



**CENTRO UNIVERSITÁRIO CHRISTUS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

THIAGO GADELHA DA SILVA

**DOSAGEM E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS PARA PAVIMENTOS RIGIDOS NA CIDADE DE FORTALEZA-CE: UM
ESTUDO DE CASO**

FORTALEZA

2022

THIAGO GADELHA DA SILVA

DOSAGEM E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS PARA PAVIMENTOS RIGIDOS NA CIDADE DE FORTALEZA: UM ESTUDO
DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Ma. Marisa Teófilo Leitão

FORTALEZA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Centro Universitário Christus - Unichristus
Gerada automaticamente pelo Sistema de Elaboração de Ficha Catalográfica do
Centro Universitário Christus - Unichristus, com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586d Silva, Thiago Gadelha Da Silva.
Dosagem e controle tecnológico do concreto com adição de
Fibras para pavimentos rígidos na cidade de Fortaleza: um estudo de
caso / Thiago Gadelha Da Silva Silva. - 2022.
61 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro
Universitário Christus - Unichristus, Curso de Engenharia Civil,
Fortaleza, 2022.
Orientação: Profa. Ma. Marisa Teófilo Leitão.

1. Concreto. 2. Fibras. 3. Tecnologia. 4. Qualidade. 5.
Pavimentos. I. Título.

CDD 624

THIAGO GADELHA DA SILVA

DOSAGEM E CONTROLE TECNOLÓGICO DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE
FIBRAS PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS NA CIDADE DE FORTALEZA: UM ESTUDO
DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao curso de Engenharia Civil
do Centro Universitário Christus, como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Ma. Marisa Teófilo Leitão

Aprovada em: 15/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ma. Marisa Teófilo Leitão (Orientadora)
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Ma. Rafaela Fujita Lima
Centro Universitário Christus (UNICHRISTUS)

Prof. Dra. Heloína Nogueira, da Costa
Centro Universitário Christus (UFC)

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela perseverança diária para lutar pelas coisas que eu acredito, por fazer tudo acontecer na hora certa, com as pessoas certas a minha volta.

Aos meus pais, Josivânia Monteiro e Geracio Pereira, que independentemente da situação foram o suporte para que eu conseguisse passar por tantos momentos de cabeça erguida, pelas demonstrações de amor em forma de gestos, dia a dia, durante toda a minha vida, mostrando sempre o caminho correto e que era capaz de fazer coisas inimagináveis, que por vezes nem eu acreditava.

À minha irmã, Gabrielle Gadelha.

Aos meus avós, Maria de Jesus e José Gadelha. Em memória de Maria de Lourdes.

Aos meus tios, Josiane Monteiro e José Augusto, Angelina da Silva e Francisco José.

Aos meus amigos, Paulo Ricardo, Brendon Abreu, Nathalia Freitas, Mikaele Bezerra e Daniele Sousa, que foram a minha segunda família, por serem o local em que me sinto acolhido e por compartilharem tantos momentos de alegria comigo.

Aos amigos que a faculdade proporcionou, Sabrina Sena, Gabriela Maciel, Victor Pinheiro, Jeniffer Diniz e Túlio Bertoldo, que compartilharam comigo os inúmeros desafios, em especial a Emerson Juarez por toda a parceria e motivação, que sem dúvida foram cruciais para chegar até aqui.

À minha orientadora, Marisa Teófilo Leitão, por toda a paciência, dedicação, amizade e suporte durante todas as etapas deste trabalho.

Aos colegas da Cimento Apodi, na pessoa de Keller Willians, Dauana Pereira, Felipe Alves, pelas oportunidades, ensinamentos e, principalmente, amizade.

Aos colegas da Concre Fuji Tecnologia, na pessoa de Rafaela Fujita, que foram peças chave na realização deste trabalho, por toda a paciência e disponibilidade para ajudar.

A todos os professores da faculdade, em especial aqueles que de certa forma marcaram a minha trajetória e moldaram o meu profissional, em especial os professores Nelson Quesado, Mariana Leite, Virna Távora, Rafaela Fujita, Marisa Leitão, Paula Nobre.

A todos que contribuíram diretamente e indiretamente com a realização deste trabalho.

RESUMO

A utilização de concretos reforçados com fibras para a construção de pavimentos rígidos, entre outras aplicações, vem sendo difundida e cada vez mais se popularizando no país nos últimos anos. Os estudos realizados, assim como os bons resultados em diversas aplicações, proporcionam uma mudança de concepção para o seu uso quando comparado aos métodos convencionais de construção de pavimentos. Desse modo, sendo hoje uma opção viável e que traz diversos benefícios técnicos, como melhoria das patologias ocasionadas por retração plástica, logo nas idades iniciais do concreto. Nesse sentido, tratando-se de um concreto especial, o concreto reforçado com fibras necessita ser tratado com maiores cuidados quando comparado a concretos comuns, sem adições, realizando um rigoroso controle em todas as etapas que vão desde a escolha dos materiais componentes do traço, preparação do concreto, dosagem das fibras, transporte, execução e cura. O ano de 2021 foi de suma importância para a utilização de concretos reforçado com fibras, em virtude da publicação da NBR 16938/2021, que estabelece parâmetros para que a realização desses controles aconteça dentro das características técnicas adequadas e padronizadas. Diante do exposto, o presente trabalho buscou realizar o levantamento dos procedimentos de dosagem e controle de qualidade do concreto reforçado com fibras aplicado em pavimentos rígidos na cidade de Fortaleza. Esse levantamento ocorreu a partir do estabelecimento de uma metodologia de controle em todas as principais etapas envolvidas no processo. Concluiu-se, por meio entrevistas, análise documental e análise de ensaios realizados que a estruturação de uma metodologia controlada, assim como, a sinergia entre o controle tecnológico, projetista e central dosadora de concreto, são pontos imprescindíveis para a promoção da qualidade requerida pelo cliente.

