado por serem quem são, amo vocês!

À minha tia, Núbia Sodré, a minha prima, Giullie Pinheiro, ao meu primo Hernildo Pinheiro Neto, e a minha prima, Bia Pinheiro, por disporem de tanto carinho ao me acolher em São Luís – MA, em 2012.

À minha avó, Conceição de Lurdes, meu primo, Gabriel Costa e a minha tia, Andreia Costa por me proporcionarem a oportunidade de continuar os meus estudos, em 2013.

Ao meu tio, Mauro Costa e as minhas tias, Karla Costa, Luciane Costa, Karine Costa, por ajudarem em um momento de dificuldade financeira dos meus pais, na minha caminhada acadêmica em 2009.

À minha irmã de criação, Dilma Araújo, por ter vivido ao meu lado e me incentivado durante grande parte dos meus 22 anos.

Aos meus amigos, Paulo Henrique e Ângela Taís, por viverem juntos comigo todas as fases da graduação, compartilhando momentos bons e ruins.

Aos meus amigos, Matheus Tessaro, Thállyson Aguiar, Lícia Melo, Eduarda Ximenes, Igor Leonny e Marina Negreiros, por me apoiarem em todos os momentos.

Ao meu orientador, Rogério José Belfort Freire, por ter me guiado, não só nesse trabalho acadêmico, mas em toda graduação.

Ao meu amigo e engenheiro, Telmo José Mendes, por ter me dado grandes oportunidades e me ajudado ao longo da trajetória acadêmica e profissional.

Agradeço, em especial, a minha namorada, Gabriella Clemonez, por estar do meu lado, nos melhores e nos piores momentos, nos últimos anos. Além de ser uma inspiração pra mim.

Obrigado Deus e toda família, por tudo!

RESUMO

Sabe-se que a geração de subprodutos na indústria da construção civil é, apesar de indesejável, inevitável na maioria dos casos. A destinação desses subprodutos, além de economicamente prejudicial, normalmente não se dá de forma adequada. Com uma maior competitividade no setor e a questão ambiental ganhando a devida importância, as ideias voltadas ao pensamento enxuto se destacam cotidianamente. Nesse sentido, apesar de possuir valor comercial relevante, os arames recozidos lisos utilizados para amarrações das armaduras possuem desperdício significativo dentro dos canteiros de obra, mesmo estes contendo propriedades mecânicas satisfatórias à tração. Em contrapartida, sabe-se que a tração é propriedade menos favorecida do concreto, que é um dos materiais mais consumidos no mundo, haja vista impacto técnico favorável que esse proporciona. Assim, observou-se o déficit mecânico à tração do concreto e o desperdício do arame recozido liso, e de forma análoga ao pensamento utilizado para o concreto reforçado com fibras de aço, estudou-se comportamento mecânico do concreto com adição de sobras de arame recozido liso, nos teores de 0%, 5,50% e 11,00% em função da massa de cimento. Realizou-se, ainda, os ensaios de compressão axial e diametral, para verificação da resistência a compressão e a tração diametral, aos 7 e 28 dias, no qual apresentaram resultados satisfatórios para o teor de 5,5% de adição do arame recozido liso no concreto.

Palavras-Chave: Arame Recozido, Fibra de aço, Concreto

ABSTRACT

It is known that the generation of by-products in the construction industry is, although undesirable, inevitable in most cases. The destination of these by-products, in addition to being economically harmful, usually does not occur properly. With greater competitiveness in the sector and the environmental issue gaining due importance, ideas focused on lean thinking stand out daily. In this sense, despite having relevant commercial value, the smooth annealed wires used for reinforcement moorings have significant waste within the construction sites, even those containing satisfactory mechanical properties to the traction. In contrast, it is known that traction is the least favored property of concrete, which is one of the most consumed materials in the world, given the favorable technical impact it provides. Thus, it was observed the mechanical deficit to the traction of concrete and the waste of smooth recooked wire, and in a similar way to the thought used for the reinforced concrete with steel fibers, it was studied mechanical behavior of the concrete with the addition of smooth recooked wire leftovers, in the contents of 0%, 5.50% and 11.00% depending on the cement mass. Axial and diametrical compression tests were also carried out to check the resistance to compression and diametrical traction at 7 and 28 days, in which satisfactory results are obtained for the 5.5% content of the addition of the flat annealed wire in the concrete.

Keywords: Annealed wire, Steel fiber, Concrete

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) – Teor de Umidade (h%).....	47
Equação (2) – Massa específica da brita (d).....	56
Equação (3) – Massa específica da areia (d_3).....	60
Equação (4) – Volume de água adicionado ao frasco (V_a).....	60
Equação (5) – Massa unitária dos agregados (P_{ap}).....	64
Equação (6) – Resistência à tração por compressão diametral ($f_{ct,sp}$).....	74
Equação (7) – Definição da resistência média à compressão aos 28 dias (f_{c28}).....	81
Equação (8) – Consumo de cimento do traço (C_c).....	83
Equação (9) – Consumo de brita (C_b).....	84
Equação (10) – Volume de agregado miúdo (V_m).....	85
Equação (11) – Consumo de agregado miúdo (C_m).....	85
Equação (12) – Cálculo do traço.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	23
Figura 2: Escória de Alto-Forno.....	25
Figura 3: Influência da superfície específica na resistência nas primeiras idades de concreto	27
Figura 4: Museu Iberê Camargo, Porto Alegre – RS	29
Figura 5: Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa).....	30
Figura 6: Gráfico Tensão-Deformação do concreto à compressão	37
Figura 7: Gráfico Tensão-Deformação do concreto à tração.	37
Figura 8: Interface fibra-matriz isolada.....	42
Figura 9: Comportamento de tensões após aparecimento de fissuras no concreto	43
Figura 10: Comportamento de tensões após aparecimento de fissuras no CRFA.....	44
Figura 11: Estufa de secagem dos agregados	46
Figura 12: Amostra para ensaio de granulometria.....	49
Figura 13: Disposição de peneiras sobre agitador mecânico.....	50
Figura 14: Material passante na peneira 4,75 mm.....	52
Figura 15: (a) Lavagem; (b) Regulagem da estufa.....	52
Figura 16: Pesagem de Amostra.....	53
Figura 17: Submersão da amostra	54
Figura 18: Eliminação de água na superfície do agregado	54
Figura 19: Pesagem da amostra saturada com superfície seca	55
Figura 20: Pesagem hidrostática da amostra	55
Figura 21: (a) Amostra posicionada na estufa; (b) Pesagem da amostra seca.....	56
Figura 22: (a) Pesagem da amostra; (b) Quarteamento	57
Figura 23: (a) Amostra submersa em água; (b) Retirada da água; (c) Amostra sujeita a corrente de ar	58
Figura 24: (a) Compactação superficial; (b) Cone de agregado saturado com superfície seca	58
Figura 25: (a) Pesagem amostra; (b) Pesagem frasco; (c) Pesagem amostra com frasco tarado	59
Figura 26: (a) Adicionando a água; (b) Pesagem do conjunto (amostra + recipiente + água) .	59
Figura 27: Pesagem da amostra seca	60
Figura 28: Preparação da amostra	61
Figura 29: Pesagem do recipiente.....	62
Figura 30: Adensamento da primeira camada	63

Figura 31: Rasamento do agregado	63
Figura 32: (a) Pesagem areia + recipiente; (b) Pesagem brita1 + recipiente.....	64
Figura 33: Medição de amostras de sobras de arame recozido liso coletadas.....	65
Figura 34: Corte das sobras de arame recozido liso	67
Figura 35: Arame recozido liso utilizado no estudo.....	67
Figura 36: Procedimento de compactação das camadas.....	69
Figura 37: Preparação dos moldes.....	70
Figura 38: Adensamento em mesa vibratória	71
Figura 39: Cura dos corpos de prova.....	72
Figura 40: Prensa hidráulica e posicionamento do corpo de prova.	73
Figura 41: Tira de madeira e posicionamento do corpo de prova	74
Figura 42: Pesagem amostras	75
Figura 43: Curva de Abrams para determinação da relação a/c	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição de Gauss para o comprimento das fibras	66
Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado miúdo	77
Gráfico 3: Curva granulométrica do agregado graúdo	78
Gráfico 4: Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo.....	91
Gráfico 5: Evolução da resistência à tração por compressão diametral ao longo do tempo	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentração de compostos no Cimento Portland comum	24
Tabela 2: Materiais adicionados ao Cimento Portland e suas características cimentícias	24
Tabela 3: Limites de composição do Cimento Portland (porcentagem de massa).....	31
Tabela 4: Faixas granulométricas da areia	33
Tabela 5: Tipos de Aditivos	35
Tabela 6: Tipos de fibras e suas seções esquemáticas do perfil	42
Tabela 7: Massa mínima por amostra de ensaio de granulometria.....	48
Tabela 8: Quantidade de amostras a serem coletadas para ensaios físicos e químicos	49
Tabela 9: Série de peneiras	50
Tabela 10: Massa mínima de amostra de ensaio de massa específica.....	53
Tabela 11: Características do recipiente	62
Tabela 12: Propriedades do aditivo plastificante, de acordo com fabricante	65
Tabela 13: Dados estatísticos da amostra das sobras de arame recozido liso	66
Tabela 14: Número de camadas para moldagem do corpo de prova.....	71
Tabela 15: Tolerância para idade de ensaio.....	73
Tabela 16: Resultados do teor de umidade	76
Tabela 17: Análise granulométrica do agregado miúdo.....	76
Tabela 18: Zona granulométrica.....	77
Tabela 19: Análise granulométrica do agregado graúdo	78
Tabela 20: Massa específica do agregado miúdo	79
Tabela 21: Massa específica agregado graúdo	79
Tabela 22: Massa unitária dos agregados	80
Tabela 23: Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto.....	81
Tabela 24: Resultado f_{c28}	81
Tabela 25: Estimativa do consumo de água	82
Tabela 26: Consumo de cimento	83
Tabela 27: Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto	84
Tabela 28: Volume compactado seco interpolado.....	84
Tabela 29: Consumo de Brita 1	85
Tabela 30: Resumo de materiais do traço de referência.....	86
Tabela 31: Traço do concreto de referência	86
Tabela 32: Dosagem de autores para estudos com CRFA.....	87

Tabela 33: Adições de sobra de arame da massa de cimento.....	87
Tabela 34: Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone	88
Tabela 35: Abatimento para os traços do concreto.....	88
Tabela 36: Quantidade de aditivo adicionado para cada traço	89
Tabela 37: Resultados da resistência à compressão com idade de 7 dias.....	89
Tabela 38: Resultados da resistência à compressão para a idade de 28 dias.....	90
Tabela 39: Resultados da resistência à tração para a idade de 7 dias	92
Tabela 40: Resultados da resistência à tração para a idade de 28 dias	92
Tabela 41: Resumo das características mecânicas e abatimento dos traços.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
CAAR	Concreto com adição de arame recozido liso
CAAR5,5	Concreto com adição de 5,50% de arame recozido liso
CAAR11	Concreto com adição de 11,00% arame recozido liso
Cm	Centímetros
CP	Cimento Portland
CRFA	Concreto reforçado com fibra de aço
CRSA	Concreto reforçado com sobras de arame recozido liso
DMC	Diâmetro máximo característico do agregado
Gpa	Giga Pascal
kg	Quilograma
kN	Quilonewton
MC	Módulo de finura do agregado
MPa	Mega Pascal
m	Metros
mm	Milímetros
µm	Micrometro
m ³	Metro cúbico
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NM	Norma Mercosul
Rm	Resistência à tração da fibra
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Problemática	19
1.2	Hipóteses.....	19
1.3	Objetivos.....	20
1.3.1	Geral	20
1.3.2	Específicos.....	20
1.4	Justificativa	20
1.5	Síntese metodológica	21
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	22
2.1	Concreto Simples.....	22
2.1.1	Composição do Concreto	22
2.1.1.1	Cimento	22
2.1.1.1.1	Cimento Portland Comum (CP I)	24
2.1.1.1.2	Cimento Portland com Adição e Cimento Portland Composto (CP I-S e CP II) ..	25
2.1.1.1.3	Cimento Portland de Alto-forno (CP III)	25
2.1.1.1.4	Cimento Portland Pozolânico (CP IV)	26
2.1.1.1.5	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)	27
2.1.1.1.6	Cimento Portland Branco (CPB)	28
2.1.1.1.7	Cimento Portland sufixo RS e BC.....	29
2.1.1.1.8	Limitações e aplicações dos tipos de Cimento Portland.....	30
2.1.1.2	Agregados.....	31
2.1.1.2.1	Classificação dos agregados	32
2.1.1.3	Aditivos	34
2.1.1.3.1	Classificação dos aditivos.....	34
2.2	Cenário atual e desenvolvimento do concreto	36
2.3	Fatores que influenciam nas propriedades do concreto	38
2.3.1	Propriedades no Estado Fresco.....	38
2.3.2	Propriedades no Estado Endurecido.....	39
2.4	Concreto reforçado com fibras de aço.....	40
2.4.1	Histórico e desenvolvimento das fibras de aço	40
2.4.2	Classificação das Fibras	41
2.4.3	Interface Fibra-Matriz	42

2.4.4	Interação Fibra-Matriz.....	43
3	METODOLOGIA	45
3.1	Tipo de Pesquisa	45
3.2	Materiais e Métodos	46
3.2.1	Agregados.....	46
3.2.1.1	Teor de umidade.....	46
3.2.1.2	Granulometria.....	47
3.2.1.3	Massa específica.....	51
3.2.1.3.1	Agregado Graúdo.....	51
3.2.1.3.2	Agregado Miúdo.....	56
3.2.1.4	Massa unitária.....	61
3.2.2	Cimento	64
3.2.3	Água	64
3.2.4	Aditivo.....	65
3.2.5	Sobras de arame recozido liso	65
3.2.6	Concreto	68
3.2.6.1	Dosagem de acordo com método da ABCP	68
3.2.6.2	Abatimento de tronco de cone	68
3.2.6.3	Moldagem dos corpos de prova.....	70
3.2.6.4	Ensaio de resistência à compressão do concreto	72
3.2.6.5	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	74
4	RESULTADOS	75
4.1	Teor de umidade.....	75
4.2	Composição granulométrica dos agregados.....	76
4.3	Massa específica.....	79
4.3.1	Agregado Miúdo.....	79
4.3.2	Agregado Graúdo	79
4.4	Massa unitária	80
4.5	Cálculo do traço do concreto	80
4.6	Adição das sobras de arame recozido liso	87
4.7	Análise do ensaio de abatimento do tronco de cone	87
4.8	Resistência à compressão	89
4.9	Resistência à tração por compressão diametral	91
5	CONCLUSÃO	94

5.1	Recomendações para futuras pesquisas	95
	REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

A construção civil trata-se de um dos principais setores no Brasil em relação ao desenvolvimento socioeconômico. Sua colaboração gira em torno de 5,6% dos salários pagos na economia brasileira, além de 19% do PIB do país (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2012). Em contrapartida, se posiciona como um dos setores, apesar de tradicional, menos otimizado da indústria brasileira (NASCIMENTO E SANTOS, 2003).

Se faz possível compreender facilmente esse comportamento da indústria da construção civil quando se observa o cotidiano de grandes centros urbanos. A necessidade de infraestrutura para o desenvolvimento urbano impulsiona a construção civil, sendo responsável pela ocupação de 9% da população (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2012). Contudo essa participação socioeconômica não retorna proporcionalmente em desenvolvimento para o setor, não só pela falta de incentivo, mas também pela dinamicidade de processos e variáveis que acabam gerando maior complexidade ao mesmo. Logo, a disparidade de processos mais enxutos promovidos por outros setores, considerados mais desenvolvidos, em relação à construção civil é plausível.

Na contramão do histórico citado anteriormente, os profissionais da construção civil, veem desenvolvendo estudos com o intuito de qualificar o setor, seja pelo desenvolvimento de softwares ou materiais com propriedades melhoradas.

Seguindo essa vertente de melhorias, mais especificamente voltado aos materiais, e analisando estudos de fibras como adição no concreto, observou-se a necessidade reutilizar, tendendo-se ao pensamento enxuto, sustentável e de melhoria das propriedades dos materiais, as sobras de arame recozido liso, análoga as fibras de aço, como adição no concreto com o intuito de melhorar as propriedades mecânicas e usufruir ao máximo de insumos disponíveis no canteiro de obras.

Nesse contexto, busca-se no presente trabalho analisar as propriedades mecânicas do concreto com adição de sobras de arame recozido liso por meio de ensaios laboratoriais de forma a embasar e justificar tal emprego dentro dos canteiros de obra, de maneira semelhante ao que é feito atualmente com as fibras de aço.

1.1 Problemática

O processo de crescimento vegetativo, acaba gerando paralelamente um aumento significativo da quantidade de resíduos sólidos no meio ambiente. O crescimento da construção civil acompanha o crescimento populacional e essa atividade é um dos principais meios de geração de resíduos sólidos. Consequentemente, há uma inquietude para tornar esse setor mais sustentável, logo tornou-se uma das principais vertentes de atuação dos profissionais da engenharia civil atualmente.

Coincidente a questão ambiental, a questão econômica é sempre um fator ímpar. Isso porque o desperdício é um ponto que ainda possui uma ocorrência significativa na construção civil, principalmente em obras de pequeno porte contendo mão-de-obra com pouca qualificação, em que o controle de materiais, planejamento e soluções sustentáveis são raramente vistos.

Ainda sobre o crescimento populacional citado anteriormente, sua concentração proporciona uma maior valorização dos terrenos em grandes centros. Esse fenômeno produz a necessidade de melhor aproveitamento dos espaços, devido à escassez dos mesmos, resultando em maiores desafios para a engenharia civil, com construções mais esbeltas.

Os empreendimentos mais altos e esbeltos produzem maiores solicitações estruturais. Consequentemente, se torna necessário utilizar materiais mais eficientes para atender a esses requisitos, e o concreto armado, como material estrutural, é o insumo mais consumido no Brasil. Assim, desenvolver concretos mais eficientes é desenvolver a construção civil brasileira.

A adição das sobras de arame recozido liso no concreto, possui o intuito de melhorar as suas propriedades mecânicas, não deixando de lado o reaproveitamento de materiais, tendendo a um material mais eficiente e ecológico. À vista disso, a adição desse resíduo oferece evolução das propriedades mecânicas do concreto à compressão e à tração?

1.2 Hipóteses

- Adição de sobras de arame recozido liso aumenta resistência do concreto à compressão
- Adição de sobras de arame recozido liso gera alteração relevante na resistência à tração do concreto
- Adição de sobras de arame recozido liso no concreto piora a consistência do concreto

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar a potencialidade da adição das sobras de arame recozido liso como adição no concreto.

1.3.2 Específicos

- a. Estabelecer, dentro dos teores de 0%, 5,5% e 11% (de massa de arame em relação a massa de cimento), o melhor teor de adição das sobras de arame recozido liso na produção do concreto convencional;
- b. Avaliar o impacto da adição de sobras de arame recozido liso na consistência do concreto convencional em seu estado fresco
- c. Analisar as implicações da adição das sobras de arame recozido liso nas propriedades mecânicas do concreto convencional;

1.4 Justificativa

Desde seu surgimento, o ser humano busca o desenvolvimento de materiais com viés sustentável e com propriedades mais refinadas, é uma predisposição evolutiva que se mantém até os dias atuais. Portanto, essa disposição não poderia ser diferente no setor da construção civil.

A competitividade no campo da construção civil, impõe a necessidade de implantação de uma filosofia mais inovadora, econômica e qualitativa; para que uma empresa consiga sustentação, reconhecimento e crescimento dentro do mercado

Um dos setores que mais gera resíduos sólidos no mundo é o setor da construção civil. A preocupação governamental e social com a sustentabilidade, é um fator determinante para que as empresas encarem essa questão, não como um esforço em demasia, mas sim como um dever para o desenvolvimento mais sustentável.

Construções mais esbeltas, que permitam aproveitar melhor os espaços, devido ao alto custo por m² das grandes cidades e arquiteturas cada vez mais arrojadas, é uma necessidade

vigente. Para suprir essa dificuldade é indispensável materiais com melhores propriedades mecânicas. Por esse motivo, o uso de sobras de arame recozido visa restaurar essa inadequação.

1.5 Síntese metodológica

Este trabalho estrutura-se em cinco capítulos. O capítulo 1, expõe as particularidades sobre o tema objeto de estudo, assim como apresenta a problemática do estudo, suas hipóteses e a justificativa que comprova e objetiva a continuidade do mesmo. Sendo assim, aborda as diretrizes do trabalho.

O capítulo 2, retrata conceitos e definições do concreto através do estudo bibliográfico, aborda sobre componentes do concreto (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e aditivos), apresenta sobre a situação atual que se encontra o concreto no mercado da construção civil, suas vantagens e fragilidades, e os vieses naturais de pesquisa para correção de suas zonas frágeis. Além disso, aponta as propriedades do concreto no estado fresco e no estado endurecido, bem como os fatores que influenciam direta ou indiretamente nessas propriedades do concreto. Por fim, retrata o histórico do concreto reforçado com fibras de aço, a classificação das fibras, assim como a relação e o comportamento das fibras de aço com a matriz cimentícia.