Palavras-chave: concreto com fibras, pavimento rígido, controle tecnológico, qualidade.

ABSTRACT

The use of fiber-reinforced concrete for the construction of rigid pavements, among other applications, has been widespread and becoming increasingly popular in the country in recent years. The studies carried out, as well as the good results in several applications, provide a change in conception for its use when compared to conventional methods of pavement construction. Thus, it is now a viable option that brings several technical benefits, such as improvement of pathologies caused by plastic shrinkage, right at the early ages of concrete. In this sense, being a special concrete, fiber-reinforced concrete needs to be treated with greater care when compared to ordinary concrete, without additions, performing a rigorous control in all stages ranging from the choice of materials that compose the mix, concrete preparation, dosage of fibers, transport, execution and curing. The year 2021 was of utmost importance for the use of fiber-reinforced concrete, due to the publication of NBR 16938/2021, which establishes parameters for these controls to be performed within adequate and standardized technical characteristics. In view of the above, the present work sought to carry out a survey of the dosing procedures and quality control of fiber reinforced concrete applied to rigid pavements in the city of Fortaleza. This analysis occurred from the establishment of a control methodology in all the main stages involved in the process. It was concluded through interviews, document analysis and test analysis that the structuring of a controlled methodology, as well as the synergy between the technological control, the designer and the concrete batching plant, are essential points for the promotion of the quality required by the client.

Keywords: fiber concrete, rigid pavement, technological control, quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Agregados para composição do concreto	22
Figura 2 – Classificação das adições	25
Figura 3 – Tensões no CRF	31
Figura 4 – Microfibras de polipropileno	32
Figura 5 – Macrofibras de polipropileno	33
Figura 6 – Ensaio de abatimento do tronco de cone	37
Figura 7 – Ensaio de resistência a compressão axial	38
Figura 8 – Esquema de corpo de prova com rompimento fora do terço médio	39
Figura 9 – Ensaio de tração na flexão	40
Figura 10 – Flexão para diferentes dosagens de fibras	41
Figura 11 – Procedimento metodológico	44
Figura 12 – Placa teste	48
Figura 13 – Fase 1 do carregamento	51
Figura 14 – Fase 2 do carregamento	51
Figura 15 – Pavimento com acabamento vassourado	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland	18
Quadro 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)	19
Quadro 3 – Distribuição granulométrica dos agregados	20
Quadro 4 – Aditivos para concreto	23
Quadro 5 – Especificações CRF	45
Quadro 6 – Comparativo das especificações	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistência mecânica e modulo de elasticidade para fibras e matriz de cimento 30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa do trabalho	15
1.2	Objetivos	15
<i>1.2.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>15</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>15</i>
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Materiais constituintes do concreto	17
<i>2.1.1</i>	<i>Cimento Portland</i>	<i>17</i>
<i>2.1.2</i>	<i>Agregados</i>	<i>19</i>
<i>2.1.3</i>	<i>Aditivos</i>	<i>22</i>
<i>2.1.4</i>	<i>Adições</i>	<i>24</i>
2.2	Propriedades do concreto	26
<i>2.2.1</i>	<i>Consistência</i>	<i>26</i>
<i>2.2.2</i>	<i>Trabalhabilidade</i>	<i>26</i>
<i>2.2.3</i>	<i>Plasticidade</i>	<i>27</i>
<i>2.2.4</i>	<i>Resistência</i>	<i>27</i>
<i>2.2.5</i>	<i>Durabilidade</i>	<i>28</i>
<i>2.2.6</i>	<i>Permeabilidade</i>	<i>28</i>
2.3	Concreto reforçado com fibras	29
<i>2.3.1</i>	<i>Aplicações do CRF</i>	<i>33</i>
2.4	Ensaio em CRF	35
<i>2.4.1</i>	<i>Dosagem do CRF</i>	<i>35</i>
<i>2.4.2</i>	<i>Ensaio de abatimento do tronco de cone (Slump Test)</i>	<i>36</i>
<i>2.4.3</i>	<i>Ensaio de resistência a compressão axial</i>	<i>37</i>
<i>2.4.4</i>	<i>Ensaio de resistência a Tração na flexão</i>	<i>39</i>
3	MÉTODO DE PESQUISA	42
3.1	Delineamento	da
pesquisa		40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Durante toda a história da humanidade, o homem sempre sentiu a necessidade de morar bem, buscando de forma contínua desenvolvimento de técnicas e materiais que proporcionassem uma melhoria nas suas obras e conseqüentemente na qualidade de vida. Para Helene (2010), o concreto de cimento Portland foi uma das maiores descobertas de todos os tempos, e sua crescente utilização proporcionou uma revolução nos projetos e na maneira de construir, desde a idade antiga, quando os egípcios já utilizavam para a construção de templos e pirâmides, passando pela idade média com igrejas e edificações cada vez mais robustas e chegando a atualidade, nas quais o concreto ocupa posição de destaque como o material de construção mais utilizado.