O capítulo 3, exhibe a metodologia, abordando de forma detalhada, materiais e métodos, para realização dos ensaios laboratoriais conduzidos pelas normas técnicas, buscando fundamentar as informações apresentadas no capítulo 4.

O capítulo 4, expõe os resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais de caracterização por meio análise normativa, bem como os resultados da resistência dos concretos com adição de sobras de arame recozido liso.

O capítulo 5, aborda as considerações finais, explicando os resultados obtidos através de fundamentação técnica, assim como sugestões de novas pesquisas.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto Simples

A NBR 12655 (2015) - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento, define concreto como:

Material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água) (NBR 12655, 2015).

Logo, reconhece-se que o concreto é mistura de diversos materiais, que após um determinado período, reagem na presença de água, iniciando o seu endurecimento até tornar-se uma rocha artificial. Esse mix de materiais proporciona uma vasta combinação homogênea, a partir das variações dos seus teores dentro do concreto, esses, influenciam diretamente nas propriedades da mistura, tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Para trabalhar diante de inúmeras possibilidades na produção do concreto, sejam elas voltadas à natureza do material, aos teores da mistura ou no processo executivo, faz-se necessário entender os insumos e como eles interferem nas propriedades do concreto.

2.1.1 Composição do Concreto

Usualmente o concreto é composto por 4 materiais: cimento, areia, agregado miúdo e agregado graúdo, podendo ainda ser inserido alguns aditivos para melhoria das características físicas ou químicas, conforme NBR 12655 (2015).

2.1.1.1 Cimento

O cimento é um material com características adesivas e coesivas, logo possibilitando-o para união de partes minerais no aspecto denso (NEVILLE, 2016. p.1). Assim, o cimento se destaca como material fundamental na constituição do concreto, já que suas propriedades geram as principais vantagens na utilização do mesmo; como a plasticidade e resistência.

A origem do cimento está ligada aos Egípcios, quanto utilizaram gesso impuro como material cimentício. Em seguida, os Gregos e Romanos empregaram calcário calcinado com adição de areia e água. Porém, foi no Reino Unido em 1824, por Joseph Aspdin, que surgiu a principal patente de cimento, denominado de Cimento Portland, (NEVILLE, 2016. p.2). Esse cimento, conhecido mundialmente é caracterizado, como:

O cimento obtido pela queima, à temperatura de clinquerização, de uma mistura íntima de materiais calcários e argilosos ou de outros materiais que contenham sílica, alumina e óxidos de ferro e pela posterior moagem do clínquer resultante” (NEVILLE, 2016. p.2).

Utiliza-se demasiadamente o Cimento Portland na atualidade em razão a sua competência resistiva à compressão e endurecimento mesmo quando exposto a água. Entretanto, não existe apenas um único tipo de Cimento Portland, haja vista distintas necessidades construtivas. A NBR 16697 (2018) - Cimento Portland - Requisitos, divide o Cimento Portland em diferentes tipos e subtipos, conforme figura abaixo:

Figura 1: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo		
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b -		
	Com adição	CP I-S				
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E				
	Com material carbonático	CP II-F				
	Com material pozolânico	CP II-Z				
Cimento Portland de alto-forno		CP III				
Cimento Portland pozolânico		CP IV				
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d			
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c			
	Não estrutural	CPB	-	-		

Fonte: Adaptado NBR16697 (2018)

As variações no cimento Portland, ilustradas anteriormente, dão-se de modo geral por dois parâmetros, a composição química e a finura. Esses são responsáveis por transformar significativamente as características da pasta de cimento, e conseqüentemente os atributos do concreto.

2.1.1.1.1 Cimento Portland Comum (CP I)

O calcário, sílica, alumina e óxido de ferro são as matérias-primas que fazem parte da composição do Cimento Portland Comum. No interior do forno, a cerca de 1450 °C, essas matérias-primas reagem entre si, produzindo compostos complexos, onde se destacam: C₂S, C₃S, C₃A, C₄AF e um resíduo insolúvel. Além desses compostos principais, existem compostos secundários, como: Na₂O e K₂O. Esses álcalis, apesar de em pequena concentração, podem reagir com alguns agregados gerando a reação RAA (Reação álcali-agregado), causando a desagregação no concreto (NEVILLE, 2016. p.8).

Portanto, diferentes compostos fazem parte da constituição do cimento, a concentração desses compostos no cimento Portland comum, é baseada conforme tabela abaixo:

Tabela 1: Concentração de compostos no Cimento Portland comum

Teor de Compostos Típicos	
C ₃ A	10,8%
C ₃ S	54,1%
C ₂ S	16,6%
C ₄ AF	9,1%
Compostos Secundários	-

Fonte: Adaptado (NEVILLE, 2016)

Essa composição base, mostrada na Tabela 1, norteia o cimento Portland comum, que se define como um cimento que não atinge resistência elevada em relação a outros tipos de cimentos, além de não reagir bem quando exposto a sulfatos (NEVILLE, 2016. p.70). Porém, é a partir do cimento Portland comum, por intermédio da adição e manipulação dos materiais, que se torna possível produzir outros tipos e subtipos de cimento Portland, como apontado pela NBR 16697 (2018).

Os materiais usuais que são incorporados ao cimento Portland comum, para produção de outros tipos de cimento, e suas características cimentícias, apresentam-se na tabela abaixo:

Tabela 2: Materiais adicionados ao Cimento Portland e suas características cimentícias

Materiais e suas características cimentícias	
Escória Granulada de Alto Forno	Hidraulicidade Latente, algumas vezes hidráulica
Pozolana Natural	Hidraulicidade Latente com Cimento Portland
Cinza Volante	Hidraulicidade Latente com Cimento Portland
Sílica Ativa	Hidraulicidade Latente com Cimento Portland
Filer Calcário	Ação Física e Hidraulicidade Latente com Cimento Portland
Outros Filers	Ação Física, mas leve Hidraulicidade Latente com Cimento Portland

Fonte: Adaptado (NEVILLE, 2016)

Portanto, inserção desses materiais, citados na Tabela 2, provoca alterações na hidratação do cimento, pega, porosidade, resistência mecânica, calor de hidratação, consistência da pasta, além de outras propriedades que conseqüentemente interferem no concreto. Logo, fundamenta-se a necessidade de classificação dos tipos de cimento e, esses, são apresentados em seguida, conforme a NBR 16697 (2018).

2.1.1.1.2 Cimento Portland com Adição e Cimento Portland Composto (CP I-S e CP II)

Com a intenção de corrigir as deficiências e potencializar as qualidades do cimento Portland comum, foi desenvolvido o cimento Portland com adição (CP I-S).

Visando ainda mais melhorias, foi produzido o cimento Portland composto, que se difere do CP I-S essencialmente pelo teor de adição dos materiais, como mostrado na Figura 5.

2.1.1.1.3 Cimento Portland de Alto-forno (CP III)

A escória de alto-forno, é a principal adição do cimento Portland do tipo CP III. Esse composto é um resíduo da produção do ferro gusa, resultado da fusão das impurezas do minério de ferro (ALMEIDA, 2014). A quantidade de escória de alto-forno produzida é intensa na indústria siderúrgica, sendo para cada 1000 kg de ferro gusa fabricado, 300 kg de escória de alto-forno são gerados. Além da alta disponibilidade, a escória de alto-forno é quimicamente semelhante ao cimento Portland, quando resfriada até se solidificar como um material vítreo, consistindo em uma mistura de óxidos de cálcio, sílica e alumina (NEVILLE, 2016. p.81).

A Figura 2 ilustra a aparência da escória de alto forno, resíduo de produção do gusa.

Figura 2: Escória de Alto-Forno



Fonte: (MAGALHÃES, 2017)

Existem duas formas principais para a utilização escória de alto-forno. A primeira delas consiste na adição da escória de alto-forno ainda no processo de fabricação do cimento por via seca. Em outras palavras, a escória é adicionada a mistura de materiais calcários e argilosos da produção de cimento, passando por todo o processo natural de produção, resultando assim no clínquer utilizado no cimento Portland de escória de alto-forno. A segunda maneira de utilizar a escória, por ser um material hidráulico, é efetuando uma moagem em finura adequada, empregando-a como material cimentício (NEVILLE, 2016. p.81).

As principais características do cimento produzido com adição de escória de alto-forno, o CP III (Cimento Portland de Alto-forno), está relacionada ao seu baixo calor de hidratação, resultado de um lento ganho de resistência nas primeiras idades. O CP III apresenta, também, objeção a ataques químicos por conta de sua baixa permeabilidade à água. Além disso, os estudos de Daube e Bakker (1986) afirmam que:

Quando o teor de escória de alto-forno é pelo menos 60% da massa de material cimentício e a relação água/ cimento é 0,50, o coeficiente de difusão do concreto exposto a cloretos é pelo menos 10 vezes menor, em comparação a concretos produzidos somente com cimento Portland.

Os efeitos benéficos da escória são resultado da densificação da microestrutura da pasta de cimento hidratada, com maior quantidade de poros preenchidos com C-S-H do que em pasta constituída somente de cimento Portland (DAUBE e BAKKER 1986, apud NEVILLE, 2016. p.694)

Logo, essas características beneficiam a utilização desse tipo de cimento (CP III) em concretagens de grande volume, devido ao seu baixo calor de hidratação, e em ambientes agressivos, devido a sua baixa porosidade.

2.1.1.1.4 Cimento Portland Pozolânico (CP IV)

Para o cimento CP IV, tem-se como principal adição a pozolana. Segundo Montanheiro et al (2002) “Pozolanas são substâncias naturais ou artificiais, de composição silicosa ou sílico-aluminosa, que, não sendo por si sós cimentícias, reagem, porém, com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente resultando em compostos com propriedades cimentícias”.

Tem-se a cinza vulcânica como sendo a pozolana. Entretanto, a NBR 12653 (2014) - Materiais pozolânicos - Requisitos, amplia essa visão e define os materiais pozolânicos, como: pozolanas naturais, pozolanas artificiais, argilas calcinadas, cinzas volantes e outros materiais que apresentarem comportamento pozolânico. Logo, existe uma vasta lista de materiais que são caracterizados como tal.

Como acontece com a escória de alto-forno, a adição da pozolana pode acontecer de duas formas: sendo insumo e participando do processo de produção do cimento Portland, ou sendo adicionada posteriormente, até mesmo misturando-a com o cimento através de betoneira.

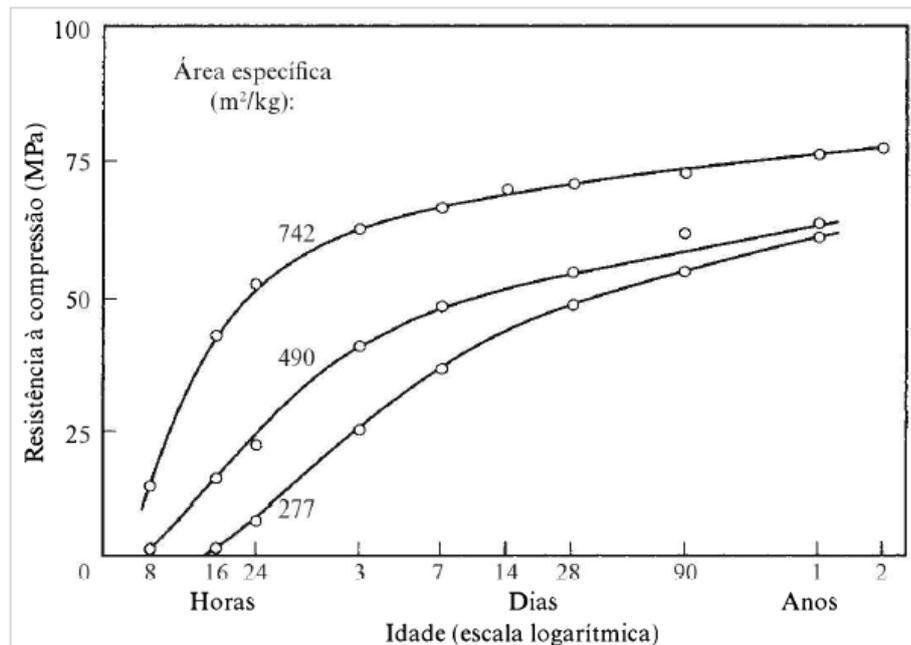
O cimento pozolonânico tem seus limites de adição de pozolona ilustrado na Figura 5 e apresenta como características o baixo calor de hidratação e certa resistência a ataques por sulfatos e ácidos (NEVILLE, 2016. p.89).

2.1.1.1.5 Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI)

Diferentemente dos tipos de cimento citados anteriormente, o cimento CP V-ARI, possui sua principal característica voltado ao segundo parâmetro principal que altera o comportamento de um cimento, a finura. O Cimento de Alta Resistência Inicial, é desenvolvido a partir de uma moagem até uma finura máxima de 6 μm , conforme NBR 16697 (2014). Essa finura alta proporciona uma maior superfície específica ao cimento, estabelecendo uma rápida hidratação, o que acaba gerando maior calor de hidratação e resistência nas primeiras idades (NEVILLE, 2016. p.73).

A figura a seguir retrata a influência da superfície específica, decorrente da finura do cimento, na resistência inicial de concretos com relação água/cimento de 0,40:

Figura 3: Influência da superfície específica na resistência nas primeiras idades de concreto



Fonte: (NEVILLE, 2016. p.74).

Observa-se, na Figura 3, que a interferência da finura no cimento utilizado na produção do concreto é significativa nas primeiras idades. Entretanto, observa-se também, que com o passar do tempo a diferença entre as resistências reduzida e essa tendência segue ao longo dos anos.

Em contrapartida ao benefício de altas resistências iniciais, o CP V-ARI é altamente reativo, e como já citado, possui elevado calor de hidratação, o que acaba gerando uma perda de água por evaporação, favorecendo o aparecimento de poros (CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2016). Essa porosidade acaba propiciando ataques de agente químicos, consequentemente reduzindo a durabilidade da estrutura de concreto.

2.1.1.1.6 Cimento Portland Branco (CPB)

Observa-se que a utilização do cimento Portland branco é restrita a interesses arquitetônicos, haja vista que as tintas atuais conseguem garantir textura, pigmentação e ótima qualidade de acabamento. Portanto, observa-se raramente a presença desse cimento nos canteiros de obras, ainda mais pensando em fins estruturais.

Ainda que pouco aplicado, o CPB, devido a reduzida quantidade de álcalis solúveis, apresenta a capacidade de não ser susceptível à manchamento (NEVILLE, 2016. p.79). Assim, o CPB, torna-se vantajoso em algumas ocasiões práticas, como a sua aplicação em esculturas.

O cimento Portland branco é composto por algumas matérias-primas diferentes do cimento Portland comum. Usualmente é empregado caulim, em parceria com giz e calcário, que são levados ao forno a uma temperatura de 1650 °C, utilizando óleo ou gás como combustível para evitar contágio com cinza de carvão, além de moinho revestido de pedra e cerâmica para não contaminação com o ferro (NEVILLE, 2016. p.79).

Portanto, resultado do processo de fabricação mais oneroso e matérias-primas mais caras, o cimento Portland branco detém custo mais elevado em comparação ao cimento Portland comum. Em contrapartida apresenta resultados estéticos convenientes como visto na estrutura do museu Iberê Camargo, em Porto Alegre – RS, ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Museu Iberê Camargo, Porto Alegre – RS



Fonte: (KIRCHHEIM *et al.*, 2011)

2.1.1.1.7 Cimento Portland sufixo RS e BC

O ataque por sulfatos acontece a partir de duas reações contidas no processo de hidratação do cimento. A primeira reação dá-se quando o cimento está endurecido, o aluminato de cálcio hidratado reage com os sulfatos existentes no meio externo, resultando assim no sulfoaluminato de cálcio que possui volume 227% maior na fase sólida. Já a segunda reação acontece por meio das trocas de bases entre hidróxido de cálcio e sulfatos, originando o sulfato de cálcio, que em fase sólida, possui volume 124% maior; essas expansões provocam a desagregação do concreto (NEVILLE, 2016. p.77).

Com o conceito de minimizar o ataque por sulfatos, o cimento resistente a sulfatos foi parametrizado. O sufixo RS designa esse cimento, que se caracteriza, conforme NBR 16697 (2014), como qualquer tipo de cimento (como os citados já anteriormente) que apresente expansão menor ou igual a 0,03% após realização de ensaio de variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio, sendo esse, regulamentado pela NBR 13583 (2014) - Cimento Portland - Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio.

Já o cimento BC, que é um cimento de baixo calor de hidratação, é composto por reduzidas quantidades de C3S e C3A (compostos com comportamento de hidratação rápida), o que acaba proporcionando uma menor velocidade de desenvolvimento da resistência inicialmente. Entretanto, a resistência final em relação ao cimento Portland comum não é afetada (NEVILLE, 2016. p.76).

Sabe-se que a reação de hidratação do concreto é exotérmica, existindo uma elevada liberação de calor. Logo, em peças de grande volume, ocorre expansão térmica considerável no início da hidratação e posteriormente acontece o processo de retração, propiciando o aparecimento de fissuras.

Portanto, o cimento com baixo calor de hidratação tem como propósito permitir a concretagem de grandes volumes a partir da limitação da reação exotérmica. A NBR 16697 (2014), no item 5.4, estabelece que para se caracterizar um cimento com baixo calor de hidratação o mesmo deve atingir em 41 horas o valor máximo de 270 J/g, conforme valores determinados pelo método da garrafa de Langavant estabelecido na NBR 12006 (1990) - Cimento - Determinação do calor de hidratação pelo método de garrafa de Langavant - Método de ensaio.

2.1.1.1.8 Limitações e aplicações dos tipos de Cimento Portland

Com o intuito de padronizar os tipos de cimento, de modo que a variação de comportamento não seja significativa para o construtor, a NBR 16697 (2014) impôs limites na composição do cimento Portland e seus tipos, como mostra a figura abaixo:

Figura 5: Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland comum	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 – 100	0 – 5		
	CP I-S			90 – 94	0	0	6 – 10
Cimento Portland composto com escória granulada de alto-forno	CP II-E			51 – 94	6 – 34	0	0 – 15
Cimento Portland composto com material pozolânico	CP II-Z			71 – 94	0	6 – 14	0 – 15
Cimento Portland composto com material carbonático	CP II-F			75 – 89	0	0	11 – 25
Cimento Portland de alto forno	CP III			25 – 65	35 – 75	0	0 – 10
Cimento Portland pozolânico	CP IV			45 – 85	0	15 – 50	0 – 10
Cimento Portland de alta resistência inicial	CP V ^a	ARI		90 – 100	0	0	0 – 10
Cimento Portland branco	Estrutural	25, 32 ou 40		75 – 100	–	–	0 – 25
	Não estrutural	–	–	50 – 74	–	–	26 – 50

^a No caso de cimento Portland de alta resistência inicial resistente a sulfatos (CP V-ARI RS), podem ser adicionadas escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos.

Fonte: NBR 16697 (2018)

Sabe-se que as adições, com o objetivo de melhorias das propriedades do cimento e seguidamente do concreto, são sempre benéficas ao desenvolvimento dos materiais. Entretanto,

precisa-se garantir segurança da qualidade da matriz cimentícia e padronização dos materiais, para que esses possam ser utilizados independentemente da localização e marca disponível pelo fornecedor de materiais.

A padronização dos tipos de cimento induz a sua aplicação para determinadas atividades. Como citado anteriormente, cada tipo de cimento possui particularidades, e essas, convertem-se em benefícios e deficiências, provocando predisposições de uso.

A tabela abaixo, indica os tipos de cimento e suas aptidões para algumas execuções dentro da construção civil:

Tabela 3: Limites de composição do Cimento Portland (porcentagem de massa)

Atividade	Tipos de cimento				
	CP II	CP III	CP IV	CP V -ARI	CPB
Argamassa de revestimento	X	X	X		
Argamassa de assentamento	X	X	X		
Concreto Simples	X	X	X		
Concreto Magro	X	X	X		
Concreto Armado	X	X	X	X	X
Concreto Protendido	X	X	X	X	X
Elementos pré-moldados de concreto	X			X	X
Pavimento de concreto simples ou armado	X	X	X		
Concreto em ambientes agressivos		X	X		
Solo-cimento	X	X	X		

Fonte: Adaptado (PUGLIESI, 2020)

Dessa forma, deve-se levar em consideração a tipologia do cimento, o que remete as características, para sua aplicação em determinada atividade. Outro fator importante, é a disponibilidade regional e o custo, sendo comum o déficit de opções dos tipos de cimento em algumas regiões do Brasil. Uma maneira de contornar esse déficit de opções de cimento, dá-se por meio da contratação de carga a granel (carga fechada). Porém, essa metodologia, depende do porte da obra que vai ser executada, podendo ser custosa demais para pequenos empreendimentos.

2.1.1.2 Agregados

Os agregados constituem 75% do volume do concreto, sendo assim, as suas características interferem diretamente na qualidade final da mistura (NEVILLE, 2016. p.111).

Esse elevado teor dos agregados no concreto dá-se devido a necessidade de diminuir a quantidade de composto de cimento da constituição do concreto, pois em demasia acaba liberando calor excessivo durante o processo de hidratação, promovendo expansão térmica e, posteriormente, retração, resultando no surgimento de fissuras.