A Norma Brasileira Regulamentadora, ABNT NBR 12665 (2015), Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimento, define como concreto de cimento Portland a mistura homogênea de cimento com agregados miúdos e graúdos, podendo ou não ser dotado de adições químicas, minerais, em menores quantidades, onde, a partir de seu enrijecimento pela reação do cimento com a água desenvolverá suas propriedades.

A fabricação de concreto muito se alterou desde suas primeiras utilizações. Com o passar do tempo e modificação das necessidades humanas, suas características foram sendo melhoradas. A demanda por concretos que atendam a diversas especificações de qualidade tornou-se possível graças a utilização de concretos reforçados, seja com adição de fibras, fios de aço, ou outros materiais que conferiram características nunca antes vistas.

Para Figueiredo (2017), o concreto simples é considerado um material frágil e que possui pouca capacidade de deformação antes de seu rompimento. Por este motivo, a união do concreto com o aço (concreto armado) permitiu a resolução desse problema, sendo a sua utilização considerada histórica, uma vez que na antiguidade já se utilizavam materiais, como por exemplo, crinas de cavalo, palhas e fibras para obter reforços nas construções. Neste sentido, a inserção de fibras, teria a mesma finalidade dos vergalhões no concreto armado: reforçar áreas frágeis e deficientes de resistência a tração.

Ainda que para Figueiredo (2017), o princípio entre o concreto armado e o concreto reforçado com fibras seja o mesmo, resistir aos esforços de tração, a utilização de fibras no concreto necessita de maior controle tecnológico, pois deve-se considerar as interações existentes entre o concreto e o reforço. No concreto armado comum, as dosagens são realizadas visando prioritariamente atingir a resistência característica de projeto (f_{ck}), enquanto que no concreto reforçado com fibras, há a necessidade de atenção em outros pontos

importantes, por exemplo, pelo tipo de esforço ao qual esse tipo de peça está submetido. Assim, emerge para o concreto com fibras a necessidade da realização de ensaios mais complexos que possam representar de forma mais fiel possível o seu comportamento em todas as etapas.

A formação de um compósito, a partir de um material de base cimentícia e fibras poliméricas, permite ao concreto o desenvolvimento de suas propriedades. Antes, isoladamente, os materiais tinham suas características intrínsecas, posteriormente, unidos, a interação entre os mesmos se traduz na maior qualidade do compósito final. Carnio (2017) também exemplifica que antes tinha-se uma ideia que o concreto com fibras teria como características principais o aumento da resistência aos esforços de tração e compressão (mesmo que seja usado para este fim em alguns casos). No entanto, percebeu-se ganhos na melhoria de outras propriedades como o aumento da capacidade de absorção dos esforços. A inserção de fibra variando entre 0,5% e 1% do volume já apresenta boa resistência aos impactos.

Hoje, no mercado brasileiro, há grande variedades de fibras que podem ser incorporadas ao concreto, cada uma possuindo especificações que devem ser avaliadas a depender do tipo de utilização. A fibra sintética de micropropileno é um exemplo disso, sendo divididas em microfibras e macrofibras. Carnio (2017) afirma ainda que as microfibras são aquelas incorporadas com a finalidade de controlar a retração do concreto ainda no seu estado fresco. Enquanto que, as macrofibras tem como objetivo principal fornecer tenacidade ao concreto em seu estado endurecido, controlando o surgimento das fissuras e a sua disseminação pela estrutura.

A utilização de fibra de polipropileno também se faz vantajosa, segundo Carnio (2017), uma vez que é mais durável em meios alcalinos do que materiais metálicos, já que não oxida, promovendo um aumento na durabilidade das estruturas quando exposta a esses meios.

O concreto reforçado com fibras avançou de forma significativa como solução estrutural em pisos industriais, pelo fato de se ter reforço estrutural em toda seção transversal do piso. Há também uma forte atuação das fibras nos concretos projetados em túneis e proteção de encostas, como uma alternativa às soluções em concreto armado (CARNIO, 2017). Rodrigues e Montardo (2002) atentam para a importância de se considerar o concreto reforçado com fibras como sendo diferente dos concretos usuais, sua aplicação e utilização. Destaca ainda a elevada relação existente entre sua área e volume (que acarreta maiores perdas de água e em maior velocidade pela maior exposição com o ar) faz o material necessite de maiores cuidados.

Para que o concreto atinja os seus objetivos, seja ele utilizado em pisos ou outras partes da estrutura, é necessário que todo o seu processo, desde a escolha dos materiais constituintes à fabricação seja controlado. Assim, o concreto deve satisfazer aos requisitos de qualidade tanto em seu estado fresco, quanto em seu estado endurecido. Para Neville (2013), o concreto no estado fresco deverá permitir o seu adensamento sem que sejam necessários grandes esforços, sendo coeso e permitindo que em seu transporte e lançamento não ocorra a segregação dos materiais constituintes do concreto. Esse fator seria prejudicial à obtenção de um material final de qualidade. Assim como, no estado endurecido, deverá apresentar características satisfatórias no que concerne a resistência e durabilidade requerida.

1.1 Justificativa do trabalho

A durabilidade do concreto e conseqüentemente das estruturas é um requisito primordial e de extrema importância para a construção civil. Nesse sentido, é imprescindível um controle tecnológico adequado, o qual envolve todas as fases de preparação e utilização do concreto, escolha dos materiais, transporte, lançamento e cura, como forma de garantir sua qualidade em todas as etapas.

Assim, o concreto reforçado com fibras, por se tratar de um tipo específico de concreto, também necessita de um criterioso controle de qualidade dos materiais assim como do processo de produção e lançamento. A partir dessa necessidade, a pesquisa tem o intuito de responder o seguinte questionamento: Como atender os requisitos de qualidade do concreto com a adição de fibras para pavimentos rígidos na cidade de Fortaleza – ce ?