Além do fator dilatação térmica, o cimento é um material de maior valor aquisitivo em relação aos agregados, conseqüentemente um maior teor de agregados propicia uma redução dos custos do concreto.

Em função da interferência significativa dos agregados na mistura do concreto, a NBR 7211 (2009) - Agregados para concreto - Especificação, define, com o intuito de garantir a qualidade dos agregados e conseqüentemente dos concretos, que:

os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. NBR 7211 (2009).

Sendo assim, os agregados são materiais inertes ligados a pasta de cimento que possuem a função de gerar volume. Porém, para (NEVILLE, 2016. p.111) os agregados não são verdadeiramente inertes, haja vista que a suas propriedades físicas, térmicas e químicas, influenciam nas características finais do concreto.

Portanto, deve-se conhecer as propriedades e características dos agregados para que o concreto seja produzido levando em consideração a sua aplicação, sem que esse perca eficácia e eficiência das suas propriedades.

2.1.1.2.1 Classificação dos agregados

Os agregados podem ser classificados quanto à sua origem, dimensão das partículas, massa unitária e composição mineralógica. Quanto à origem os agregados podem ser naturais, industrializados, artificiais ou reciclados:

- A NBR 9935 (2011) - Agregados - Terminologia, define agregado natural como: “material pétreo granular que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem”. Como exemplos de agregados naturais, pode-se destacar: areia de rio, areia cava ou pedregulho (SBRIGHI NETO, 2005).

- Os agregados industrializados são, apesar de naturais, resultados do processo de britagem mecânica para encaixarem-se à granulometria desejada, como por exemplo: pedra brita (SBRIGHI NETO, 2005).

- O agregado artificial, de acordo com NBR 9935 (2011) é caracterizado como: “material granular resultante de processo industrial envolvendo alteração mineralógica. química ou físico-química da matéria-prima original, para uso como agregado em concreto ou argamassa”. Tem-se como exemplo desses agregados a argila expandida e escória britada (SBRIGHI NETO, 2005).

- Sabe-se que a construção civil é uma das atividades mais poluentes do mundo. Com o desenvolvimento da preocupação ambiental os agregados reciclados apresentam-se como uma tendência atual. Esses são definidos como: “material granular obtido de processos de reciclagem de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concreto fresco por lavagem, para uso como agregado” segundo a NBR 9935 (2011).

Já a classificação quanto à dimensão das partículas é a mais importante em relação aos agregados, conhecer a granulometria do material é a base para dosagem do concreto, e a NBR 7211 (2009) divide os agregados em dois grupos, agregados graúdos e agregados miúdos. Os agregados miúdos são aqueles no qual as partículas passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, com retificação aos limites estabelecidos pela Tabela 2 da mesma norma (NBR 7211), a partir de ensaio estabelecido de acordo com NBR NM 248 (2003) - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

Sabe-se ainda que a areia é um agregado miúdo e que também é o insumo mais utilizado, dentro desse grupo, para a produção do concreto. Bauer (2008) divide esse agregado miúdo em três faixas granulométricas, observando tendências de melhor comportamento de cada faixa para determinadas aplicações. A divisão de Bauer (2008), é apresentada abaixo:

Tabela 4: Faixas granulométricas da areia

Faixas granulométricas	Classificação
0,15 a 0,60 mm	Areia Fina
0,60 a 2,40 mm	Areia Média
2,40 a 4,80 mm	Areia Grossa

Fonte: Adaptado Bauer (2008)

Já os agregados graúdos, segundo a NBR 7211 (2009), são aqueles no qual as partículas passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, com retificação aos limites estabelecidos pela Tabela 6 da mesma norma (NBR 7211), a partir de ensaio estabelecido de acordo com NBR NM 248 (2003).

As limitações granulométricas citadas anteriormente pela NBR 7211 (2009) possuem o intuito de se obter um agregado contínuo e uniforme para a produção do concreto. Essa condição, segundo (MEHTA; MONTEIRO, 1994), garante um concreto com maior trabalhabilidade, além de reduzir as dimensões dos poros do concreto a partir da melhor acomodação dos grãos. Assim, ressalta-se a importância das características dos agregados no concreto.

2.1.1.3 Aditivos

De acordo com (NEVILLE, 2016. p.257) os aditivos não são essenciais para a produção do concreto como são o cimento, agregados e a água. Entretanto, esses, são um componente importante e cada vez mais utilizado.

Sabe-se, então, que os aditivos estão passando por uma expansão dentro do mercado da construção civil, mais especificamente na produção do concreto. Bauer (2008), justifica esse avanço dos aditivos ao defini-lo, como:

todo produto não indispensável à composição e finalidade do concreto, que colocado na betoneira imediatamente antes ou durante a mistura do concreto, em quantidades geralmente pequenas e bem homogeneizado, faz aparecer ou reforçar certas características. Bauer (2008).

Logo, os aditivos tem função importante para o desenvolvimento de concretos mais eficientes ou com finalidades especiais, aumentando a durabilidade das edificações atuais em consonância com a norma de desempenho NBR 15575 (2013) - Edificações habitacionais - Desempenho.

2.1.1.3.1 Classificação dos aditivos

Bauer (2008) afirma, em 2008, devido à grande variação de composição e de características dos aditivos existente, a necessidade de reconhecimento dos efeitos (benéficos e maléficos) dos aditivos por meio de ensaios padronizados. (NEVILLE, 2016. p.258) ainda

reforça a afirmação anterior, quando relata a influência comercial sobre os benefícios dos aditivos, sendo necessário maior compreensão dos efeitos propostos.

Sabe-se que NBR 11768 (2011) - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos, trazia um limite de adição dos aditivos como sendo de 5% em relação a massa de material cimentício, mas não apresentava ensaios de aferição sugeridos por Bauer (2008). Entretanto, em 2019, a nova NBR 11768-1 (2019) - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 1: Requisitos, reitera o limite de adição de 5% em relação a massa de material cimentício, com exceção para concretos projetados ou aditivos compensadores de retração, e a NBR 11768-2 (2019) - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 2: Ensaios de desempenho, traz, enfim, os ensaios de desempenho em relação aos aditivos. Assim, garante-se maior confiabilidade da melhoria das propriedades propostas pelos aditivos presentes no mercado e classificação assertiva dos mesmos.

A NBR 11768-1 (2019) divide os aditivos em 16 tipos principais:

Tabela 5: Tipos de Aditivos

Tipos de aditivos	
RA1	Redutor de água 1
RA2	Redutor de água 2
CH	Controlador de calor de hidratação
AP	Acelerador de pega
AR	Acelerador de resistência
CR	Compensador de retração
RR	Redutor de retração
APP	Acelerador de pega para concreto projetado
IA	Incorporador de ar
IA-L	Incorporador de ar para concreto leve
RC	Redutor de corrosão
MV-RT	Modificador de viscosidade e retentor de água
MV-AS	Modificador de viscosidade antisegregante
RAC	Redutor de absorção capilar
RP	Redutor de permeabilidade
CVP	Aditivo para concreto vibroprensado

Fonte: Adaptado NBR 11768-1 (2019)

Devido à vasta opções de aditivos no mercado, a escolha do aditivo deve seguir alguns critérios. O custo do concreto final com a adição do aditivo, o conhecimento dos efeitos provocados, capacitação da equipe responsável pela incorporação do aditivo na obra, são

algumas recomendações de Bauer (2008). Já (NEVILLE, 2016. p.281) ressalta a importância da temperatura no comportamento do aditivo, a compatibilização entre aditivos (quando houver necessidade de adicionar dois aditivos) e o teor de íons cloretos existentes no aditivo. Logo, o emprego do aditivo deve ser seguido de parâmetros técnicos bem definidos.

2.2 Cenário atual e desenvolvimento do concreto

Apesar de existirem outros materiais construtivos, o concreto se destaca devido a sua resistência no estado endurecido e plasticidade no estado fresco, além de apresentar maior durabilidade em contato com a água do que outros materiais, como aço e a madeira. Em 2009, 11 bilhões de toneladas de concreto foram usadas em todo o mundo, incluindo 30 milhões somente no Brasil (CONCRETO & CONSTRUÇÕES - IBRACON, 2009, p.14)

Já em 2012, influenciado pelas obras provenientes dos programas habitacionais, com metodologia de parede de concreto e as obras de infraestrutura, incentivadas pelo PAC (Programa de Aceleração do Crescimento), o consumo de concreto totalizou 51 milhões de m³, aproximadamente 125 milhões de toneladas (Pesquisa Inédita e Exclusiva Revela Cenário Do Mercado Brasileiro De Concreto, 2013). Esse consumo, em relação ao ano de 2009, demonstrou um aumento de 416,66%, constatando ainda mais a hegemonia desse material no mercado da construção civil.

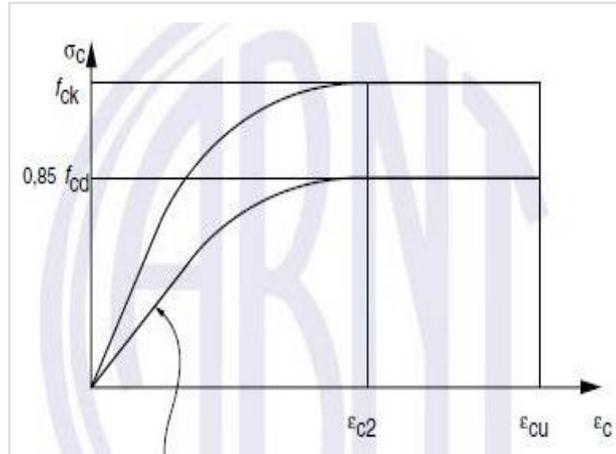
Devido à alta demanda por concreto, os profissionais de engenharia se dedicam diariamente para o desenvolvimento de materiais que possam melhorar as suas propriedades. Lima Junior (2003, p.1), cita que a busca por novos materiais que façam um aprimoramento das propriedades do concreto é constante dentro da engenharia civil, destacando a busca pelo aumento da resistência à compressão dos CAD (Concreto de Alto Desempenho).

Como afirmativa dessa corrida evolutiva do concreto, hoje, é possível desenvolver concretos acima de 50 MPa de resistência à compressão com certa simplicidade e que esses ainda possuam propriedades satisfatórias em seu estado fresco. Diferentemente, acontecia nas décadas de 50 e 60, quando a resistência dos concretos variava de 10 a 20 MPa, devido à falta de refinamento dos materiais da época, Lima Junior (2003, p.1, apud AÍTICIN, 2000).

Apesar de apresentar um histórico evolutivo relevante de suas propriedades físicas, sabe-se que o concreto não apresenta resistência relevante à tração. Portanto, o concreto, não admite deformações na ruptura, sendo assim considerado um material que se comporta de maneira frágil (SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 2018).

Diferentemente do aço, o concreto não possui patamar de escoamento, logo, ele não admite grandes deformações antes do seu colapso. Sendo assim, uma estrutura de concreto simples, sofre ruptura de forma brusca, sem avisos prévios, seja para esforços de tração ou compressão. Esse comportamento, é ilustrado na Figura 6, no qual o gráfico de tensão-deformação do concreto para esforços de compressão não apresenta patamar de escoamento.

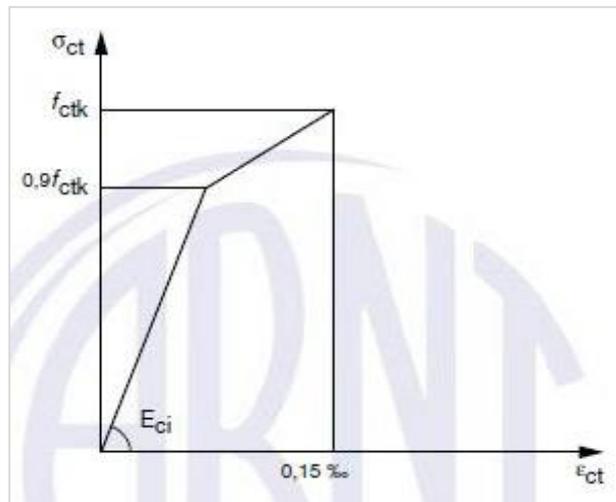
Figura 6: Gráfico Tensão-Deformação do concreto à compressão



Fonte: NBR6118 (2014)

Esse comportamento frágil, também se repete para o esforço de tração, como mostrado na Figura 7. No entanto para o esforço de tração essa fragilidade é ainda maior quando comparada ao comportamento ao esforço de compressão, mostrado na Figura 6.

Figura 7: Gráfico Tensão-Deformação do concreto à tração.



Fonte: NBR6118 (2014)

Constata-se, então, a ineficiência do concreto a grandes deformações, sendo necessária a inserção do aço para compensar a sua falta de ductilidade, promovendo assim um material misto e com propriedades que se complementam. Bastos (2019), explica que ao se aplicar um carregamento gradativo do zero até o colapso, uma viga de concreto sem armadura se rompe simultaneamente ao aparecimento de uma fissura. Em contrapartida, a capacidade resistiva à flexão é aumentada consideravelmente em uma viga que dispõe de armadura.

Partindo desse princípio, o intuito da adição de sobras de arame recozido liso é analisar se esses comportamentos mecânicos do concreto são respeitados, minorados ou potencializados. Essa adição é similar a adição de fibras metálicas já reconhecidas no mercado da construção civil atual.

2.3 Fatores que influenciam nas propriedades do concreto

2.3.1 Propriedades no Estado Fresco

Apesar do maior destaque ser dado ao concreto em seu estado endurecido, onde é capaz de resistir a grandes carregamentos, o seu estado fresco (antes do endurecimento) é aquele que possibilita a sua moldagem em determinados elementos e armaduras para qual foi projetado. Além disso, possui impacto direto nas características do estado endurecido (MARTINS, 2008).

Quando no estado fresco, o concreto apresenta algumas propriedades. Porém, foi desenvolvido por alguns autores um conceito único de propriedade que engloba as demais propriedades, denominado de trabalhabilidade.

Um concreto é definido como trabalhável quando o mesmo dispõe de atributos adequados ao tipo de obra, aos métodos de lançamento, adensamento e acabamento no qual será solicitado, de forma que não ocorra segregação ou exsudação (SOBRAL, 2000).

Incorporado a trabalhabilidade existem algumas propriedades do concreto no estado fresco. A homogeneidade é a responsável por manter as características do concreto por toda a massa. Já a coesão garante a composição da massa durante os estágios de transporte, lançamento e adensamento, evitando a segregação (MARTINS, 2008).

Portanto, o estado fresco do concreto condiz a um momento antes do endurecimento, de forma que a mistura apresente características plásticas. Assim, se essa mistura apresentar e manter homogeneidade e coesão durante as etapas de mobilização, execução e finalização dos elementos a serem concretados, é considerada uma mistura com boa trabalhabilidade.

2.3.2 Propriedades no Estado Endurecido

O estado endurecido do concreto é uma condição em que o concreto se encontra após o fim do período de pega. Isso acontece a partir de reações químicas entre a água e o cimento, que contém silicatos e aluminatos, formando um produto hidratado que resulta em uma composição firme e resistente (NEVILLE, 2016. p.13).

O estado endurecido do concreto manifesta algumas propriedades. Entretanto, Carneiro (2018. p.58) destaca que a resistência à compressão, o módulo de elasticidade e resistência à tração são as mais importantes.

A resistência é considerada a propriedade mais significativa do concreto, uma vez que está relacionada com a qualidade do mesmo, diretamente ligada a estrutura da pasta de cimento hidratada. Além disso, em um projeto estrutural se especifica a resistência à compressão, pois ela é pouco variável e a mais utilizada para fins de controle (NEVILLE, 2016. p.285).

Dentro da propriedade resistência, existem duas principais: a resistência à compressão e a resistência à tração. A resistência à compressão é aquela que resiste ao esforço de compressão e esse, é definido como aquele que “aperta” a estrutura molecular do concreto. Carneiro (2018. p.58) ainda ressalta que “A resistência à compressão pode ser definida como sendo a quantidade de tensão necessária para o material entrar em colapso total”.

Saindo da propriedade de resistência mais eficiente do concreto, resistência à compressão, para a menos eficiente, resistência à tração, foi percebido a necessidade de adicionar um elemento para suprir a carência que o concreto apresenta nesse quesito. O elemento escolhido foi o aço, por possuir propriedades que reagem melhor ao esforço de tração. Entretanto, existem outras metodologias para melhorar a resistência à tração no concreto. Uma delas é a adição de fibras metálicas.

Velasco (2008, p.26) ressalta que quando se estuda a adição de fibra no concreto, a resistência à tração na flexão é a propriedade mais impactada. Isso porque, as fibras ajudam a combater a tração gerada pelo esforço de flexão, conseqüentemente aumentando a resistência do elemento.

Para o estudo do comportamento da resistência à tração na flexão faz-se necessário métodos de ensaio e análises. Diversas normas condicionam o ensaio de tração na flexão. Carneiro (2018. p.58), cita a ACI Committee 544 (ACI, 1982) e JCSE-SF4 (JCSE, 1984), como normas úteis para auxiliar no estudo dessa propriedade.

Existe uma terceira propriedade do concreto no estado endurecido, o módulo de elasticidade, cita Carneiro (2018. P.59). Essa propriedade consiste na razão entre tensão e

deformação admissível. Em outras palavras, o módulo de elasticidade é a capacidade do material de se deformar ao sofrer esforços e retornar as suas dimensões iniciais após alívio desses.

Outra propriedade importante do concreto é a porosidade, ligada diretamente com a permeabilidade do elemento, permitindo ou não a ação de agentes lesivos na estrutura, o que atinge diretamente na durabilidade, que está relacionada a vida útil de uma edificação e prevista na NBR 6118 (2014) - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. A porosidade também tem relação direta com a resistência do concreto (NEVILLE, 2016. p.293).

Portanto, as características do concreto podem ser alteradas de acordo com a sua finalidade, a partir da modificação de parâmetros que alteram as suas propriedades. Por exemplo: para concretagem de um elemento denso há necessidade de possuir um concreto mais fluído, com granulometria menor; obras em ambiente agressivo, requerem um concreto menos poroso para evitar a ação de agentes nocivos; estruturas com esforço de flexão elevado, solicita um concreto mais resistente à tração; altura de lançamento considerável, requisita um concreto com maior coesão; além de outras especificidades que interferem nas propriedades do concreto.

2.4 Concreto reforçado com fibras de aço

2.4.1 Histórico e desenvolvimento das fibras de aço

A existência das fibras como reforço estrutural está presente na natureza a centenas de anos através das árvores. Essas que sempre foram muito úteis, seja para fins alimentares, construtivos ou para o bem-estar humano, demonstraram também como as fibras tem papel poderoso para melhoramento das propriedades de um material. Por meio de sua constituição, que apresenta lignina, pectina e as fibras de celulosas, as árvores conseguem se manter estáveis estruturalmente. Isso acontece devido a capacidade estrutural das fibras de celulose, que são responsáveis pela função estrutural da árvore, Velasco (2008, p. 10).

Apesar de estarem presentes em torno da sociedade a muito tempo, as fibras só começaram a ser utilizadas de forma mais intensiva nas últimas duas décadas, Lima Junior (2003, apud Committe 544 do ACI, 1998). Isso demonstra um longo tempo de maturação para implantação das fibras como reforço na construção, haja vista, também, que a primeira patente de compósitos reforçados com fibras foi registrada em 1874, por Berard (VELASCO, 2008, p. 10).

Os primeiros estudos e ensaio realizados de forma mais sistemática utilizando fibras de aço só aconteceram nas décadas de 50 e 60, afirma Velasco (2008, p.11, apud Bentur e Mindess, 2007). Ele ainda ressalta que os resultados iniciais mostraram um aumento da tenacidade pós-fissuração, contudo também apresentaram os primeiros problemas relacionados a trabalhabilidade de matrizes cimentícias utilizando essa metodologia de reforço. O material se aglomerava, criando novelos de fibras, principalmente quando se tratava de fibras longas. Lima Junior (2003, p. 39 apud Ramakrishnan, 1981), afirma que os problemas de trabalhabilidade com esse tipo de reforço foram reduzidos após desenvolvimento de fibras com ancoragem e aditivos redutores de água.

A primeira estrutura construída com concreto reforçado com fibras de aço aconteceu em 1971, com a construção de um estacionamento de 50.000 m² no Aeroporto Heathrow de Londres. Essa construção foi idealizada e executada a partir da utilização de placas de concreto reforçado com fibras de aço que apresentavam área 3.250 m², 65 mm de espessura e 3% de massa em fibra de aço. Até o presente momento, a estrutura está em perfeitas condições (CARNEIRO, 2018. p.66, apud METHA; MONTEIRO, 2014)

A difusão dessa tecnologia está conectada com as melhorias das propriedades mecânicas proporcionadas por ela. As propriedades mecânicas do CRFA (Concreto Reforçado com Fibras de Aço) dependem da relação entre a fibra de aço e a matriz cimentícia. Fatores, como: resistência da matriz cimentícia, taxa volumétrica de fibras, dimensão de agregado, geometria, direção e arranjo das fibras na matriz; alteram diretamente nas propriedades final do concreto, afirma Lima Junior (2003, p. 39).