1.2 Objetivos

De modo a mitigar a problemática apresentada para esta pesquisa, foram traçados os seguintes objetivos:

1.2.1 Objetivo geral

Definiu-se como objetivo geral para esta pesquisa a realização do levantamento dos procedimentos de dosagem e controle de qualidade do concreto reforçado com fibras aplicado em pavimentos rígidos na cidade de Fortaleza.

1.2.2 *Objetivos específicos*

- a) Identificar os requisitos de seleção e de proporcionamento dos materiais para o CRF;
- b) Analisar os procedimentos de controle tecnológico necessários para atestar a qualidade do CRF.
- c) Identificar as modificações necessárias no processo produtivo do concreto para a produção do CRF.
- d)

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Na presente seção foram abordados os principais assuntos relacionados ao tema da pesquisa com o intuito de revisar os conceitos básicos envolvidos. A revisão, então, permite obter um melhor embasamento para a etapa de análise de dados. A divisão das subseções foi feita partindo dos materiais constituintes do concreto, passando pela propriedade desse material e, por fim, realizando um enfoque na utilização de fibras para reforço do concreto.

2.1 Materiais constituintes do concreto

O desenvolvimento da tecnologia e a intensificação nos estudos referentes à ciência dos materiais de construção possibilitaram a criação e o uso, cada vez mais expressivo, de novos componentes que vêm sendo testados na produção do concreto. A inserção destes, permite ao concreto um aumento no seu desempenho, seja nos seus aspectos físicos, químicos ou mecânicos.

Bastos (2006) destaca que se pode considerar o concreto como um material obtido pela mistura entre o cimento, água, agregados miúdos e grãos (areias, britas ou pedras), podendo também serem incorporadas adições químicas, naturais ou artificiais que visam a melhoria pela alteração de suas propriedades básicas. Singularmente, cada material desempenha um importante papel na composição final do concreto. Por este motivo, entende-se que a qualidade final não estará diretamente ligada apenas ao processo produção, transporte, lançamento e cura, mas também, em grande parcela, a escolha correta de materiais de qualidade. Levando em consideração a importância de cada um desses componentes, as subseções a seguir apresentam uma breve explanação sobre cada um deles.

2.1.1 *Cimento Portland*

A NBR 11172 – Aglomerantes de origem natural (ABNT, 1990) define o cimento Portland como sendo um material obtido através da moagem do clínquer Portland e adicionado de sulfatos de cálcio durante o seu processo de fabricação. Na operação de moagem, a qual o clínquer é submetido, pode-se haver adição de alguns componentes que fornecerão ao cimento, certa classificação. As adições podem ser de materiais pozolânicos, escórias granulares de alto-forno provenientes da indústria metalúrgica ou materiais

carbonáticos (fíler calcário). Atualmente, há uma gama de opções de cimentos Portland disponíveis no mercado da construção, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2016), explicita que o CP I é a referência para os demais tipos de cimento que diferenciam entre si em decorrência das suas adições durante a moagem, como citado anteriormente. Além disso, podem se diferenciar em virtude das suas características intrínsecas como cor, resistência inicial, etc.

A NBR 16697 – Cimento Portland – requisitos (ABNT, 2018) classifica os tipos de cimento a partir da sua composição e classe de resistência. Além disso, estabelece limites mínimos e máximos de massa na composição de cada tipo de cimento. O Quadro 1 apresenta a designação do cimento Portland:

Quadro 1 – Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland

TIPO DE CIMENTO	SUBTIPO	SIGLA	CLASSE DE RESISTÊNCIA	SUFIXO
Cimento Portland comum	Sem adição	CPI	25, 32 ou 40	RS (resistente a sulfato) BC (baixo calor de hidratação)
	Com adição	CPI - S		
Cimento Portland composto	Com escoria granulada de alto forno	CPII - E		
	Com material carbonático	CPII - F		
	Com material pozolânico	CPII - Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CPV	ARI	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40	-
	Não estrutural	CPB		

Fonte: Adaptado da NBR 16697 (ABNT, 2018)

Ainda neste sentido, as adições no cimento Portland, além de melhorar as suas características, podem trazer benefícios ambientais pela utilização de resíduos provenientes de outras indústrias que agora podem ser incorporados no seu processo produtivo. Um exemplo disso é a utilização de escoria de alto-forno advinda da fabricação do ferro gusa, utilizado atualmente como substituta de parte do *clinker* e proporcionando uma redução nas emissões de CO₂, grande vilão neste processo produtivo. O Quadro 2, também extraído da NBR 16697

(ABNT, 2018), elucida os limites em porcentagem de massa para cada tipo de adição utilizada na composição do cimento Portland.

Quadro 2 – Limites de composição do cimento Portland (porcentagem de massa)

DESIGNAÇÃO NORMATIZADA		SIGLA	CLASSE DE RESISTÊNCIA	SUFIXO	CLINQUER + SULFATOS DE CÁLCIO	ESCORIA GRANULADA DE ALTO FORNO	MATERIAL POZOLÂNICO	MATERIAL CARBONÁTICO
Cimento Portland comum		CPI	25, 32 ou 40	RS ou BC	95 - 100	0 - 5		
		CPI - S			90 - 94	0	0	6 - 10
Cimento Portland composto com escoria 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			ARI	90 - 100	0	0
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40		75 - 100	-	-	0 - 25
	Não estrutural		-		50 - 74	-	-	26 - 50

Fonte: Adaptado da NBR 16697 (ABNT, 2018)

O cimento Portland é um dos materiais mais utilizados para a construção civil em todo o mundo e seus diferentes tipos permitem usos cada vez mais específicos que são requeridos pelo mercado da construção civil atualmente.