Após resultados promissores de estudos e real potencialidade do CRFA, novas pesquisas foram promovidas para o melhoramento da interação matriz cimentícia e fibra, resultando no desenvolvimento de vários modelos de fibra de aço, melhorando não só o material, como também ampliando a possibilidade do seu emprego.

Velasco (2008, p.11, apud Bentur e Mindess, 2007) cita que a partir da possibilidade de melhoria da trabalhabilidade, o potencial da fibra de aço foi reconhecido e ela foi utilizada em diversas áreas da indústria da construção civil, como em pontes, túneis, pisos industriais, aeroportos e reforços estruturais.

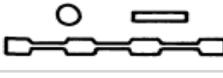
2.4.2 Classificação das Fibras

O mercado atual é abastecido por diversos modelos de fibras para reforço de matriz cimentícias: fibras de aço lisas e corrugas, distintas geometrias, variados comprimentos,

valores de tensão de ruptura podendo chegar até 2100 MPa, módulo de elasticidade girando em torno de 210 Gpa, fibras isoladas ou em feixe, dentre outras características, afirma Velasco (2008, p.12).

A tabela a seguir expõe alguns modelos de fibras amplamente disponíveis no mercado internacional da indústria da construção civil:

Tabela 6: Tipos de fibras e suas seções esquemáticas do perfil

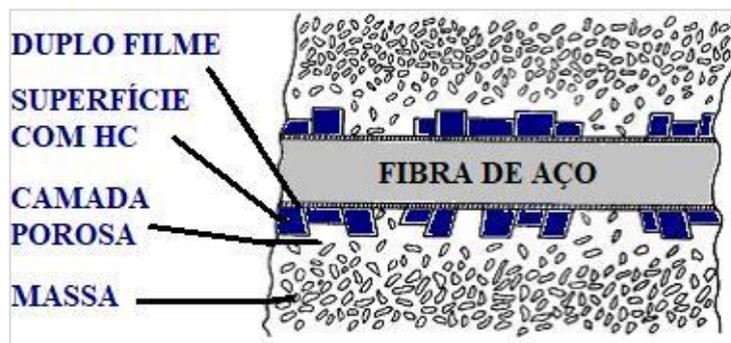
Descrição	Seção Esquemática do Perfil
Estremidade com arame deformado (Fibra com ancoragem)	
Fibra com variação de seção (Fibra com ancoragem)	
Corte em seção cisalhada	
Fibra extraída por fusão - forma irregular rugosa e aço inoxidável	

Fonte: Adaptado (BENTUR e MINDESS, 2007)

2.4.3 Interface Fibra-Matriz

A área de comunicação entre a fibra de aço e o compósito cimentício é denominada de zona de transição. Essa zona se caracteriza por possuir microestrutura diferente do restante da matriz cimentícia. A alteração dessas características da matriz está ligada especialmente a dois fatores: reclusão de água no entorno das fibras e acondicionamento ineficiente dos grãos de cimento na zona de 20 a 40 µm ao redor da superfície da fibra metálica. Essa reclusão de água contendo cristais de hidróxido de cálcio, além de torna a zona de transição porosa, deposita cristais na superfície das fibras, tornando-a uma região frágil (BENTUR & MINDESS, 2007).

Figura 8: Interface fibra-matriz isolada



Fonte: Adaptado (BENTUR e MINDESS, 2007)

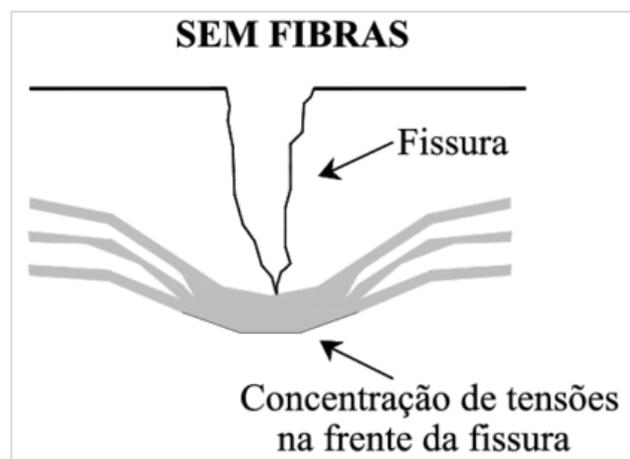
2.4.4 Interação Fibra-Matriz

A interação da fibra na matriz cimentícia acontece por meio da transmissão de tensões da matriz para as fibras e da “costura” de fissuras proporcionadas pelas fibras. Este comportamento foi investigado usando modelos analíticos que estudam o arrancamento das fibras através do esforço de cisalhamento. As reações observadas por meio desses estudos acontecem em dois momentos. No primeiro momento acontecem contribuições elásticas das fibras pré-fissuração, em que as fibras suportam tensões elásticas. Já no segundo, após aparecimento de fissuras elas se comportam de maneira diferente, as tensões elásticas dão espaço para atuação de tensões de atrito (BENTUR e MINDESS, 2007).

A atuação da fibra no primeiro momento de solicitação (elemento ainda não fissurado) é menos eficiente que no segundo momento (quando elemento já está fissurado), ou seja, as fibras colaboram para tenacidade no elemento de concreto armado, mas sua influência sobre o controle de fissuração é ainda maior.

A figura a seguir retrata o comportamento do concreto sem adição de fibras de aço:

Figura 9: Comportamento de tensões após aparecimento de fissuras no concreto

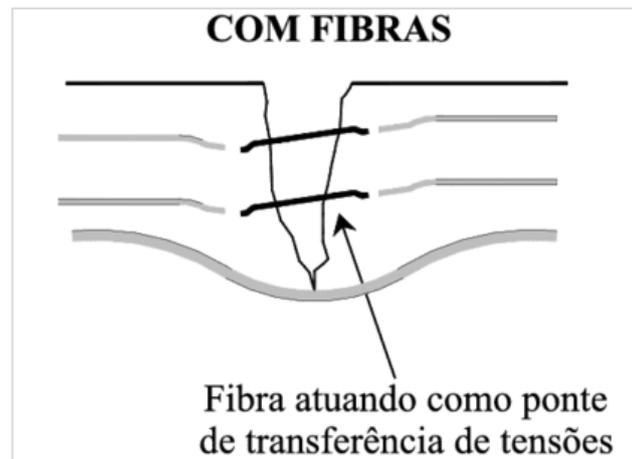


Fonte: Adaptado (NUNES; AGOPYAN, 1998).

Na figura anterior, é possível perceber que após a fissuração as linhas de tensões acabam se deslocando do seu percurso natural e se acumulam no limite da abertura da fissura. Esse comportamento acaba gerando sobre tensões na microestrutura e redução de seção do elemento.

Com a adição das fibras o comportamento é um tanto quanto diferente, as fibras funcionam como pontes de transmissão de tensões, dispersando o acúmulo de tensões visto na Figura 5. As fibras de aço realizam uma espécie de “costura” das fissuras no concreto. Veja o comportamento na figura a seguir:

Figura 10: Comportamento de tensões após aparecimento de fissuras no CRFA



Fonte: Adaptado (NUNES; AGOPYAN, 1998).

Observa-se, portanto, que a partir do momento que surgem as fissuras no concreto reforçado com fibras de aço, as fibras trabalham de forma a aliviar as tensões do mesmo. Conseqüentemente, o CRFA se torna mais dúctil para o esforço de tração em comparação ao concreto convencional.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de Pesquisa

A presente monografia desenvolve-se por meio do modelo de pesquisa explicativa, na qual se baseia em métodos práticos para reconhecer fundamentos que dão ensejo ao fenômeno em estudo, com abordagem quantitativa e metodologia hipotético-dedutiva. Essa ainda possui viés de pesquisa no âmbito exploratório ao embasar-se em estudos bibliográficos por meio da leitura de livros, artigos acadêmicos, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado, voltados ao estudo do concreto, em especial ao estudo do concreto reforçado com fibra de aço.

A etapa inicial, com viés exploratório, observa-se como propósito o desenvolvimento do senso crítico do presente estudo, fundamentando o trabalho e promovendo a compreensão do desenvolvimento atual do concreto no Brasil e no mundo, principalmente do concreto reforçado com fibras. Além disso, retrata-se a interferência do concreto na construção civil e a busca pela redução de impactos ambientais promovido pelo mesmo.

Complementando a fundamentação do presente trabalho, respeitaram-se as recomendações e exigências requeridas pelas NBR's, assim embasando e validando os resultados obtidos nos ensaios apresentados neste trabalho. Como conclusão, as NBR's padronizaram e ditaram os procedimentos para realização dos ensaios, enquanto os estudos bibliográficos elucidaram para a compreensão dos resultados obtidos.

A segunda etapa, com características explicativas, refere-se à realização de vários ensaios laboratoriais com intuito de estudar a viabilidade do concreto com adição de sobras de arame recozido liso por meio do comparativo de resistência mecânica entre traços de concreto, logo, verificando a variação de comportamento dos mesmos.

Inicialmente, na segunda etapa, produziu-se um concreto com traço de referência com 0% de adição de sobras de arame recozido liso, tendo como função fundamentar a variação mecânica, seja positiva ou negativa, dos traços com 5,5% e 11% de adição de arame recozido liso. Assim, será possível determinar, por meio dos ensaios mecânicos, o traço com adição de arame recozido liso que possui o melhor comportamento mecânico.

Além dos procedimentos de moldagem e rompimentos referentes aos ensaios mecânicos, realizou-se a caracterização dos agregados, conforme as NBR's, afim de controlar a influência desses materiais e garantindo maior assertividade nos resultados.

3.2 Materiais e Métodos

É iminente a necessidade de alguns materiais e equipamentos para realização deste trabalho. Sabe-se que normas técnicas preconizam alguns materiais e equipamentos para viabilizar e padronizar os ensaios laboratoriais, a fim de garantir uma confiabilidade nos resultados adquiridos. Portanto, seguiram-se as recomendações normativas referente a cada tipo de ensaio.

3.2.1 Agregados

3.2.1.1 Teor de umidade

É indispensável o conhecimento do teor de umidade dos materiais constituintes do concreto para caracterização mecânica e dosagem precisa do mesmo. Para CAPUTO (1977) “O teor de umidade é definido como sendo a relação entre o peso da água existente no solo e o peso seco das partículas sólidas do solo, expressa em porcentagem”. Logo, têm-se duas variáveis que devem ser determinadas, a massa de água e massa de solo.

A determinação do teor de umidade total, é indicada pela NBR 9939 (2011) - Agregado graúdo - Determinação do teor de umidade total - Método de ensaio, e faz uso dos seguintes material/equipamentos:

- Balança de precisão com resolução de 0,1% da amostra do ensaio;
- Estufa com capacidade de manter temperatura constante na faixa de 105°C – 110°C;
- Bandejas com alças laterais;

Conforme NBR 9939 (2011) para agregados graúdos e miúdos, deve-se colocar a amostra do material em estufa com temperatura na faixa de 105°C-110°C durante 24h até que amostra fique totalmente seca, conforme figura abaixo:

Figura 11: Estufa de secagem dos agregados



Fonte: Acervo do autor (2020).

Após conhecimento dos procedimentos, deve-se determinar a massa da amostra antes e depois do procedimento em estufa, para assim determinar a massa da amostra coletada em situação úmida e a mesma em situação seca, conforme descrito na NBR 9939 (2011).

De posse de todos os dados da amostra, utiliza-se a fórmula abaixo para determinação do teor de umidade:

$$h(\%) = \frac{\text{massa da água}}{\text{massa do solo úmido}} \cdot 100 \quad \text{Equação (1)}$$

3.2.1.2 Granulometria

O vocábulo “granulometria” atribui-se à determinação dos diâmetros das partículas que compõem uma amostra/solo. Portanto, “a análise granulométrica objetiva à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo” (ALMEIDA et al. 2012). Desta forma, conclui-se que a distribuição granulométrica influencia diretamente no comportamento do concreto, tanto no estado fresco, como no endurecido. Logo, (SUPORTE, 2018) ressalta o processo de caracterização por meio desse ensaio:

A distribuição granulométrica dos materiais granulares, areias e pedregulhos, será obtida por meio do ensaio de peneiramento com as respectivas amostras separadas. Quando aos finos como síltes e argilas se utiliza a técnica da sedimentação dos sólidos no meio líquido e o seu diâmetro é calculado atrás da lei de Stokes. O objetivo da análise granulométrica é dividir essas partículas em grupos pelas suas dimensões frações de solo e determinar suas proporções relativas ao peso total da amostra. A análise granulométrica é o ensaio básico de laboratório, necessário à identificação de um solo, pelos sistemas de classificação adotados na engenharia de solos. As propriedades influenciam largamente a interação entre as partículas de solo. As partículas de um solo, grosso ou fino, não são esféricas, mas se usará sempre a expressão diâmetro equivalente da partícula ou apenas diâmetro equivalente, quando se faz referência ao seu tamanho. (SUPORTE, 2018).

Portanto, o ensaio de granulometria destaca-se dentro do grupo de ensaios para caracterização do concreto. Para realização, deste, obedece-se às recomendações estabelecidas pela NBR NM 248 (2003), na qual demanda os seguintes materiais/equipamentos:

- Balança de precisão com resolução de 0,1% da amostra do ensaio;
- Estufa ou fonte de calor com capacidade de manter temperatura constante na faixa de 105°C – 110°C;

- Peneiras das séries normal e intermediárias que atendam a norma NM-ISSO 3310-1 ou 2;
- Agitador mecânico de peneiras;
- Bandejas com alças laterais;
- Escova ou pincel;
- Fundo avulso de peneira;

As amostras para realização do ensaio devem seguir as recomendações presentes na Tabela 7, presente na norma NBR NM 248 (2003), que estabelece a massa mínima para o ensaio em função da dimensão máxima nominal do agregado, cedida em mm. Já a quantidade necessária para amostras por quarteramento, a Tabela 8 adaptada da NBR NM 26 (2009) - Agregados - Amostragem, orienta a massa mínima em função também da dimensão máxima nominal do agregado.

Portanto, utilizou-se de 2,80 kg de areia e 5,00 kg de brita 1 como amostras para realização do ensaio, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Massa mínima por amostra de ensaio de granulometria

Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
<4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

(*) Após secagem

Fonte: Adaptado NBR NM 248 (2003)

Em relação a amostra representativa de um lote ou por quarteramento, se foi destinado 40,00 kg para ambos os materiais, conforme Tabela 8.

Tabela 8: Quantidade de amostras a serem coletadas para ensaios físicos e químicos

Tamanho nominal do agregado	Número mínimo de amostras parciais (kg)	Quantidade total da amostra de campo (mínimo)	
		Em massa (kg)	Em volume (dm ³)
<9,5 mm	3	40	25
>9,5 ≤ 19 mm		40	25
>19 ≤ 37,5 mm		75	50
>37,5 ≤ 75 mm		150	100
>75 ≤ 125 mm		225	150

Nota 1: As massas ou volumes considerados referem-se a agregados de massa específica entre 2 g/cm³ e 3 g/cm³. A quantidade total de amostra de campo, em volume, leva em conta critérios práticos usuais.

Nota 2: Para agregados com dimensões superiores a 75 mm, a quantidade mínima de amostra de campo deve ser fixada para cada caso específico, tomando, pelo menos, vinte amostras parciais.

Fonte: Adaptado NBR NM 26 (2009)

Após separação das amostras em suas respectivas bandejas, levaram-se as mesmas para estufa em temperatura constante de 105°C por 24 horas, para que a toda umidade fosse perdida, assim resultando em um material seco e pronto para dar-se início ao ensaio granulométrico, conforme preconiza a norma.

Figura 12: Amostra para ensaio de granulometria



Fonte: Acervo do autor (2020)

Com a conclusão do período de 24 horas, os materiais encontraram-se totalmente secos e nas quantidades queridas, como mostra a Figura 12. Logo, o processo de peneiramento torna-se apto com as peneiras de diferentes aberturas, posicionadas em ordem decrescente, do topo para a base, devidamente limpas e contendo fundo adequado

Figura 13: Disposição de peneiras sobre agitador mecânico



Fonte: Acervo do autor (2020)

Conforme NBR NM 248 (2003), coloca-se as peneiras sobre o agitador mecânico, mostrado na Figura 13, e despeja-se o material gradualmente. Essa ação promove de imediato uma quantidade de material passante e outra retida nas peneiras.

A continuidade do ensaio e o resultado da composição granulométrica, dá-se após o funcionamento do agitador mecânico por um período de 2,00 minutos, com as peneiras adequadamente posicionada, conforme a série normal e intermediária, como demonstra a Tabela 9.

Tabela 9: Série de peneiras

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 μm	-
300 μm	-
150 μm	-

Fonte: Adaptado NBR NM 248 (2003)

Após esse processo, realiza-se a pesagem do material passante e retido, da amostra em estudo, em cada uma das peneiras e no fundo. Com esses dados coletados, em massa, efetua-se a distribuição granulométrica da amostra, e essa, alimenta planilhas e gráficos deste presente trabalho, além de obter outros dados, como: DMC (Dimensão Máxima Característica) e MF (Módulo de Finura), informações, essas, importantíssimas para a produção e caracterização do concreto, tanto no estado fresco, como no endurecido.

3.2.1.3 *Massa específica*

A massa específica “é a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis” NBR NM 52 (2009) - Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Logo, esse parâmetro dos agregados influencia na massa específica do concreto, e conseqüentemente, no peso próprio da estrutura e na resistência a compressão, conforme resultados divulgados por Carrijo (2005).

3.2.1.3.1 *Agregado Graúdo*

Em relação a brita 1, utilizada no presente trabalho, por se tratar de um agregado graúdo, utilizou-se a NBR NM 53 (2009) - Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, para a definição da massa específica e massa específica aparente (difere-se por levar em consideração os poros do agregado).

Necessita-se para a realização do ensaio os seguintes materiais/equipamentos, conforme NBR NM 53 (2009):

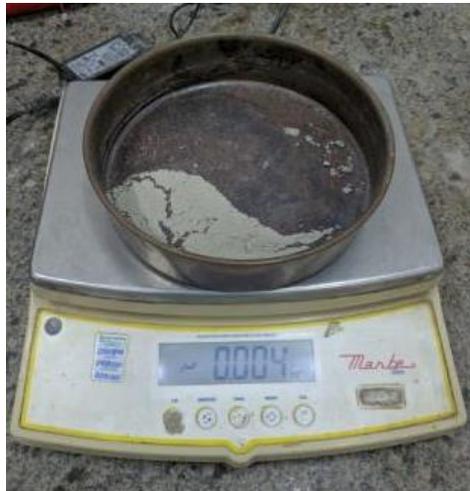
- Balança com capacidade mínima para 10kg e resolução de 1g, equipada com dispositivo adequado para manter o recipiente que contém a amostra suspenso na água, no centro do prato da balança.
- Recipiente de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm e capacidade para 4 dm³ a 7 dm³, para agregados de dimensão máxima característica de 37,5 mm.
- Recipiente estanque para conter água onde será submerso o recipiente com a amostra

- Uma peneira com abertura nominal de 4,75 mm, ou outras dimensões, conforme seja necessário, de acordo com a NM-ISO 3310-1.

Deve-se respeitar a NBR NM 26 (2009) para a coleta de amostra do agregado no campo. Logo em seguida, segue-se a premissas da NBR NM 27 (2001) - Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório, para a redução dessa amostra para o laboratório.

Após definição e preparação da amostragem, executa-se o peneiramento de modo a eliminar todas as partículas menores que 4,75 mm, conforme NBR NM 53 (2009) e ilustrado na Figura 10.

Figura 14: Material passante na peneira 4,75 mm



Fonte: Acervo do autor (2020)

Posteriormente, deve-se lavar o material, com o intuito de remover impurezas que pudessem estar na superfície, e levá-lo para secagem em estufa a uma temperatura constante de 105°C até se atingir uma massa constante, como mostra a Figura 15.

Figura 15: (a) Lavagem; (b) Regulagem da estufa



(a)

(b)

Fonte: Acervo do autor (2020)

Depois apresentar-se seco, o material, deve ser retirado da estufa de secagem e levado para esfriar em temperatura ambiente de 1h à 3h, para amostras com DMC menor que 37,5 mm, até que possam ser manipulados.

Após esse procedimento de secagem e resfriamento, deve-se definir a quantidade a ser ensaiada conforme a Tabela 10, contida na norma NBR NM 53 (2009), em função da dimensão máxima característica do agregado.

Tabela 10: Massa mínima de amostra de ensaio de massa específica

Dimensão máxima característica	Massa mínima da amostra de ensaio
mm	kg
12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
112	50
125	75
150	125

Fonte: Adaptado NBR NM 53 (2009)

Conforme Tabela 10, a quantidade mínima para a brita 1, que possui dimensão característica 19,00 mm, é de 3,00 kg. Logo, a favor da segurança, a amostra destinada ao ensaio foi estabelecida no valor de 4,00 kg, como ilustra a Figura 16.

Figura 16: Pesagem de Amostra



Fonte: Acervo do autor (2020)

Posteriormente, deve-se submergir a amostra disposta em um recipiente perfurado em água a temperatura ambiente por um período de (24 ± 4) h, de acordo com NBR NM 53 (2009) e Figura 17.