2.1.2 Agregados

Outra importante classe de materiais que merecem notoriedade na composição do concreto são os agregados. Tratando-se de massa, estes materiais representam maior parte da sua composição. A NBR 7211 – Agregados para concreto – especificação, define os requisitos gerais dos agregados como sendo materiais que devem ser compostos por grãos de materiais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, de modo que não contenham substâncias que em certo grau afetem a hidratação/endurecimento do cimento, proteção das armaduras contra corrosão e durabilidade (ABNT, 2009). O Quadro 3 traz a classificação dos agregados quanto

a sua granulometria. Ainda neste sentido, elenca a diferença entre agregados graúdos ou miúdos da seguinte forma:

- a) agregados miúdos: materiais que passam na peneira com abertura de malha de 4,75mm – (ressalvados limites estabelecidos em norma);
- b) agregados graúdos: material cujos grãos passam na peneira de malha 75mm e ficam retidos na peneira com abertura da malha de 4,75mm (ressalvados alguns limites estabelecidos em norma);

Quadro 3 – Distribuição granulométrica dos agregados

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA– ABNT 7211:2009	
Material	Faixa granulométrica
Agregado miúdo	
Pó de pedra ou areia artificial	150µm a 4,75 (ótimo)
	150 µm a 6,3 (utilizável)
Agregado graúdo	
Pedrisco limpo (pedra 0)	4,75 a 12,5
Pedrisco misto	150 µm a 12,5
Pedra 1	9,5 a 25
Pedra 2	19 a 31,5
Brita graduada	150 µm a 25
Brita corrida	150 µm a 45
Pedra 3	25 a 50
Pedra 4	37,5 a 75
Rachãozinho	50 a 75
Rochão gabião	75 a 125
Rachão	125 a 450

Fonte: Adaptado de Pinheiro (2016).

Tratando-se de agregado miúdo, para Almeida e Silva (2005), cerca de 90% de toda a areia natural produzida no Brasil é extraída de leitos de rios. Quanto ao restante, 10% desse material é obtido através de outras fontes como mantos de decomposição de rochas, várzeas, lacustres, entre outros. Além disso, é importante considerar que por mais que a areia seja um material considerado abundante na natureza, cada vez mais, torna-se um material oneroso. Por exemplo, devido às restrições, cada vez mais severas, que são impostas pelos órgãos ambientais, são um fator crucial para que tais extrações ocorram em locais cada vez

mais distantes dos centros urbanos. Isso gera a necessidade de maiores planejamentos logísticos com deslocamentos que acarretam grandes custos, valores esses que refletem no preço com o qual o material chega ao produtor final do concreto. Para a mitigação dos custos e utilização da areia, outro importante agregado que pode ser utilizado na composição do concreto é o pó de pedra ou areia artificial.

Menossi *et al.* (2010) define a areia artificial como um rejeito da produção de britas que ainda não possui destinação definida. Por este motivo, ela pode causar problemas como alterações das paisagens, geração de poeira, além de ser carregado pela chuva causando entupimento de redes de drenagem e assoreamento rios, sendo a construção um excelente destino para esse material.

Como um dos principais agregados graúdos tem-se a brita, ou, pedra britada, obtida através da fragmentação de diversos tipos de rochas disponíveis na natureza. O termo brita é utilizado para designar rochas que passam por processos de britagem e peneiramento de blocos maiores retirados das jazidas com o auxílio de explosivos. Por passar pelo processo de britagem, as britas possuem ângulos que permitem o seu travamento, tendo menor fluidez na formação da pasta, diferentemente dos agregados do tipo seixo rolado, geralmente retirados de rios e possuindo forma arredondada, o que gera menor atrito entre as partículas permitindo a maior fluidez da pasta (PINHEIRO, 2016).

Ainda, para Pinheiro (2016), alguns outros materiais podem ser utilizados como agregados, valendo citar a escória de alto forno, proveniente da fabricação do ferro gusa, que poderá ser utilizada na sua forma bruta britada (agregado graúdo) ou na forma granular (agregado miúdo) para a substituição do cimento.

A observância das características dos agregados, bem como a realização de ensaios com estes materiais, se faz necessária para a observância de algumas condições que impactarão diretamente na qualidade do concreto. As principais características analisadas a partir da realização de ensaios de laboratório nos agregados (miúdos e graúdos), pautando-se na NBR 7211:2019, são a sua distribuição granulométrica, a durabilidade que está diretamente ligada ao local de extração do agregado (presença de cloretos), formato dos grãos, presença de substâncias nocivas como materiais pulverulentos, carbonoso, entre outros.

Para Valverde (2001), uma estimativa global seria de que na composição do concreto têm-se cerca de 42% de toda a massa referente a agregados graúdo (britas), 40% de agregados miúdos (areias), 10% de aglomerantes (cimento), 7% de água e 1% de aditivos, pontuando que a escolha dos agregados tem grande impacto na qualidade e durabilidade das

estruturas. Além da escolha, se faz necessário o controle de todas etapas, desde sua extração, transporte, armazenamento até a fase posterior, já na composição do concreto.

Todo o cuidado destinado ao controle dos agregados tem o intuito de garantir a sua qualidade, reduzindo a possibilidade do surgimento de patologias que estarão relacionadas a má qualidade dos materiais de construção. Para Valverde (2001), não é incomum encontrar estruturas que foram à ruína e que após uma investigação verificou-se problemas pela utilização de agregados de má qualidade. Neste sentido, entende-se sua grande importância para que as estruturas atinjam os seus objetivos funcionais e a durabilidade requerida nos projetos de engenharia. A Figura 1 mostra exemplos de diferentes agregados comumente utilizados para a produção de concreto na cidade de Fortaleza-CE.

Figura 1 – Agregados para composição do concreto



Fonte: Autor (2021)

2.1.3 Aditivos

A tecnologia dos materiais permitiu a criação de novas substâncias, que das mais variadas formas, auxiliam o concreto a atingir o desempenho requerido para as construções encontradas hoje. Neste sentido, ao longo do tempo, a estrutura do concreto, como material de construção, muito se alterou. Com ela, a incessante busca por materiais que pudessem potencializar suas características se tornou rotineira na área da tecnologia. Atualmente, os

aditivos são um dos principais componentes que auxiliam o concreto na melhoria de suas características, além de potencializar o seu uso nas construções cada vez mais complexas.

A NBR 11768 – Aditivos químicos para concreto de cimento Portland, define os aditivos como substâncias químicas incorporadas durante o processo de fabricação do concreto em quantidades não superiores a 5% da massa do material cimentício, contido no concreto com o objetivo de modificar características em seu estado fresco ou endurecido (ABNT, 2011). Um exemplo disso são aditivos que melhoram a trabalhabilidade do concreto sem a necessidade da adição de água suplementar ao traço. Sabe-se que a relação entre a água e o cimento (a/c) tem relação direta com a resistência do concreto, ou seja, quanto maior a quantidade de água adicionada, há uma perda de resistência do material.

Nardy Neto (2018), afirma que os aditivos são adicionados no processo produtivo do concreto, pois são capazes de alterar suas características físicas, além das reações de hidratação do cimento, permitindo maior trabalhabilidade, fluidez, resistência ou a neutralização de fenômenos indesejados como a retração e permeabilidade. Quando necessário, também poderá reduzir ou acelerar o seu tempo de enrijecimento (pega).

Bauer (1998 *apud* Benetti, 2007) destaca que a caracterização dos aditivos pode ser feita levando-se em consideração suas causas e efeitos. Neste sentido, elenca alguns tipos dos aditivos que podem ser encontrados no mercado atualmente, sendo exemplos de plastificantes, superplastificantes, aceleradores de pega/ retardadores, entre outros.

As características intrínsecas a cada aditivo permitiram atingir as características desejadas para o concreto. Considerando a sua correta utilização e dosagem, Moraes (2012) enumera quais características principais podem ser alcançadas pela correta dosagem do concreto e utilização dos aditivos. O Quadro 4, explicita alguns dos tipos de aditivos disponíveis no mercado e suas principais características:

Quadro 4 – Aditivos para concreto

ADITIVO	CARACTERISTICAS
Plastificantes, Superplastificantes e redutores de água	Fluidez, plasticidade trabalhabilidade, redução na retração, quantidades de água, agregados, melhoria na compactação e adensamento do concreto.
Incorporadores de ar	Melhoria na plasticidade do concreto, transporte, prevenção contra exsudação e segregação, proteção contra líquidos agressivos e a variações de temperatura.

Quadro 4 – Aditivos para concreto (conclusão)

ADITIVO	CARACTERISTICAS
Aceleradores e retardadores de pega	Os aceleradores aumentam a velocidade com que o concreto inicia sua pega e atinge a sua resistência. Os retardadores reduzem essa velocidade tornando o concreto plástico por mais tempo.
Impermeabilizantes	Impedem a entrada de água de forma repulsiva ou por obstrução nos poros de concreto, auxiliando também na proteção contra infiltração de agentes agressivos no concreto.
Fungicidas, germicidas e inseticidas	Controlam o aparecimento de algas e outros seres correlatos durante um certo período, geralmente utilizados em áreas ribeirinhas etc.
Inibidores de corrosão	Dificultam o ataque das armaduras por cloretos, utilizados geralmente em regiões expostas a cloretos e de classe de agressividade muito elevada.

Fonte: Adaptado de Moraes (2012).

Nardy Neto (2018) diz que a qualidade final do concreto com a utilização de aditivos deve ser analisada de diferentes parâmetros, avaliando questões de qualidade final e custo do produto. Ele destaca a importância da realização de ensaios que ajudem a verificar se os parâmetros almejados com a utilização do aditivo foram alcançados. Outro ponto necessário é a garantia de que o aditivo provenha de fornecedor de qualidade, além do acompanhamento de sua utilização pela mão de obra, seja em uma central de concreto usinado ou em um canteiro de obras comum.