Figura 17: Submersão da amostra



Fonte: Acervo do autor (2020)

Após o prazo estabelecido pela NBR NM 53(2009), realiza-se emersão e envolvimento da amostra em um pano absorvente até que toda água visível seja eliminada, como ilustrado na Figura 18. A mesma norma, ainda ressalta, a necessidade de limpeza manual da água superficial de fragmentos grandes dos agregados.

Figura 18: Eliminação de água na superfície do agregado



Fonte: Acervo do autor (2020)

Rapidamente, aconselha-se a pesagem da amostra para determinação da massa na condição saturada e com superfície seca (m_s), em balança com precisão de 1g, de forma a

evitar a evaporação de água nos poros do agregado saturado e com superfície seca, conforme Figura 19.

Figura 19: Pesagem da amostra saturada com superfície seca



Fonte: Acervo do autor (2020)

Concluindo-se a pesagem, coloca-se a amostra de agregado graúdo na cesta de arame e submerge-se, a mesma, em água com temperatura $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Após acomodação da água, pesa-se a amostra, de forma a se obter a massa em água (m_a), de acordo com Figura 20.

Figura 20: Pesagem hidrostática da amostra



Fonte: Acervo do autor (2020)

Finalizando-se tais procedimentos, leva-se a amostra para estufa com temperatura de 105°C, até que essa atinja massa constante e esfrie em temperatura ambiente de 1h à 3h, para que possa ser manipulada, realizada a pesagem e obtida a massa seca (m).

Figura 21: (a) Amostra posicionada na estufa; (b) Pesagem da amostra seca



Fonte: Acervo do autor (2020)

De posse de todos os valores citados anteriormente por meio dos ensaios, aplica-se a fórmula (2), presente na NBR NM 53 (2009), para a obtenção da massa específica do agregado graúdo.

$$d = \frac{m}{m - m_a} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

d = massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico

m = massa ao ar da amostra seca, em gramas.

m_a = massa em água da amostra, em gramas.

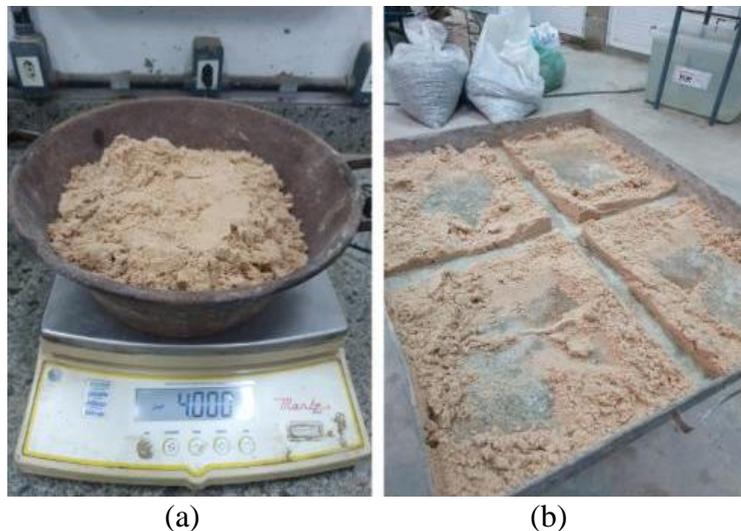
3.2.1.3.2 Agregado Miúdo

Para que se possa determinar a massa específica dos agregados miúdos adotam-se os procedimentos estabelecidos na NBR NM 52 (2009), que indica os seguintes materiais para a realização do ensaio:

- Balança com capacidade mínima para 10kg e resolução de 1g;
- Frasco aferido com capacidade de 500 cm³, calibrado a 20°C;
- Molde tronco-cônico metálico, de (40 ± 3) mm de diâmetro superior, (90 ± 3) mm de diâmetro inferior e (75 ± 3) mm de altura, além de espessura mínima de 1 mm.
- Haste de compactação metálica com (340 ± 15) g de massa, tendo superfície de compactação circular planta de (25 ± 3) mm de diâmetro;
- Estufa capaz de manter temperatura no intervalo de (105 ± 5) °C;
- Bandeja metálica;
- Espátula de aço
- Circulador de ar regulável;
- Dessecador;

De posse de todos os materiais necessários, faz-se a coleta de 4,00 kg de amostra para realização do quarteamo, sugerido pela NBR NM 52 (2009). A partir daí, recolhe-se 1,00 kg desse material para se iniciar o ensaio de fato, como mostra a Figura 22.

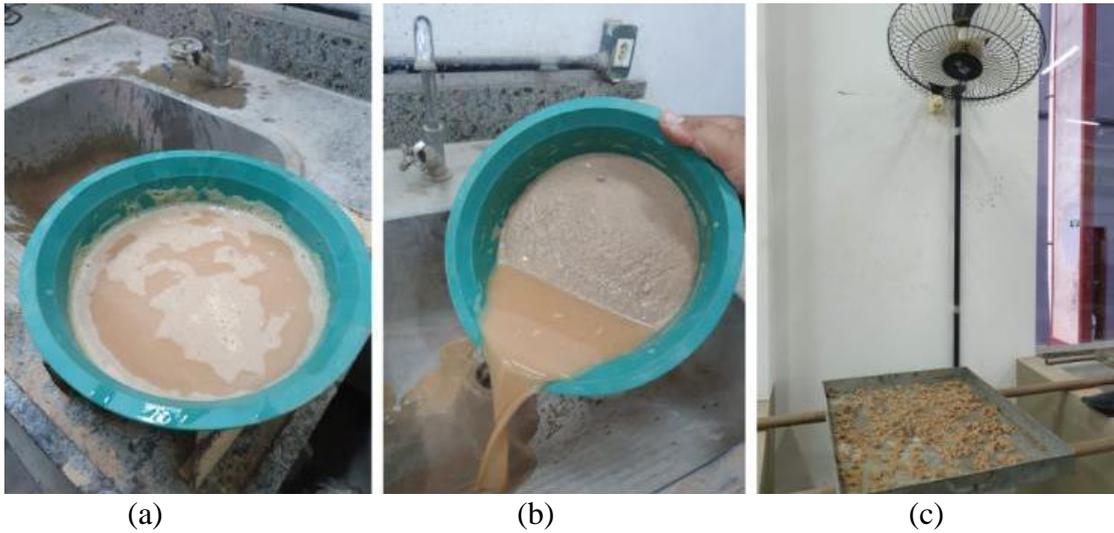
Figura 22: (a) Pesagem da amostra; (b) Quarteamo



Fonte: Acervo do autor (2020)

Posteriormente, coloca-se a amostra de 1,00 kg de agregado miúdo submersa em água e deixa-se, a mesma, em repouso no período de 24 h. Após esse período, retira-se a amostra da água e coloca-se sobre superfície plana sujeira a leve corrente de ar, até que os grãos do agregado miúdo percam sua forte adesão, cabe ainda revolver o material de forma a uniformizar a secagem, conforme Figura 23.

Figura 23: (a) Amostra submersa em água; (b) Retirada da água; (c) Amostra sujeita a corrente de ar



Fonte: Acervo do autor (2020)

Depois de realizado o processo anterior, põe-se o agregado miúdo no molde, sem comprimi-lo, aplica-se 25 golpes com a haste de socamento para compactação superficial, como ilustrado na Figura 23a, e então, retira-se o molde. Caso o cone de agregado desmorone, caracterizasse-o como estando na condição de saturado com superfície seca, conforme Figura 23b.

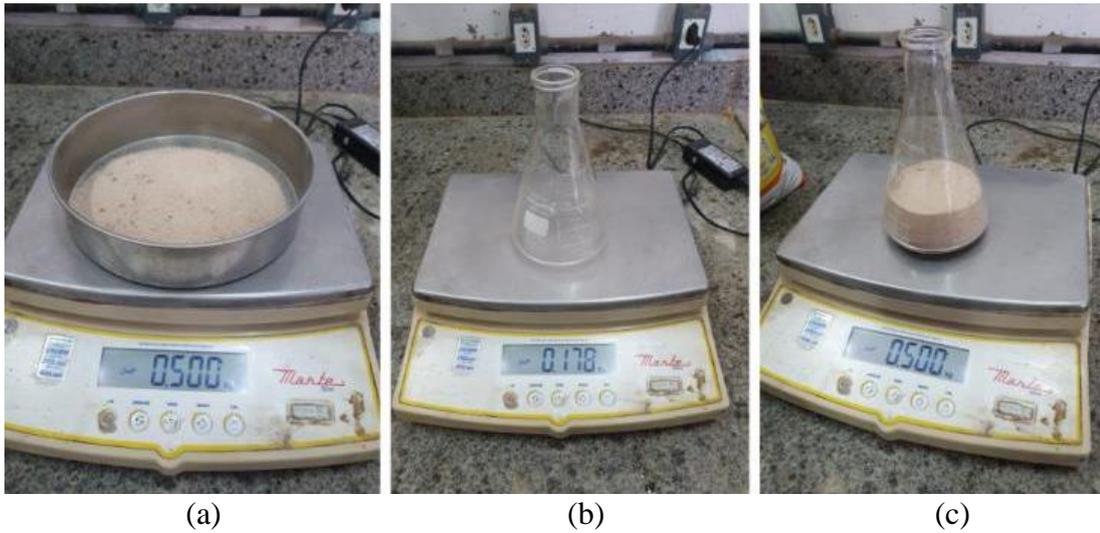
Figura 24: (a) Compactação superficial; (b) Cone de agregado saturado com superfície seca



Fonte: Acervo do autor (2020)

Após amostra adequadamente preparada, realiza-se a pesagem de $(500 \pm 0,1)$ g de amostra (m_s), Figura 25a. Coloca-se, ainda, a amostra no frasco aferido e registra-se a massa do conjunto (m_1) Figura 25b e Figura 25c.

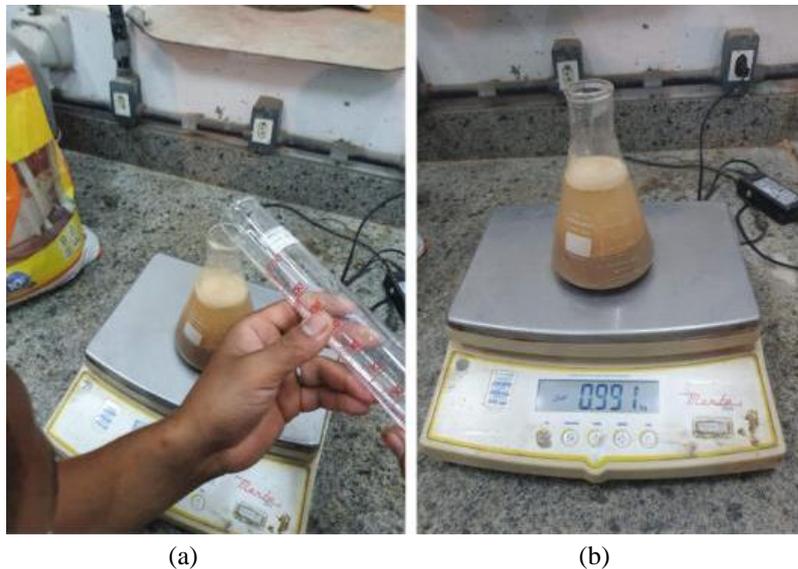
Figura 25: (a) Pesagem amostra; (b) Pesagem frasco; (c) Pesagem amostra com frasco tarado



Fonte: Acervo do autor (2020)

Posteriormente, enche-se o frasco até o nível de 500,00 ml e deixa-se a amostra em repouso, sem a presença de bolhas, durante 1h. Passado o período de 1h, adiciona-se água novamente até alcançar a marca de 500,00 cm³ e pesa-se novamente o conjunto (m_2), conforme Figura 26b.

Figura 26: (a) Adicionando a água; (b) Pesagem do conjunto (amostra + recipiente + água)



Fonte: Acervo do autor (2020)

Logo após realização da pesagem, retira-se o agregado miúdo do frasco e o leva-se para a estufa com temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até esse atingir massa constante. Posteriormente, deixa-se o agregado esfriar à temperatura ambiente em dessecador e pesa-se a amostra (m), de acordo com Figura 27.

Figura 27: Pesagem da amostra seca



Fonte: Acervo do autor (2020)

Utiliza-se a fórmula (3) para a determinação da massa específica (d_3) do agregado miúdo, conforme NBR NM 52 (2009):

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \frac{m_s - m}{\rho_a}} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

d_3 = massa específica do agregado, em gramas por centímetros quadrados;

m = massa da amostra seca, em gramas;

V = volume do frasco, em centímetros cúbicos;

V_a = volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

ρ_a = massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Determina-se o volume de água adicionado ao frasco (V_a), aplicando a Equação (4), presente na NBR NM 52 (2009):

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

m_1 = massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

m_2 = massa do conjunto (frasco + agregado + água), em gramas;

ρ_a = massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

3.2.1.4 Massa unitária

Define-se massa unitária como sendo a relação de massa do agregado e volume de um recipiente, conforme NBR NM 45 (2006) - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Esse parâmetro é indispensável para dosagem do concreto, haja vista que a partir dele define-se o consumo de materiais que irão ser utilizados e conversão destes de massa para volume.

Para determinação da massa unitária a NBR NM 45 (2006) define três métodos de ensaio, sendo o método A voltado para agregados menores que 37,5 mm. Logo, a areia e a brita 1 possuem predisposição para esse método.

A aparelhagem exigida para realização do ensaio é definida pela mesma norma e os itens são listados abaixo:

- Balança com resolução de 50 g;
- Haste de adensamento reta em aço, com 16 mm de diâmetro, 600 mm de comprimento e contendo uma das extremidades em forma semiesférica, com diâmetro igual ao da haste;
- Recipiente na forma cilíndrica;
- Estufa capaz de manter a temperatura no intervalo de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;

Conforme NBR NM 45 (2006), deve-se, para realização do ensaio, separar uma amostra de 150% da quantidade de material necessário para encher o recipiente e a manipulação desse material deve ser feita de forma cautelosa, para evitar segregação.

Após separação da amostra, leva-se a mesma para estufa de secagem a temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, até atingir massa constante, conforme Figura 28.

Figura 28: Preparação da amostra



Fonte: Acervo do autor (2020)

O recipiente utilizado para realização do ensaio deve seguir as recomendações da Tabela 11, contida na NBR NM 45 (2006), tendo suas dimensões em função do diâmetro máximo característico do agregado utilizado.

Tabela 11: Características do recipiente

Dimensão máxima característica do agregado (NM-ISSO 3310-1)	Recipiente		
	Capacidade mínima	Diâmetro Interior	Altura Interior
mm	dm ³	mm	mm
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 < d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

Fonte: adaptado NBR NM 45 (2006)

Logo, a favor da segurança, utilizou-se, neste trabalho, um recipiente com 230 mm de diâmetro e 285 mm de altura, com material não atacável por umidade. A NBR NM 45 (2006), ainda se recomenda, que se retire o peso do recipiente antes de iniciado o ensaio, como mostra a Figura 29.

Figura 29: Pesagem do recipiente



Fonte: Acervo do autor (2020)

Em seguida, enche-se um terço do recipiente com o material recolhido da estufa, já em temperatura ambiente. O nivelamento desse material deve ser realizado com os dedos e posteriormente, adensado ao se efetuar 25 golpes, distribuídos por toda a superfície da camada, com a haste de adensamento, de acordo com Figura 30.

Figura 30: Adensamento da primeira camada



Fonte: Acervo do autor (2020)

Posteriormente, preenche-se dois terços do recipiente com os seus respectivos materiais e repete-se o processo realizado para a primeira camada, de forma que ao se realizar o adensamento a haste não penetre a camada anterior. Conseqüentemente, esse processo foi repetido até encher-se o recipiente, dividindo-o em 3 camadas, sendo na última necessário nivelar a camada superficial do agregado com o emprego das mãos ou espátula, de modo a rasá-lo com a borda superior do recipiente, conforme Figura 31.

Figura 31: Rasamento do agregado



Fonte: Acervo do autor (2020)

Em conclusão, realiza-se a pesagem do conjunto (agregado + recipiente) em balança com resolução de 50 g para obtenção da última informação necessária para definição da massa unitária do agregado, como ilustrado na Figura 32a e Figura 32b.

Figura 32: (a) Pesagem areia + recipiente; (b) Pesagem brita1 + recipiente



Fonte: Acervo do autor (2020)

De posse de todos os dados necessários, conforme a NBR NM 45 (2006), utiliza-se a Equação (5) para obtenção da massa unitária do agregado graúdo e miúdo.

$$P_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

P_{ap} = massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} = massa do recipiente mais agregado, em quilogramas;

m_r = massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V = volume do recipiente, em metros cúbicos.

3.2.2 Cimento

Utilizou-se como material aglomerante o cimento Portland do tipo CP-IV. As propriedades físicas e químicas desse cimento, se enquadram na NBR 16697 (2018), de acordo com o seu fabricante.

3.2.3 Água

A água utilizada para a produção do concreto neste trabalho, refere-se ao sistema de abastecimento de água do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco.

3.2.4 Aditivo

Empregou-se, com o intuito de promover trabalhabilidade ao concreto sem alterar a relação água/comento, o aditivo superplastificante Glenium 51. A Tabela 12 apresenta as propriedades do aditivo, conforme disponibilizado pelo fabricante. Além disso, o fabricante recomenda a utilização nas dosagens de 0,2 a 1,0% em relação a massa de cimento, mas ressalta que se trata de dosagem orientativa. Logo, realizou-se a adição desse ativo no concreto de forma gradual, até atingir-se a trabalhabilidade adequada.

Tabela 12: Propriedades do aditivo plastificante, de acordo com fabricante

Fabricante	BASF	Unidade
Nome	Glenium 51	-
Função	Aditivo Superplastificante	-
Base química	Éter policarboxílico	-
Aspecto	Líquido	-
Cor	Branco turvo	-
Ação Secundária	Redutor de água	-
Solubilidade em Água	Total	-
pH	5 - 7	-
Densidade	1,067 - 1,107	g/cm ³
Sólidos	28,5 - 31,5	%
Viscosidade	<150	cps

3.2.5 Sobras de arame recozido liso

Sabe-se que as sobras de arame recozido liso encontradas nos canteiros de obra possuem comprimentos distintos. Portanto, para garantir segurança e precisão nos resultados deste trabalho, realizou-se uma coleta e medição de um mil seguimentos de sobras de arame recozido liso, de modo a identificar informações estatísticas para definir o comprimento ideal do arame recozido liso para realização do ensaio.

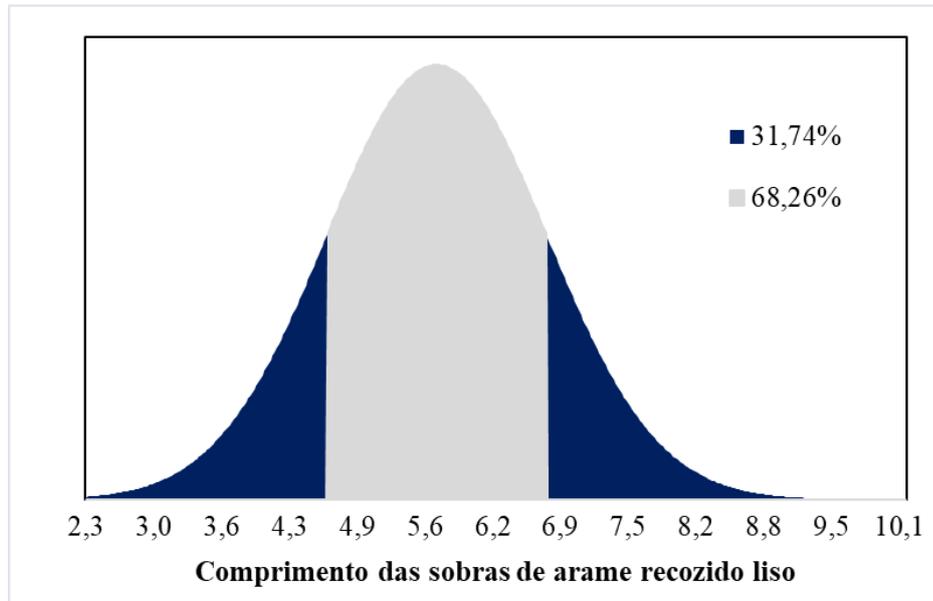
Figura 33: Medição de amostras de sobras de arame recozido liso coletadas



Fonte: Acervo do autor (2020)

Após medição do comprimento dos arames recozido liso, obtiveram-se dados estatísticos para compreender a faixa de comprimento mais comum dentro da amostra. Para isso, desenvolveu-se a distribuição probabilística gaussiana para a referida amostra, tendo como resultado a compreensão dessa faixa mais comum dos comprimentos do arame, levando em consideração erros de mensuração, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição de Gauss para o comprimento das fibras



Fonte: Acervo do autor (2020)

Com o auxílio do Gráfico 1, conclui-se que na faixa de comprimento entre 4,62 à 6,75 cm encontram-se 68,26% dos arames recozidos da amostra, sendo os limites da área sombreada definida como a média mais ou menos um desvio padrão ($\mu \pm 1\sigma$). A Tabela 13 apresenta os dados estatísticos encontrados a partir do estudo da amostra.

Tabela 13: Dados estatísticos da amostra das sobras de arame recozido liso

Dados	Valor	Unidade
Média (μ)	5,70	cm
Moda	5,40	cm
Mediana	5,60	cm
Desvio Padrão (σ)	1,063	-
Mínimo	2,30	cm
Máximo	10,20	cm
Amostra	1000,00	unidades
Passo	0,20	-
Limite Inferior	4,62	cm
Limite Superior	6,75	cm

Fonte: Acervo do autor (2020)

De posse dos dados encontrados e disponibilizados na tabela anterior, definiu-se, para maior controle nos ensaios laboratoriais, um comprimento único a ser usado no concreto em estudo. Esse comprimento se igualou a média, sendo fixado em 5,70 cm com variação máxima de $\pm 3,50\%$, como ilustrado na figura a seguir:

Figura 34: Corte das sobras de arame recozido liso

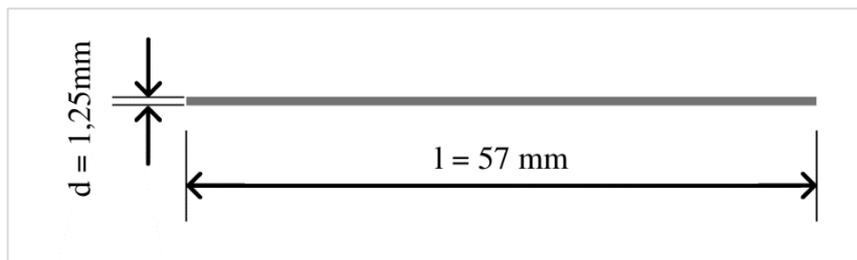


Fonte: Acervo do autor (2020)

Utilizou-se um arame recozido com diâmetro de 1,25 mm, como ilustra a Figura 35. Logo, o fator de forma (relação comprimento/diâmetro) define-se em 45,6. Além disso, o arame recozido liso apresenta 40 kgf/mm² de resistência à tração (R_m), conforme dados do fabricante, e é produzido de acordo com NBR 5589 (2012) - Arame de aço de baixo teor de carbono — Requisitos.

Realizando-se de forma análoga a classificação das sobras de arame recozido liso, como fibras de aço, de acordo com a NBR 15530 (2019) - Fibras de aço para concreto — Requisitos e métodos de ensaio, elas seriam do Tipo R, por não possuir ancoragens na sua extremidade, como mostra a figura 35.

Figura 35: Arame recozido liso utilizado no estudo



Fonte: Acervo do autor (2020)

3.2.6 Concreto

3.2.6.1 *Dosagem de acordo com método da ABCP*

Todos os ensaios e estudos realizados para caracterização do cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água, arame recozido liso e aditivos, tem como intuito principal viabilizar a dosagem do concreto, haja vista que os parâmetros de cada elemento constituinte do concreto interferem diretamente em suas propriedades, tanto no estado fresco como no endurecido.

A dosagem trata-se, basicamente, da escolha de componentes adequados para o concreto e da determinação de suas parcelas, com o intuito de produzir um concreto econômico, que atinja resistência, durabilidade e consistência requerida (NEVILLE, 2016. p.755).

Existem diversos métodos de dosagem para o concreto. Entretanto, no Brasil, popularizou-se o método desenvolvido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), por meio do Estudo Técnico (ET-67) publicado em 1984 com o título de “Parâmetros de Dosagem de Concreto”, caracterizando-se como método essencialmente empírico (ASSUNÇÃO, 2002).

O método ABCP trata-se de um método com embasamento em texto da norma americana ACI 211.1-1981.

O método ABCP foi baseado no texto da norma ACI 211.1-1981 - Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete, onde foi modificado para o uso dos agregados brasileiros. Conforme Boggio (2014) o ABCP foi publicado em 1984 pela associação brasileira de cimento Portland como um estudo técnico com o nome “parâmetros de dosagem do concreto”, tendo como autoria o engenheiro Público Penna Firme Rodrigues (MAIA, 2016).

De posse dessas informações, deu-se prioridade para utilização do método de dosagem ABCP/ACI, haja vista simplicidade, praticidade e familiaridade do método por grande parte da academia.

3.2.6.2 *Abatimento de tronco de cone*

Para definição da consistência do concreto pratica-se o ensaio de abatimento de tronco de cone, também conhecido por “Slump Test”, padronizado pela NBR NM 67 (1998) - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Entretanto, esse método é

limitado aos concretos plásticos e coesivos que apresentem um assentamento igual ou superior a 10 mm e aqueles concretos que não possuem agregados com dimensão máxima nominal superior a 37,5 mm.

Utilizam-se os seguintes materiais/equipamento para realização do ensaio, conforme NBR NM 67 (1998):

- Molde para corpo-de-prova feito de metal tendo diâmetro da base inferior e superior igual a $200,00 \pm 2$ mm e $100,00 \pm 2$ mm respectivamente e altura de 300 ± 2 mm;
- Haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço com diâmetro de 16,00 mm, comprimento de 600,00 mm e extremidades arredondadas;
- Placa de base metálica plana, retangular, com lados de dimensão não inferior a 500,00 mm e espessura maior ou igual a 3,00 mm.

Inicia-se o ensaio realizando a limpeza e umidificação dos equipamentos. Posteriormente, coloca-se o molde sobre a placa metálica, apoiam-se os pés sobre as aletas do molde e preenche-se o molde com o concreto em três camadas, sendo que após preenchimento de cada camada realiza-se a compactação com 25 golpes da haste de socamento, conforme recomendado na NBR NM 67 (2006) e apresentado na figura 36.

Figura 36: Procedimento de compactação das camadas



Fonte: (ROSSI, 2018)

Após a realização do enchimento do molde, rasa-se a superfície e retira-se o molde levantando-o verticalmente dentro do intervalo de 5 a 10 segundos. Para obtenção do abatimento, verifica-se a diferença de altura entre o molde (tronco de cone) e a altura do eixo do corpo de prova, conforme NBR NM 67 (2006).

3.2.6.3 Moldagem dos corpos de prova

Para realização do ensaio compressão axial e compressão diametral, deve-se moldar corpos de prova cilíndricos, conforme as recomendações da NBR 5738 (2015) - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, que retrata sobre o procedimento de moldagem e cura de corpos de prova.

A aparelhagem exigida pela mesma norma é:

- Molde cilíndrico com diâmetro de 10 cm e altura sendo o dobro do diâmetro;
- Haste de adensamento cilíndrica, com superfície lisa, com diâmetro de $16 \pm 0,2$ mm e comprimento de 600 mm a 800 mm, com um ou dois extremos em forma semiesférica;
- Mesa vibratória

Antes de realizar a moldagem dos corpos de prova, deve-se aplicar nos moldes e em suas bases uma fina camada de desmoldante não reagente como o cimento, como mostra a Figura 37.

Figura 37: Preparação dos moldes



Fonte: Acervo do autor (2020)

Depois de realizada a preparação dos moldes dos corpos de prova e de posse dos componentes do concreto devidamente misturados e homogeneizados, efetua-se o enchimento dos corpos de prova. Entretanto, esse enchimento deve ser realizado por camadas, e essas dependem da forma de adensamento, conforme Tabela 14 presente na NBR 5738 (2015).

Tabela 14: Número de camadas para moldagem do corpo de prova

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	-	-

^a Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^b No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: Adaptado NBR 5738 (2015)

Diante da disponibilidade de mesa vibratória no laboratório, opta-se pela escolha do adensamento mecânico. Logo, o enchimento dos corpos de prova, para essa situação, é realizado em apenas uma camada, conforme NBR 5738 (2015).

Figura 38: Adensamento em mesa vibratória



Fonte: Acervo do autor (2020)

Realiza-se o processo de adensamento com extremo cuidado em relação ao tempo de vibração, sendo este interrompido quando a superfície do concreto se tornar lisa e sem o surgimento de bolhas de ar. Cabe, ainda, atenção para que não ocorra segregação do concreto.

Posteriormente, deve-se realizar o rasamento da superfície do concreto com a borda do molde e transportar o corpo de prova até o local de armazenagem, de forma cuidadosa para evitar segregação.

Passados 24 h do processo anterior, desmolda-se os corpos de prova e armazena-se, os mesmos, em um tanque, conforme Figura 39, de forma a evitar que fiquem expostos a gotejamento ou ação da água em movimento. Só se realiza a retirada dos corpos de prova nos dias correspondentes aos ensaios, conforme NBR 5738 (2015).

Figura 39: Cura dos corpos de prova



Fonte: Acervo do autor (2020)

3.2.6.4 Ensaio de resistência à compressão do concreto

Para realização do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, utilizam-se as recomendações da NBR 5739 (2018). Além dos procedimentos para a execução do ensaio, a mesma norma ainda estabelece a aparelhagem necessária para o mesmo.

- Máquina de ensaio à compressão que atenda aos requisitos da NBR ISO 7500-1;
- Pratos de compressão

Antes de iniciar o ensaio, deve-se medir os corpos de prova e realizar a limpeza dos mesmos e dos pratos. Além disso, o posicionamento dos corpos de prova na prensa hidráulica deve ser devidamente centralizado., conforme Figura 40.

Figura 40: Prensa hidráulica e posicionamento do corpo de prova.



Fonte: Acervo do autor (2020)

A velocidade de aplicação do carregamento no corpo de prova deve ser de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s e ser mantida constante durante todo o ensaio. Além disso, deve-se executar a interrupção do ensaio apenas quando houver queda de força que indique ruptura, conforme NBR 5739 (2018).

Por fim, o rompimento dos corpos de prova deve acontecer de acordo com o tempo de cura, mostrado na Tabela 15 contida na NBR 5739 (2018). Esse tempo de cura inicia-se a partir do momento em que o cimento entrou em contato com a água amassamento do concreto.

Tabela 15: Tolerância para idade de ensaio

Idade do ensaio	Tolerância permitida
01 d	0,5 h
03 d	02 h
07 d	06 h
28 d	24 h
63 d	36 h
91 d	48 h

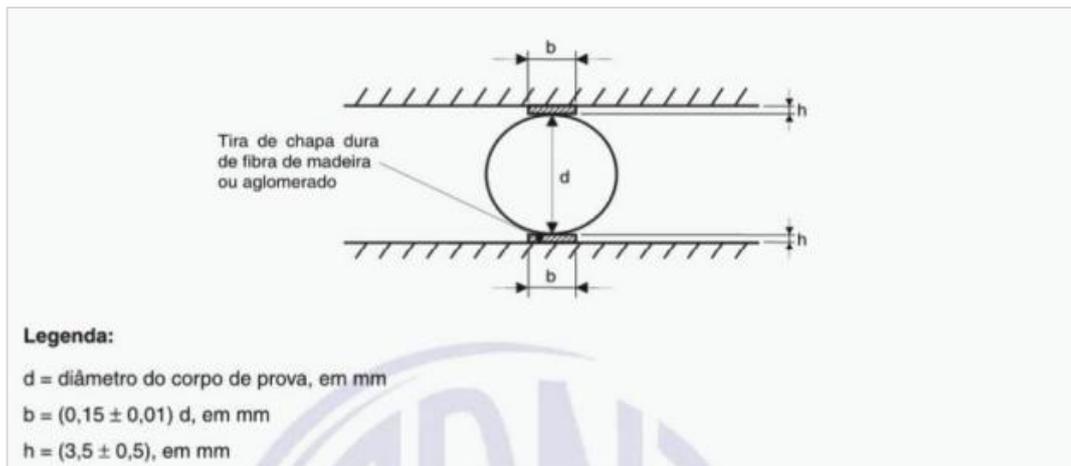
Fonte: Adaptada NBR 5739 (2018)

3.2.6.5 Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Para execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, deve-se seguir as recomendações descritas na NBR 7222 (2011). Apesar de conter os procedimentos para realização do ensaio, a mesma norma não estabelece toda aparelhagem para execução no seu texto, citando apenas que a aparelhagem é conforme a NBR 5739 e NBR 7215. O restante da aparelhagem, a norma descreve sobre dispositivos auxiliares para posicionamento do corpo de prova e as tiras de madeira.

Para o presente trabalho, não se utilizou nenhum dispositivo auxiliar, haja vista o laboratório não dispor de tal equipamento. Entretanto, empregaram-se as tiras de madeira, conforme Figura 41 presente na NBR 7222 (2011).

Figura 41: Tira de madeira e posicionamento do corpo de prova



Fonte: NBR 7222 (2011)

Após posicionamento, deve-se aplicar um carregamento com crescimento constante a uma velocidade (0,05 ± 0,02) MPa/s até que o corpo de prova atinja a ruptura.

Para definição da resistência à tração por compressão diametral, utiliza-se a Equação 6, conforme determina NBR 7222 (2011).

$$f_{ct,sp} = \frac{2F}{\pi dl} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ = é a resistência à tração por compressão diametral, em MPa;

F = é a força máxima obtida no ensaio, em newtons;

d = é o diâmetro do corpo de prova, em mm;

l = é o comprimento do corpo de prova, em mm.

4 RESULTADOS

Os ensaios realizados nesse trabalho buscam justificar a utilização do CAAR. Primeiramente, realizou-se os ensaios de caracterização dos agregados do concreto, como: teor de umidade, granulometria, massa unitária e massa específica, já em um segundo momento realizou-se os ensaios mecânicos de compressão axial e compressão diametral.

4.1 Teor de umidade

Inicialmente deve-se realizar a separação da amostra, sendo 3,00 kg para ambos os agregados, areia e brita 1. A pesagem deve ser realizada em balança calibrada, com precisão de 0,1% da amostra do ensaio, para obtenção da massa úmida do agregado, conforme NBR 9939 (2011) e ilustrado na Figura 42.

Figura 42: Pesagem amostras



Fonte: Acervo do autor (2020)

Posteriormente, leva-se essa amostra coletada e pesada para uma estufa a temperatura constante de 105°C, por 24 horas, até que essa esteja totalmente seca. Após completamente seca, realiza-se a pesagem novamente da amostra.

De posse da massa da amostra úmida, da massa da amostra seca e da tara do recipiente, utiliza-se a Equação (1) para obtenção do teor de umidade, conforme dados expostos na Tabela 16.

Tabela 16: Resultados do teor de umidade

Agregado	Tara do recipiente (kg)	Peso médio (material úmido) (kg)	Peso médio (material seco + recipiente) (kg)	Peso médio (material seco) (kg)	Água (kg)	Teor de umidade médio (%)
Areia Natural	0,85	3,0	3,71	2,86	0,14	4,6%
Brita 1	0,73	3,0	3,72	2,99	0,01	0,2%

Fonte: Acervo do autor (2020)

4.2 Composição granulométrica dos agregados

A viabilização da dosagem correta do concreto, passa pela caracterização adequada dos materiais que o compõe. A definição da composição granulométrica dos agregados possui grande importância nesse sentido. Sendo assim, segue-se as recomendações da NBR NM 248 (2003) para ensaio de composição granulométrica, com os métodos apresentados detalhadamente no capítulo 3 em conformidade com as normas técnicas.

O ensaio de granulométrica proporciona dois parâmetros importantes para a dosagem do concreto; o primeiro trata-se do DMC, grandeza relacionada à distribuição granulométrica do agregado, conforme NBR 7211 (2009), e que interfere na estimativa do consumo de água por metro cúbico na dosagem do concreto pelo método ABCP/ACI. Já o segundo, é o módulo de finura, que se refere à soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras série normal, dividida por 100, de acordo com NBR 7211 (2009), e esse, afeta no consumo de agregado graúdo na dosagem do concreto pelo método ABCP/ACI.

Os resultados do ensaio para o agregado miúdo (areia) apresentam-se na Tabela 17.

Tabela 17: Análise granulométrica do agregado miúdo

RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS AGREGADO MIÚDO					
PENEIRA (mm)	MASSA (g)			AMOSTRA	
	Peneira (g)	Peneira + Amostra (g)	Amostra (g)	% Retida	% Acum
6,30 mm	429	429	0	0,0%	0,0%
4,75 mm	425	425	0	0,0%	0,0%
2,36 mm	394	399	5	0,2%	0,2%
1,18 mm	376	394	18	0,6%	0,8%
600 µm	345	806	461	16,5%	17,3%
300 µm	320	2362	2042	72,9%	90,2%
150 µm	300	478	178	6,4%	96,6%
Fundo	354	450	96	3,4%	100,0%
TOTAL	2943	5743	2800	100%	--
Módulo de Finura (MF)	2,05 mm				
Dimensão Máxima (DMC)	1,18 mm				
Zona do Agregado Miúdo	Muito Fino				

Fonte: Acervo do autor (2020)

Podemos perceber, conforme Tabela 17, que a areia comercializada em São Luís, de modo geral, apresenta uma distribuição granulométrica descontínua e um módulo de finura em zona inferior, conforme Tabela 18.

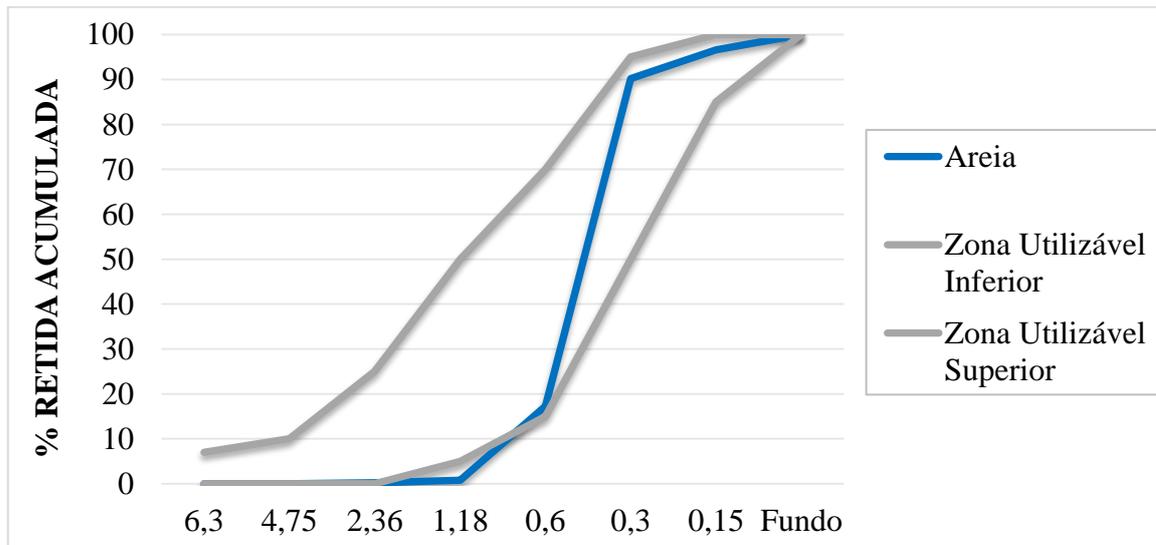
Tabela 18: Zona granulométrica

Zona	Módulo de Finura
Zona Ótima	2,20 à 2,90
Zona Inferior	1,55 à 2,20
Zona Superior	2,90 à 3,50

Fonte: Adaptado NBR 7211 (2009)

Com o intuito de facilitar a interpretação dos dados expostos na Tabela 17, elaborou-se um gráfico da curva granulométrica da areia natural, além de apresentar a curva da zona utilizável inferior e superior, estabelecidas pela NBR 7211 (2009).

Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Acervo do autor (2020)

Com o auxílio do Gráfico 2, percebe-se claramente o comportamento da areia natural, possuindo descontinuidade em sua distribuição, com variação brusca entre os limites das zonas utilizáveis.

Já em relação ao agregado graúdo, realizou-se o ensaio com, além das peneiras da série normal, as peneiras intermediárias, garantindo um detalhamento maior da curva granulométrica do agregado e precisão dos dados.

A Tabela 19 exhibe os dados obtidos através do ensaio.