2.1.4 Adições

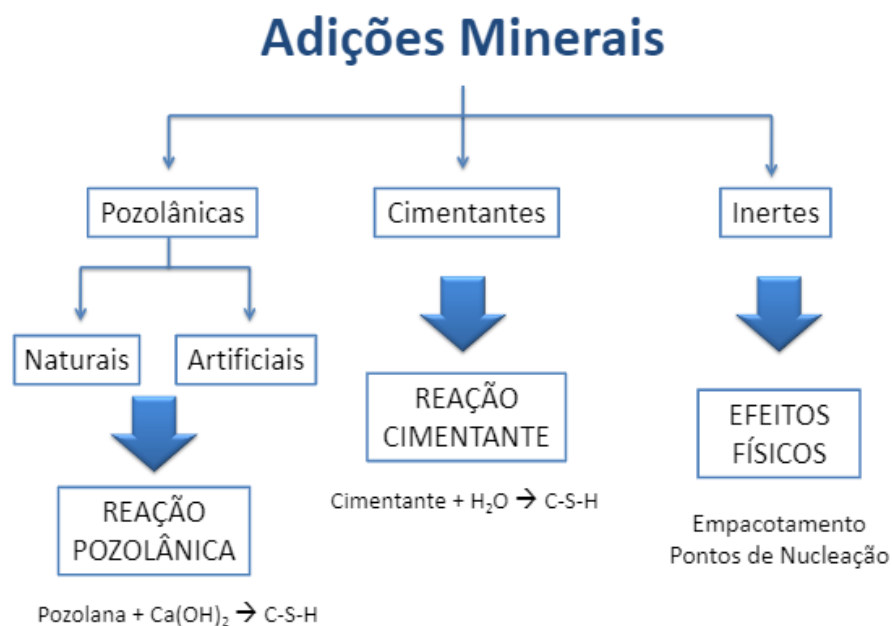
Muitos são os estudos realizados para a obtenção de novas adições que possam potencializar as características dos concretos produzidos. Atualmente, o uso de adições tem se popularizado, podendo mencionar como os mais utilizados: cinzas volantes, sílica ativa, escória de alto forno, metacaulim e filer calcário.

Malhotra e Metha (1996 *apud* Fonseca, 2010), define que, de maneira abrangente, as adições são qualquer material além de cimento, água, agregados adicionados a massa do concreto antes ou depois da mistura. Diferente dos aditivos que são utilizados para alterar as características do concreto sem a alteração da sua proporção na composição, as adições podem adicionar ou substituir em partes a quantidade de cimento da mistura, fator que só é possível pelas semelhanças entre as suas características e propriedades.

Isaia e Gastaldini (2004) afirmam que as adições minerais constituídas de materiais sílico-cálcico-aluminosos podem substituir parte do cimento, apresentando-se preferencialmente em estruturas vítreas. As mais utilizadas são as pozolanas por sua reação com a cal, proveniente das reações de hidratação ou a escória de alto forno que é dotada de propriedades cimentícias, devido a sua alta concentração de cálcio.

Ainda para Isaia e Gastaldini (2004), algumas das adições mais utilizadas são a cinza volante e a escória de alto forno provenientes da atividade siderúrgica, apresentando tais adições vantagens técnicas, econômicas e ambientais, respectivamente pela redução no preço de produção do concreto, aumento da durabilidade das estruturas, e benefícios ambientais com o reaproveitamento de rejeitos que antes eram descartados, além da redução na emissão de gases para a atmosfera. A Figura 2 explicita a classificação das adições para concreto:

Figura 2 – Classificação das adições



Fonte: Moraes (2012).

Moraes (2012), destaca que as adições melhoram as características do concreto, mas não compensam a baixa qualidade de outros constituintes ou de um traço mal elaborado. As adições, quando utilizadas de forma correta, atingem os benefícios anteriormente citados por Isaia e Gastaldini (2004). Em relação aos benefícios econômicos, Moraes (2012) cita a substituição parcial do cimento, ecologicamente falando, e explicita-se a utilização de subprodutos de indústrias siderúrgicas, além da redução nas emissões de CO₂, e benefícios técnicos, como por exemplo, o aumento da coesão e plasticidade que auxiliam na sua

fabricação e bombeamento, durabilidade, pela redução da porosidade e permeabilidade no concreto, resistência mecânica e resistência a sulfatos.

Além dos componentes do concreto comentados nas subseções apresentadas até aqui, têm-se também a possibilidade de se adicionar fibras ao concreto com intuito de modificar algumas de suas propriedades. Para esse componente específico, há uma seção na qual foram apresentadas mais informações sobre seus tipos, características e possibilidades.

2.2 Propriedades do concreto

O concreto pode ser encontrado estando no seu estado fresco, quando ainda fluido, e endurecido a partir do seu processo de pega (endurecimento e consolidação da resistência). Nesse sentido, em cada forma na qual o concreto se apresenta, existem propriedades que definirão a sua qualidade, facilidade de transporte e adensamento, entre outras características que deverão ser observadas e controladas para que o concreto atinja os requisitos de projeto. São inúmeras as propriedades do concreto que devem ser avaliadas, podendo citar como principais a consistência, trabalhabilidade e plasticidade no estado fresco e resistência, durabilidade e permeabilidade para o estado endurecido.

2.2.1 Consistência

Carvalho e Filho (2016 *apud* Paiva Filho, 2017) definem que a consistência do concreto é uma característica que diz respeito a capacidade de deformação, estando relacionada ao seu processo de transporte, lançamento e adensamento, facilmente alterado pelo aumento da umidade que proporciona uma variação da sua plasticidade e deformação quando submetido a esforços.

Pode-se associar também a consistência com a facilidade com a qual o concreto flui entre as armaduras e é comumente medido em campo pelo ensaio do abatimento do tronco de cone, conhecido como *slump test*.