Tabela 19: Análise granulométrica do agregado graúdo

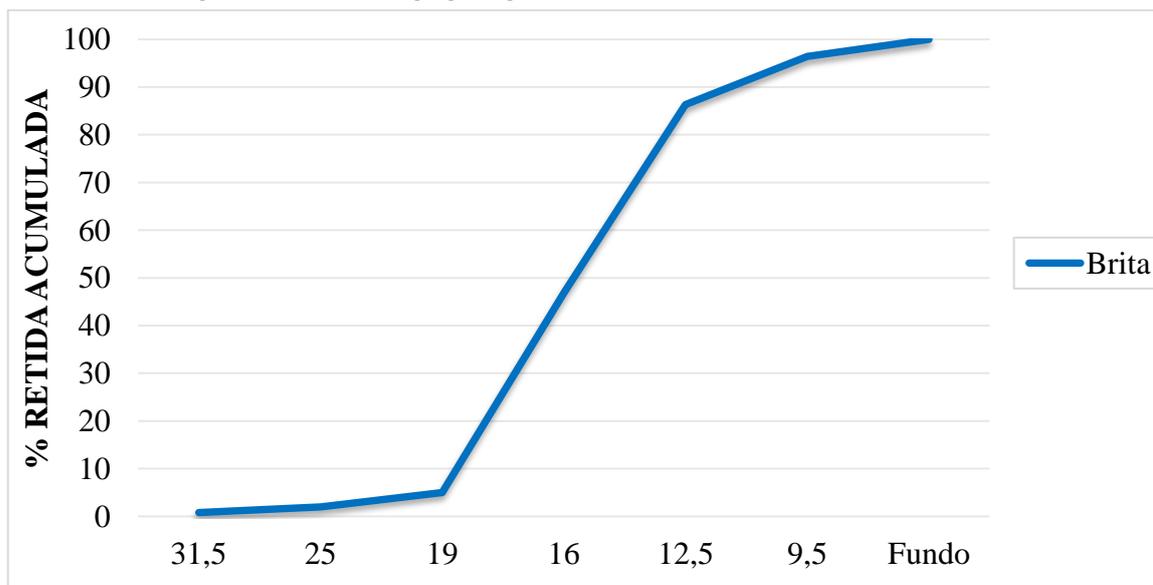
RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS AGREGADO GRAÚDO					
PENEIRA (mm)	MASSA (g)			AMOSTRA	
	Peneira (g)	Peneira + Amostra (g)	Amostra (g)	% Retida	% Acum
63,0 mm	546	546	0	0,0%	0,0%
31,5 mm	457	481	24	0,8%	0,8%
25,0 mm	417	453	36	1,2%	2,0%
19,0 mm	415	505	90	3,0%	5,0%
16,0 mm	459	1710	1251	41,8%	46,8%
12,5 mm	453	1633	1180	39,4%	86,3%
9,50 mm	429	731	302	10,1%	96,4%
Fundo	363	472	109	3,6%	100,0%
TOTAL	3539	6531	2992	100%	--
Módulo de Finura	2,37 mm				
Dimensão Máxima Característica	19 mm				

Fonte: Acervo do autor (2020)

Nota-se na Tabela 19 que a dimensão máxima característica do agregado condiz com o esperado ao encontrar-se um valor de 19 mm. Além disso, o módulo de finura do agregado é de 2,37 mm.

O Gráfico 3 mostra de forma mais clara essa distribuição ao apresentar a curva granulométrica do mesmo.

Gráfico 3: Curva granulométrica do agregado graúdo



Fonte: Acervo do autor (2020)

Conforme o Gráfico 3, observa-se uma curva granulométrica com distribuição relativamente contínua e bem graduada, logo dentro dos limites imposto pela NBR 7211 (2009).

4.3 Massa específica

4.3.1 Agregado Miúdo

Determinou-se a massa específica da areia (agregado miúdo) a partir dos procedimentos expostos na NBR NM 52 (2009) e descritos anteriormente, neste trabalho, no item 3.2.1.3.2. Utilizando-se dos dados extraídos do ensaio para munir a Equação (3), possibilitando a obtenção da massa específica exposta na Tabela 20.

Tabela 20: Massa específica do agregado miúdo

Agregado Miúdo (Areia)	
Massa Específica	
Massa específica aparente seca	2,64 g/cm ³
Massa específica saturado com superfície seca	2,67 g/cm ³
Massa específica	2,73 g/cm ³

Fonte: Acervo do autor (2020)

Conforme estabelecido na NBR NM 52 (2009), a Tabela 20 apresenta três distintas massas específica para cada condição no qual o agregado é submetido. Assim obtemos informações mais precisas do comportamento do mesmo em diferentes cenários.

4.3.2 Agregado Graúdo

Para determinação da massa específica da brita 1 (agregado graúdo), utilizou-se dos procedimentos descritos na NBR NM 53 (2009) e também, neste trabalho, no item 3.2.1.3.1. Os dados obtidos através do ensaio foram utilizados para abastecer a Equação (2), proporcionando a massa específica apresentada na Tabela 11.

Tabela 21: Massa específica agregado graúdo

Agregado Graúdo (Brita)	
Massa Específica	
Massa específica	2,81 g/cm ³
Massa específica saturado com superfície seca	2,71 g/cm ³
Massa específica aparente agregado seco	2,65 g/cm ³

Fonte: Acervo do autor (2020)

A Tabela 21 apresenta a massa específica do agregado graúdo para diferentes cenários. Logo, obtém-se uma melhor caracterização da brita 1, aproveitando ao máximo o potencial do ensaio estabelecido pela NBR NM 53 (2009).

4.4 Massa unitária

Trata-se uma das principais caracterizações de um material, quando esse é utilizado para produção do concreto dosado pelo método ABCP/ACI, haja vista que a massa unitária possibilita a conversão de unidades para utilização do material, assim como sua proporcionalidade na mistura.

Determinou-se a massa unitária a partir dos procedimentos expostos na NBR NM 45 (2006) e descritos anteriormente, neste trabalho, no item 3.2.1.4. Utilizando-se dos dados extraídos do ensaio para alimentar a Equação (5), possibilitou-se a obtenção da massa específica tanto no estado solto, quanto no compactado, como expõe a Tabela 22.

Tabela 22: Massa unitária dos agregados

Massa unitária dos agregados		
Agregado	Estado	Massa unitária (kg/m ³)
Areia natural	Solto	1337,5
	Compactado	1498,8
Brita 1	Solto	1319,2
	Compactado	1442,7

Fonte: Acervo do autor (2020)

4.5 Cálculo do traço do concreto

Seguiu-se as recomendações técnicas da NBR 12655 (2015) e utilizou-se o método ABCP/ACI para realizar a dosagem do concreto. Inicialmente, definiu-se a resistência requerida do concreto aos 28 dias (f_{ck}), no qual adotou-se o $f_{ck} = 25$ MPa (Classe C25), classe essa tradicional para estruturas de concreto armado, classificadas como classe de agressividade II, conforme NBR 6118 (2014).

Dando sequência a dosagem, a NBR 12655 (2015), estabelece que o traço deve ser majorado de forma a atender as condições de variabilidade de produção do concreto no canteiro de obras. A Tabela 23, contida na norma, estabelece esse desvio-padrão conforme as condições de preparo.

Tabela 23: Desvio-padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

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

Fonte: Adaptada NBR 12655 (2015)

Conforme NBR 12655 (2015), para concretos com cimento e agregados dosados medidos em massa, a água de amassamento medida em massa e corrigida em função da umidade dos agregados, utiliza-se a condição de preparo A, conforme Tabela 23, com desvio-padrão de 4,0 MPa.

De posse das informações anteriores, alimenta-se a Equação (7) contida na NBR 12655 (2015), para determinação da resistência média a compressão do concreto aos 28 dias ($f_{c_{28}}$).

$$f_{c_{28}} = f_{ck} + 1,65 \times sd \quad \text{Equação (7)}$$

Onde:

$f_{c_{28}}$ = Resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de 28 dias, em MPa;

f_{ck} = Resistência do concreto à compressão, prevista para a idade de 28 dias, em MPa;

d = Desvio-padrão da dosagem, em MPa.

Logo, realizando-se o cálculo anterior, chegou-se à resistência média do concreto à compressão, conforme mostra Tabela 24.

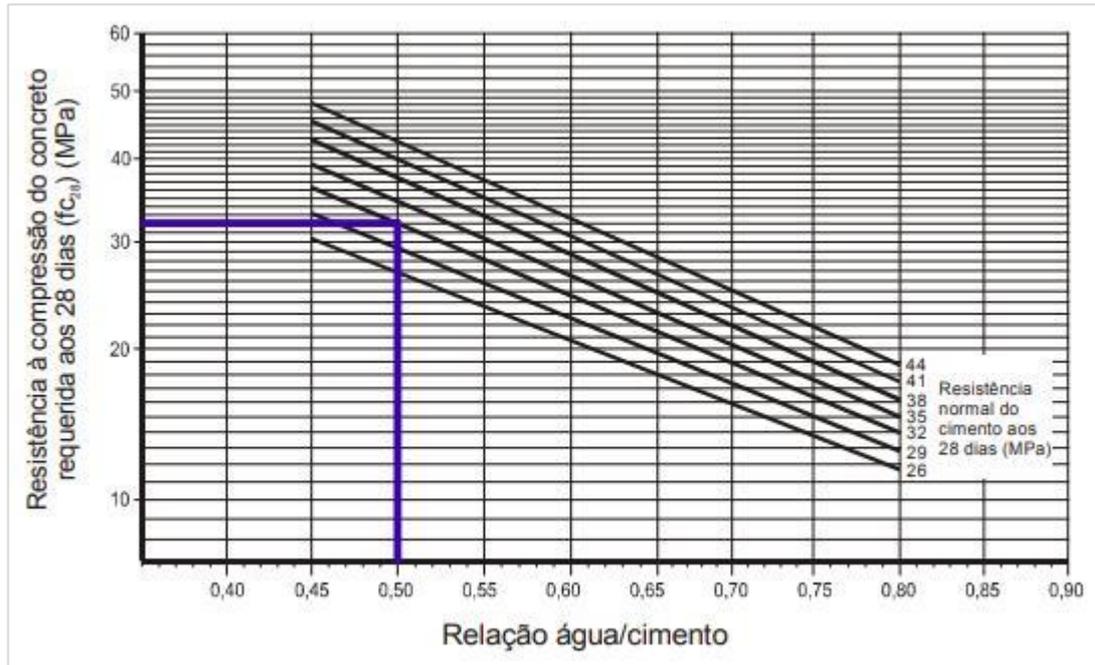
Tabela 24: Resultado $f_{c_{28}}$

Resistência média do concreto à compressão prevista para 28 dias	
$f_{c_{28}}$	31,40 MPa

Fonte: Acervo do autor (2020)

Sabendo-se da resistência média do concreto à compressão aos 28 dias, definiu-se o cimento da marca Bravo CP IV-32RS para produção do concreto. A partir desses dados, encontrou-se, utilizando a curva de Abrams, a relação água/cimento para o traço, sendo essa fixada em 0,50, conforme Figura 43.

Figura 43: Curva de Abrams para determinação da relação a/c



Fonte: Adaptado (ASSUNÇÃO, 2002)

Após a fixação da relação água cimento, utiliza-se a Tabela 25, para determinar o consumo de água do traço em função da dimensão máxima característica do agregado e o abatimento desejado para o concreto.

Tabela 25: Estimativa do consumo de água

ABATIMENTO DO TRONCO DO CONE	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60mm	220 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³	180 l/m ³
60 a 80mm	225 l/m ³	200 l/m ³	195 l/m ³	190 l/m ³	185 l/m ³
80 a 100mm	230 l/m ³	205 l/m ³	200 l/m ³	200 l/m ³	190 l/m ³

OBSERVAÇÕES:

- 1 – Os valores acima são recomendados para concretos confeccionados com agregado graúdo britado (basalto), agregado miúdo (areia de rio), consumo de cimento por metro cúbico de concreto da ordem de 300kg/m³ e abatimento, medido pelo tronco de cone, entre 4mm a 100mm;
- 2 – Quando usado seixo rolado como agregado graúdo, os valores do consumo de água podem ser reduzidos de 5% a 10%;
- 3 – As areias pertencentes à zona 1 da NBR 7211 (muito fina), podem gerar aumentos de até 10% no consumo de água por metro cúbico de concreto.

Fonte: Adaptado Rodrigues (1998)

Definiu-se o abatimento do troco de cone em 100 mm, tradicionalmente utilizado em estruturas de concreto armado com armaduras conforme NBR 6118 (2014), possuindo uma taxa de 4% da área da seção bruta do concreto. Já, como relatado na Tabela 19, a dimensão máxima

do agregado graúdo é de 19 mm. Logo, conforme Tabela 25, o consumo de água para o traço é de 205,00 l/m³.

Conhecendo-se o consumo de água do traço, faz-se uma relação com o fator a/c encontrado por meio da curva de Abrams para a determinação do consumo de cimento do traço em estudo.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

C_c = Consumo de cimento, em quilogramas por metro cúbico;

C_a = Consumo de água, em litros por metro cúbico;

a/c = Fator água/cimento

Resolvendo a Equação (8), na qual o consumo de água é 205,00 l/m³ e o fator a/c é de 0,50, temos conforme Tabela 26.

Tabela 26: Consumo de cimento

Consumo de Cimento
410,00 kg/m ³

Fonte: Acervo do autor (2020)

Depois da definição a relação a/c , o consumo de água e consumo de cimento, move-se os esforços para a determinação do consumo de agregados que serão utilizados no traço. Inicialmente, para o cálculo do consumo de agregado graúdo, utilizou-se a Tabela 27 desenvolvida a partir de experimentos realizados pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), na qual apresenta o volume compactado seco do agregado graúdo em razão do diâmetro máximo característico do agregado graúdo e do módulo de finura do agregado miúdo.

Sabendo-se que o módulo de finura do agregado miúdo é 2,05 mm, conforme Tabela 17, e o diâmetro máximo característicos do agregado graúdo é de 19 mm, conforme Tabela 19. Logo, realiza-se a correlação desses dados na Tabela 27.

Tabela 27: Volume compactado seco de agregado graúdo por metro cúbico de concreto

MÓDULO DE FINURA DA AREIA	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO GRAÚDO (Φ_{\max})				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
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	0,715	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 Rodrigues (1998)

Podemos verificar, que o módulo de finura do agregado miúdo em estudo está entre o módulo de finura 2,00 e 2,20, contidos na Tabela 17, que para DMC de 19 mm representam um volume compactado seco de agregado (V_{pc}) de 0,750 e 0,730, respectivamente. Para determinar com maior precisão, o V_{pc} realizou-se a interpolação entre os dados, resultando nos valores demonstrados na Tabela 28.

Tabela 28: Volume compactado seco interpolado

Volume compactado seco/ m ³	
Módulo de finura (mm)	Dimensão máxima característica do agregado (mm)
	19,0
2,05	0,745

Fonte: Acervo do autor (2020)

De posse do volume de agregado graúdo por m³ de concreto, utiliza-se a Equação (9) para converter o volume/m³ em massa/m³ em função da massa unitária compactada do agregado graúdo.

$$C_b = V_b \times Mu \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

C_b = Consumo de agregado graúdo por m³ de concreto, em kg/m³;

V_b = Consumo de agregado graúdo (brita 1) seco por m³ de concreto;

Mu = Massa unitária compactada do agregado graúdo, em quilogramas por metro cúbico.

Conforme Tabela 22, a massa unitária compactada do agregado graúdo é de 1442,7 kg/m³. Logo, resolvendo-se a equação (9), temos apresentado na Tabela 29 o consumo de brita.

Tabela 29: Consumo de Brita 1

Consumo de Brita 1
1074,8 kg/m ³

Fonte: Acervo do autor (2020)

O volume do concreto é produzido pelo somatório dos volumes absolutos dos materiais que o constitui (ASSUNÇÃO, 2002). Assim, conhecendo o consumo de água, cimento e agregado graúdo, o consumo de agregado miúdo trata-se do restante desse volume. Logo, temos:

$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad \text{Equação (10)}$$

Onde:

V_m = Volume de agregado miúdo, em metros cúbicos;

C_c = Consumo de cimento;

γ_c = Massa específica do cimento;

C_b = Consumo de agregado graúdo;

γ_b = Massa específica do agregado graúdo;

C_a = Consumo de água;

γ_a = Massa específica da água.

Adicionando os valores numéricos na Equação (10), encontra-se o volume de agregado miúdo $V_m = 0,281 \text{ m}^3$. Logo, utilizando da Equação (11), determina-se o consumo de areia.

$$C_m = \gamma_m \times V_m \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

C_m = Consumo de agregado miúdo;

V_m = Volume de agregado miúdo, em metros cúbicos;

γ_m = Massa específica do agregado miúdo.

Com isso, conclui-se a determinação dos consumos de material do concreto de referência, com 0% de adição, como mostra Tabela 30, conforme NBR 12655 (2015) e método ABCP/ACI.

Tabela 30: Resumo de materiais do traço de referência

Resumo de materiais do traço			
Consumo de Cimento	Consumo de Areia	Consumo de Brita 1	Consumo de Água
410,0 kg/m ³	724,4 kg/m ³	1074,8 kg/m ³	205 kg/m ³

Fonte: Acervo do autor (2020)

De forma a tornar o traço mais prático, utiliza-se a Equação (12) para o transformá-lo na sua forma unitária.

$$1,0 : \frac{C_m}{C_c} : \frac{C_b}{C_c} : (a/c) \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

C_m = Consumo de agregado miúdo;

C_b = Consumo de agregado graúdo;

C_c = Consumo de cimento;

a/c = Fator água/cimento

Portanto, o traço unitário para o concreto de referência se caracteriza conforme Tabela 31.

Tabela 31: Traço do concreto de referência

Resumo de materiais do traço			
Consumo de Cimento	Consumo de Areia	Consumo de Brita 1	Consumo de Água
1	1,811	2,62	0,5

Fonte: Acervo do autor (2020)

Com a dosagem do concreto finalizada, possibilita-se a produção do mesmo para avaliação das suas características, tanto no estado fresco, como no endurecido, conforme as NBR exigidas para cada tipo de ensaio.

A forma de adição das sobras de arame recozido liso encontra-se no item 4.6, deste trabalho.

4.6 Adição das sobras de arame recozido liso

A quantidade de sobras de arame recozido liso para a produção CRSA interfere diretamente nas propriedades do concreto. Portanto, faz-se necessário entender esse comportamento previamente a partir de estudos análogos anteriores voltados para o reforço do concreto com fibras de aço. Dessa forma, determinou-se o quantitativo utilizado neste presente trabalho. A Tabela 32 apresenta traços de alguns autores que serviram para nortear a dosagem das sobras de arame recozido liso.

Tabela 32: Dosagem de autores para estudos com CRFA

Autores	Cimento (kg/cm³)	Água (kg/m³)	Areia (kg/m³)	Brita (kg/m³)	Aditivo (kg/m³)	Fibras de Aço (kg/m³)	Fibras de Aço/ Cimento (%)
Barros (2009)	400	198,9	875	895	1,8	78,5	19,63%
Fugii et al (2008)	400	160	810	1080	-	10; 15; 20; 25; 30	5,00%
Figueiredo et al (2006)	450	180	909	859,5	0,9	20	4,44%
Yazici et al (2007)	438	159	773	907	10,95	17; 39; 117	8,90%

Fonte: Acervo do autor (2020)

De posse dos dados apresentados na Tabela 32, decidiu-se compreender o comportamento das sobras de arame recozido liso dentro de parâmetros de estudos anteriormente com fibras de aço. Portanto, a Tabela 33 apresenta as quantidades estudadas no presente trabalho em função da massa de cimento do traço.

Tabela 33: Adições de sobra de arame da massa de cimento

Traço	Sobras de arame/ cimento (%)
CREF	0%
CAAR5,5	5,50%
CAAR11	11,00%

Fonte: Acervo do autor (2020)

4.7 Análise do ensaio de abatimento do tronco de cone

Caracteriza-se trabalhabilidade como sendo uma propriedade que representa a capacidade de um concreto ser utilizado sem perder a sua homogeneidade. A coesão e a fluidez são elementos que constituem a definição de um concreto trabalhável.

Para “medir” a trabalhabilidade de um concreto utiliza-se do ensaio laboratorial de abatimento de tronco de cone, ou “Slump Test”, definido pela NBR NM 67 (1998) e apresentado de forma sucinta no item 3.6.2.1, deste presente trabalho.

Os resultados para o ensaio de abatimento de tronco de cone para o CREF, CAAR5,5 e CAAR11, apresentam-se na Tabela 34.

Tabela 34: Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone

Traço	Abatimento
CREF	90 mm
CAAR5,5	95 mm
CAAR11	97 mm

Fonte: Acervo do autor (2020)

O abatimento alcançado é determinado a partir da diferença entre a altura do molde e a altura do corpo-de-prova desmoldado, conforme NBR NM 67 (1998) e ilustrado na Figura 44.

Tabela 35: Abatimento para os traços do concreto



Fonte: Acervo do autor (2020)

Os traços com adição de 5,5% e 11% de adição de sobras de arame recozido liso, de imediato não conseguiram alcançar o abatimento desejado (10 ± 2 cm) com a relação água/cimento fixada em 0,5. Para que isso fosse contornado, sem alteração da relação a/c entre os traços, adicionou-se o aditivo Glenium 51.

O fabricante do Glenium 51, recomenda a utilização de 0,2% em relação a massa de cimento do traço. Entretanto, não se realizou a adição dessa quantidade de forma imediata. A adição do aditivo foi feita gradualmente, até que fosse atingido o abatimento desejado.

Os quantitativos em massa adicionados para traço com adição de sobras de arame recozido liso estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 36: Quantidade de aditivo adicionado para cada traço

Traço	Quantidade de aditivo (g)	Aditivo/ Cimento (%)
CAAR5,5	0,6	0,06%
CAAR11	1,2	0,12%

Fonte: Acervo do autor (2020)

Portanto, percebeu-se que à medida que aumenta quantidade de sobras de arame recozido liso no traço ocorre a atenuação da trabalhabilidade do concreto. Logo, podemos concluir que as fibras interferem reduzindo a trabalhabilidade no estado fresco do concreto.

4.8 Resistência à compressão

Para a análise das características mecânicas no estado endurecido para os traços em estudo rompeu-se 2 corpos-de-prova de 10 x 20 cm para cada um dos traços nas idades de 7 e 28 dias.

Conforme considerações apresentadas no item 3.2.6.4 referentes a NBR 5739 (2018), realizou-se os rompimentos dos corpos de prova para cada um dos traços. Os resultados da resistência à compressão situam-se na Tabela 37, para a idade de 7 dias, apresentando-se ainda a variação da resistência, em MPa, em relação ao traço de referência, com zero adição de sobras de arame recozido liso.

Tabela 37: Resultados da resistência à compressão com idade de 7 dias

Corpo de prova	TRAÇO								
	CREF			CAAR5,5			CAAR11		
	0% de adição			5,5% de adição			11% de adição		
	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)
1°	3,746	162,58	20,71	3,812	165,09	21,02	3,790	109,64	13,96
2°	3,802	167,34	21,31	3,791	155,58	19,81	3,828	109,72	13,97
Média	3,774	164,93	21,01	3,802	160,30	20,41	3,809	109,64	13,96
Variação em relação ao traço de referência, em porcentagem				-3%			-34%		

Fonte: Acervo do autor (2020)

Observa-se, na Tabela 37, que o traço CAAR5,5 apresenta uma resistência média de 3% abaixo daquela apresentada pelo traço de referência (CREF), com zero adição de sobra de arame recozido liso. Seguindo o mesmo padrão, o traço CAAR11 também apresentou queda de resistência em relação ao traço de referência, mas diferentemente do CAAR5,5, a redução foi de 34%.

Já Tabela 38 apresenta os resultados da resistência à compressão para a idade de 28 dias, conforme recomendações da NBR 5739 (2018).

Tabela 38: Resultados da resistência à compressão para a idade de 28 dias

Corpo de prova	TRAÇO								
	CREF			CAAR5,5			CAAR11		
	0% de adição			5,5% de adição			11% de adição		
	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)
1°	3,769	240,73	30,65	3,852	235,77	30,02	3,79	182,21	23,24
2°	3,791	244,65	31,15	3,823	224,31	28,56	3,828	189,12	24,08
Média	3,780	242,69	30,90	3,838	230,04	29,29	3,809	185,83	23,66
Variação em relação ao traço de referência, em porcentagem				-5%			-24%		

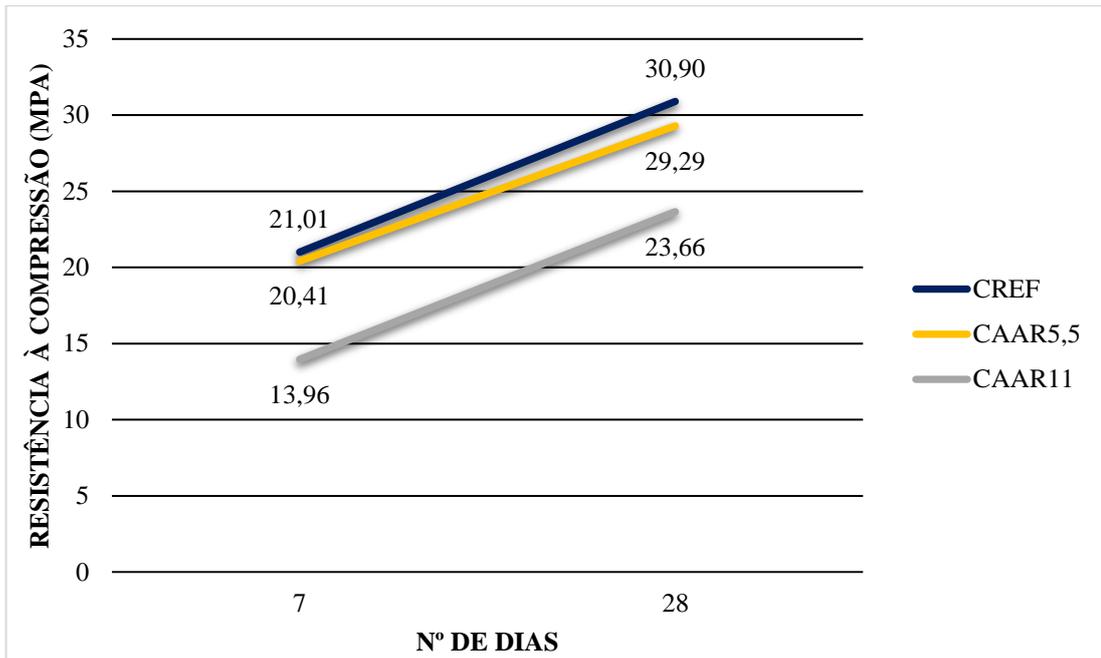
Fonte: Acervo do autor (2020)

Percebe-se, por meio da Tabela 38, que o traço CAAR5,5 continuou a tendência apresentada para a idade de 7 dias, porém com uma redução de 5% da resistência à compressão média em comparação ao traço de referência. Já o Traço CAAR11, apresentou resistência à compressão média 24% mais baixa que o traço de referência.

Portanto, entende-se que à medida que o teor de sobras de arame recozido liso foi adicionado ao traço, houve uma redução da resistência à compressão do concreto, mesmo com a presença de aditivo, que de acordo com o fabricante, melhora a resistência do concreto.

O Gráfico 4 mostra o comportamento da resistência à compressão para os traços em estudo em função da idade de rompimento do corpo-de-prova.

Gráfico 4: Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo



Fonte: Acervo do autor (2020)

Com o auxílio do Gráfico 4, observa-se a evolução da resistência ao longo dos dias de cura. Inicialmente, aos 7 dias, o CREF e o CAAR5,5 mostram-se em equilíbrio técnico, com uma diferença pequena, enquanto o CAAR11 apresenta disparidade em relação aos demais, com resistência bem inferior. Aos 28 dias, acontece um aumento da diferença entre as resistências do CREF e CAAR5,5, no passo que o traço CAAR11 apresenta recuperação, entretanto não alcança os 25 MPa mínimo requerido na dosagem.

4.9 Resistência à tração por compressão diametral

Para o ensaio de tração por compressão diametral, utilizou-se 2 corpos de prova por traço para as idades de 7 e 28 dias, sendo esses com dimensões de 10 x 20 cm.

Os resultados referentes ao ensaio, realizado conforme NBR 7222 (2011) para a idade de 7 dias, estão apresentados na Tabela 39. Percebe-se, então, que o CAAR5,5 comparado com o CREF possui resistência à tração 6% maior, demonstrando a influência das sobras de arame recozido liso nesse parâmetro. Mostra-se uma divergência ainda mais relevante quando se compara o CREF e o CAAR11, sendo o último possuidor de resistência 13% maior que o primeiro

Tabela 39: Resultados da resistência à tração para a idade de 7 dias

Corpo de prova	TRAÇO								
	CREF			CAAR5,5			CAAR11		
	0% de adição			5,5% de adição			11% de adição		
	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)
1°	3,826	36,19	2,30	3,784	38,42	2,45	3,813	40,04	2,55
2°	3,812	35,87	2,28	3,743	38,03	2,42	3,829	41,17	2,62
Média	3,819	36,03	2,29	3,764	38,23	2,44	3,821	40,61	2,59
Variação em relação ao traço de referência, em porcentagem				6%			13%		

Fonte: Acervo do autor (2020)

A tendência de melhoria da resistência à tração por compressão diametral, para os traços com adição de sobras de arame recozido liso, se mantém para a idade de 28 dias, como é possível perceber na Tabela 40.

Tabela 40: Resultados da resistência à tração para a idade de 28 dias

Corpo de prova	TRAÇO								
	CREF			CAAR5,5			CAAR11		
	0% de adição			5,5% de adição			11% de adição		
	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)	Massa (kg)	Carga (kN)	Fck (MPa)
1°	3,819	48,91	3,11	3,790	59,98	3,82	3,868	62,32	3,97
2°	3,787	48,01	3,06	3,816	57,28	3,65	3,837	63,29	4,03
Média	3,803	48,46	3,09	3,803	58,63	3,74	3,853	62,81	4,00
Variação em relação ao traço de referência, em porcentagem				21%			30%		

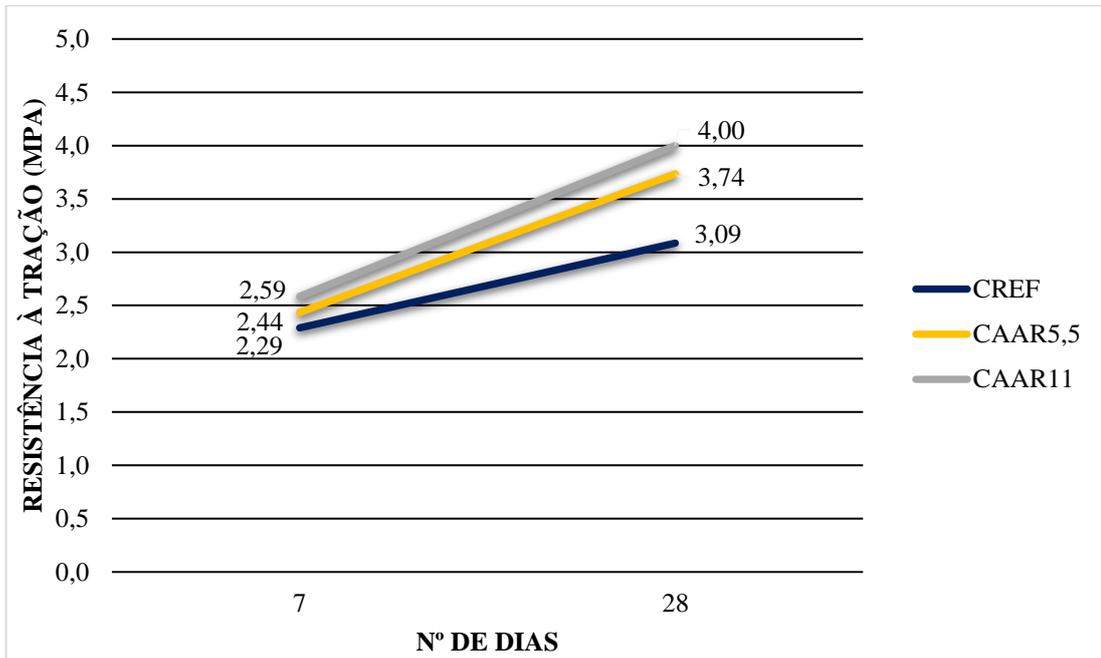
Fonte: Acervo do autor (2020)

Portanto, como visto na Tabela 40, o CAAR5,5 manteve a sua tendência, o que acabou resultando em uma melhoria de 21% em relação ao traço CREF. Já o traço CAAR11, foi além, apresentou uma resistência à tração por compressão 30% maior que a do CREF.

Observa-se ainda que a diferença entre as resistências do CAAR5,5 e CAAR11 aumentou, passando de 6%, para a idade de 7 dias, para quase 7%, aos 28 dias.

Compreender a evolução da resistência ao longo dos dias é fundamental para identificar o comportamento dos traços nas primeiras idades e nas “últimas” idades. O Gráfico 5, apresenta a trajetória da resistência ao longo dos dias.

Gráfico 5: Evolução da resistência à tração por compressão diametral ao longo do tempo



Fonte: Acervo do autor (2020)

Nota-se que o desenvolvimento da resistência à tração do traço CREF possui inclinação menor em comparação aos traços com adição de sobras de arame recozido liso. Aplicando-se um pensamento estatístico, a taxa de crescimento da resistência dos traços com adição de arame recozido liso é de 3% ao dia, enquanto a taxa de crescimento do traço sem adição é de 2%. Logo, a adição de sobras arame recozido liso proporciona uma melhoria da resistência à tração ao longo do tempo maior em comparação ao concreto sem adição de sobras de arame recozido liso.

5 CONCLUSÃO

Percebendo-se a necessidade de reaproveitamento de material e desenvolvimento de um concreto com propriedades mecânicas mais avançadas, no presente trabalho analisou-se o comportamento mecânico do concreto com adição de um material análogo as fibras de aço, sendo esse, as sobras de arame recozido liso.

Por meio de modelos estatísticos definiu-se um comprimento único das sobras de arame recozido liso, de modo que esse comprimento não fosse uma variável de estudo. Logo, após a determinação das características dos materiais constituintes do concreto, dosagem e produção do mesmo, as únicas variáveis críticas do estudo foram o teor de fibras e quantidade de aditivo.

A adição das sobras de arame recozido liso provocou alterações tanto no estado fresco, como no estado endurecido do concreto. No estado fresco, o resultado do ensaio de abatimento de tronco de cone mostrou que a adição das sobras de arame recozido liso reduz a trabalhabilidade do concreto à medida que o seu teor aumenta, tendo como solução a adição de aditivo superplastificante com o intuito de manter a relação a/c constante para os demais ensaios.

No estado endurecido, especificamente para o ensaio de compressão axial, os resultados mostraram que para o teor de 11% de sobras de arame recozido liso a resistência à compressão sofre uma redução muito significativa, sendo 24% menor que a apresentada pelo concreto de referência. Em contrapartida o traço com teor de 5,5% de sobra de arame recozido liso (CAAR5,5), apesar de também ter sofrido redução da resistência à compressão, teve impacto pouco significativo em ambas as idades (7 e 28 dias) do concreto.

Em relação ao ensaio de compressão diametral, os resultados demonstraram que o concreto com adição de 11% de sobras de arame recozido liso obteve a melhor resistência à tração, tanto aos 7, quando aos 28 dias de cura, sendo 30% mais eficiente nesse quesito em comparação ao traço de referência. Já o traço CAAR5,5 mostrou resultados razoáveis, sendo 21% mais resistente à tração em comparação ao traço CREF e apenas 7% menos resistente que o traço CAAR11.

De forma a compreender melhor os resultados do estudo. A Tabela 41 apresenta um resumo das características mecânicas dos traços analisados.

Tabela 41: Resumo das características mecânicas e abatimento dos traços

Resumo das características mecânicas e abatimento					
Traço	Resistência à compressão		Resistência à tração		Abatimento
	7º dia	28º dia	7º dia	28º dia	
CREF	21,01 MPa	30,90 MPa	2,29 MPa	3,09 MPa	90 mm
CAAR5,5	20,41 MPa	29,29 MPa	2,44 MPa	3,74 MPa	95 mm
CAAR11	13,96 MPa	23,66 MPa	2,59 MPa	4,00 MPa	97 mm

Fonte: Acervo do autor (2020)

Portanto, a partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que o traço CAAR5,5 apresentou os melhores desempenhos. Apesar de possuir resistência à tração menor que o traço CAAR11, manteve-se acima de 25MPa à compressão requeridos na dosagem e necessitou de uma menor quantidade de aditivos para alcançar o abatimento desejado.

5.1 Recomendações para futuras pesquisas

Sugestões para trabalhos futuros:

- Produzir traços com teores diferentes de adição, como: 2,75 %, 8,25% e 13,75%;
- Analisar a influência do aditivo Glenium 51 nas propriedades mecânicas do concreto;
- Avaliar a suscetibilidade do CRSA aos mecanismos de envelhecimento e deterioração do concreto;
- Avaliar o impacto ambiental do reaproveitamento das sobras de arame recozido liso;
- Analisar as implicações da redução da resistência à compressão provocada pela adição das fibras.

REFERÊNCIAS

ACI Committee 544. **State of the art report on fiber reinforced concrete** - Report: ACI 544 IR-82. Farmington Hills: American Concrete Institute, 1982/1996.

ALMEIDA, Brivaldo Gomes de *et al.* Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. **Comunicado Técnico 66**, Rio de Janeiro, p. 0-11, dez. 2012.

ALMEIDA, Gyselle Maciel de. **Utilização de escória produzida em alto-forno a carvão vegetal como agregado graúdo e miúdo para concreto**. 2014. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015 (Versão Corrigida: 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 5589**: Arame de aço de baixo teor de carbono — Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: 2014 (Versão Corrigida: 2014).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009 (Versão Corrigida: 2019).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

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 11768-2**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12006**: Cimento - Determinação do calor de hidratação pelo método de garrafa de Langavant - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2014 (Versão Corrigida: 2015).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014 (Versão Corrigida: 2015).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro, 2015 (Versão Corrigida: 2015).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13583**: Cimento Portland — Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: Fibras de aço para concreto — Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 26**: Agregados Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 27**: Agregados - Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

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 NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica — Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSUNÇÃO, J. W. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do Paraná**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BARROS, J. O. **Estado-da-arte dos betões reforçado com fibras**. Eng. Civil UM, Departamento de Eng. Civil, Univ. do Minho, 1996, Guimarães, Portugal, n. 3.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019.

BAUER, L.A Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 488 p.

BENTUR, A., MINDESS, S., 2007, **Fibre reinforced cementitious composites**, 2nd Edition, Modern Concrete Technology Series.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Macrossetor da construção produz quase 20% do PIB (Release)**. São Paulo, 2002.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Vol. 2. São Paulo, SP, 3ª edição revista e ampliada, Editora LTC, 456 p.1977.

CARNEIRO, Roberto Carlos. **Análise das propriedades do concreto autoadensável no estado fresco e endurecido em matrizes com sílica ativa e filer calcário reforçada com fibras de aço**. 2018. 162 f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

CARRIJO, Priscila Meireles. **Análise da Influência da Massa Específica de Agregados Graúdos Provenientes de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto**. 2005. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CONCRETO & CONSTRUÇÕES: **Concreto: Material Construtivo mais consumido no mundo**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Concreto, v. 53, 15 mar. 2020. Mensal.

CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 58., 2016, Belo Horizonte. **Comparação do desempenho de concretos produzidos com o Cimento CP II-F-40, CP V-ARI e o Cimento Branco estrutural**. Belo Horizonte: Ibracon, 2016.

FIGUEIREDO, A. D.; CHAMA NETO, P. J.; FARIA, H. M. A nova normalização brasileira sobre fibras de aço. In: **Concreto & Construções**, 2008. IBRACON. Nº 50. ISSN 1809-7197.

FUGII, A. P.; RAMOS, M. F.; AKASAKI, J. L. **Avaliação de tubos de concreto reforçados com fibras curtas de aço**. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 50., 2008, Salvador.

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. JSCE-SF 4: **Method of testes for flexural strenght and fexural toughness of steel fiber reinforced concrete**. In: JSCE Part III-2: Method of test for steel fiber reinforced concrete. n. 3, jun. 1984.

KIRCHHEIM, Ana Paula *et al.* **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011.

LIMA JUNIOR, Humberto Correia. **Avaliação da ductibilidade de pilares de concreto armado, submetidos a flexo-compressão reta com e sem adição de fibras metálicas.** 2003. 324 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MAGALHÃES, Aldo Giuntini de. **Caracterização e análise macro e microestrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escórias de alto-forno.** 2017. 268 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

MAIA, Hiago. **Dosagem de concreto aplicando matérias primas de Boa vista/RR, seguindo o roteiro prático de Helene; Terzian (1992).** 2016. 58 f. TCC(Graduação) - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

MARTINS, Paulo Benjamim Morais. **Influência Da Granulometria Agregado Miúdo na Trabalhabilidade do Concreto.** 2002. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

MONTANHEIRO, Tarcísio José *et al.* **Terras diatomáceas: uma pozolana natural na Bacia do Paraná, estado de São Paulo.** Revista do Instituto Geológico, São Paulo, v. 2, n. 23, 2002.

NASCIMENTO, Luis Antonio do; SANTOS, Eduardo Toledo. **Indústria da construção civil na era da informação.** AC: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, mar. 2003.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: Editora Pini, 5ª Edição, 2016, 28p.

NUNES, N. L.; AGOPYAN, V.; **A influência do fator de forma da fibra na tenacidade à flexão do concreto reforçado com fibras de aço.** São Paulo: Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. Boletim Técnico PCC/225.

Pesquisa Inédita e Exclusiva Revela Cenário Do Mercado Brasileiro De Concreto. **Imprensa - Associação Brasileira De Cimento Portland**, São Paulo, ano 2013, 28 ago. 2013. IMPRENSA, p. 1. Disponível em: <https://abcp.org.br/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto/>. Acesso em: 15 mar. 2020.

PUGLIESI, Nataly. Cimento: diferentes tipos e aplicações. **Aecweb: Materiais e Soluções**, São Paulo, p. 1-1, out. 2020.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do concreto – ET-67.** 3ª edição. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1998.

ROSSI, Fabrício. **Slump Test do concreto**. Pedreira, Belo Horizonte, 2018.

SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO - SIEPE, 10. 2018, Santana do Livramento. **Estudo Experimental Da Influência Da Adição De Fibras Metálicas Na Resistência à Tração Do Concreto**. Santana do Livramento: 2018. 6 p.

SBRIGHI NETO, C. **Agregados para concreto**. Concreto: ensino, pesquisa e realização. São Paulo: IBRACON, 2005.

SOBRAL, Hernani Sávio. Associação Brasileira de Cimento Portland. **Propriedades Do Concreto Fresco**. 6. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 2000. 80 p.

SUPORTE. **Análise granulométrica do solo** – ensaio geotécnicos – o objetivo e as frações de solo. 2018.

VELASCO, Reila Vargas. **Concretos Auto-Adensáveis Reforçados Com Elevadas Frações Volumétricas De Fibras De Aço: Propriedades Reológicas, Físicas, Mecânicas e Térmicas**. 2008. 350 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

YAZICI, S.; GOZDE, I.; VOLKAN, T. Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC. In: **Construction and Building Materials**, 2007. v. 21, p. 1250-1253.