2.2.2 Trabalhabilidade

Neville (2013) diz que um concreto que tem fácil adensamento é um concreto trabalhável, sendo este, resistente a segregação e de fácil lançamento. Contudo, considerar essa propriedade apenas como o que já foi citado, é simplório. Para o autor, deve-se

considerar a trabalhabilidade como uma característica intrínseca da mistura em seu estado fresco, bem como, entender os métodos de adensamento, ou seja, a maneira com a qual o ar é eliminado do concreto buscando a forma mais densa da mistura. Essa energia empregada por meio da vibração, por exemplo, no adensamento, supera os atritos existentes entre as partículas do próprio concreto e do concreto com as formas e armaduras (atrito interno e superficial respectivamente). Parte dessa energia é considerada desperdiçada em regiões de formas e ferragens ou regiões em que o concreto já esteja totalmente adensado, e útil, para vencer tais atritos. Neste sentido, pode-se definir a trabalhabilidade como a energia necessária para produzir o adensamento completo da estrutura de concreto.

Carvalho e Filho (2016 *apud* Paiva Filho, 2017), também relaciona a trabalhabilidade ao valor do *slump-test*, em que um concreto com alto *slump*, será facilmente lançado e adensado, considerado assim de trabalhabilidade adequada para o lançamento estrutural, estando basicamente ligado a maneira com a qual será adensado. Tal propriedade está diretamente ligada à granulometria dos materiais, à utilização dos aditivos e principalmente à relação água-cimento.

2.2.3 Plasticidade

A plasticidade do concreto pode ser entendida como a capacidade do concreto de ser moldado, além de formar lâmina sem que ocorra o rompimento das suas partículas. O material poderá sofrer mudanças na sua forma quando submetido a forças e carregamentos externos, conservando-a mesmo após o cessar os carregamentos sem romper e apresentar fissuras (FALCÃO, 2019).

A quantidade de agregado miúdo deve ser observada, pois em quantidades exageradas pode dificultar o lançamento e adensamento do concreto, além do aumento do consumo de cimento e conseqüentemente do custo final do produto (RODRIGUES, 2017).

2.2.4 Resistência

A resistência mecânica do concreto pode ser definida como a capacidade do material de suportar as diversas solicitações a que é submetido, sendo considerada uma das mais importantes propriedades do concreto (FALCÃO, 2019). Para Neville (2013), a resistência do concreto é considerada uma das suas características mais importantes, pelo fato de que através dela é possível se ter uma ideia geral da sua qualidade. Embora por vezes

características como a durabilidade, permeabilidade, estabilidade possa ser mais requeridas, ao falar em concreto, vêm à tona sua resistência à compressão pelo fato de estar diretamente associada a estrutura da sua pasta.

Ainda para Neville (2013), a resistência e durabilidade do concreto, aparentemente, não estão muito associadas à sua estrutura química, mas, a sua estrutura física, pela presença de poros, falhas e descontinuidades dos materiais constituintes, como por exemplo, os agregados. Tal porosidade é considerada um fator de grande relevância. Tratando-se de resistência, esses vazios são prejudiciais ao concreto, porém são de difícil quantificação e são estudados de forma empírica. Outro ponto destacado de grande importância e que usualmente é controlado tratando-se de resistência é a relação existente entre água e cimento (a/c), em que se sabe que quanto maior esse fator, menor é a resistência da mistura.

2.2.5 Durabilidade

A durabilidade do concreto refere-se principalmente a capacidade do concreto de se manter inalterado e resistir ao longo do tempo às condições adversas do ambiente no qual está inserido, mantendo as suas propriedades (FALCÃO, 2019).

A NBR 15575 – Edificações habitacionais – desempenho (ABNT, 2013) estabelece vida útil para estruturas de concreto, que deverá ser no mínimo de 50 anos. Atualmente, as tecnologias empregadas na produção de concreto, bem como o seu controle, possibilitam a disponibilidade de materiais cada vez mais resistentes que auxiliam no aumento da vida útil do concreto.

2.2.6 Permeabilidade

Outro fator de grande impacto na qualidade do concreto é a sua permeabilidade. Para Neville (2013), a permeabilidade do concreto pode ser definida como a facilidade com a qual fluidos (líquidos ou gases) penetram e se movimentam no interior do concreto através de seus poros. Um concreto com alta taxa de permeabilidade, por exemplo, permitirá de forma mais simplificada a entrada de agentes agressivos capazes de promover a deterioração do concreto de forma mais acelerada.

Quanto menor a permeabilidade e porosidade do concreto, menor a possibilidade de sua rápida deterioração. Seu grau de permeabilidade poderá ser determinado pela

realização de ensaios de laboratório como o de determinação do coeficiente de permeabilidade à água, citado na NBR 10786 – Determinação do coeficiente de permeabilidade à água (ABNT, 2013).

2.3 Concreto reforçado com fibras

A produção de concreto muito se alterou com o passar dos anos. Cada vez mais são requeridas características ao concreto que possam suprir as atuais necessidades do mercado de arquitetura e de engenharia como um todo. Para tanto, muitos são os materiais utilizados de forma a potencializar e melhorar as características do concreto; é o caso do concreto reforçado com fibras (CRF).

A utilização de compósitos reforçados com fibras na construção civil não é algo tão atual quanto se imagina. Góis (2010) traz que durante a civilização egípcia já era possível identificar a utilização desses materiais. Os egípcios costumavam utilizar palha e raízes para a fabricação de tijolos e adobes. Nessa utilização, o objetivo de se criar materiais que atingissem um melhor desempenho, destacando ainda as telhas de amianto como sendo um dos primeiros materiais reforçados fabricados em larga industrial.

Para Figueiredo (2011), o concreto comum apresenta uma série de limitações, podendo citar a sua fragilidade e baixa capacidade de deformação antes da ruptura, quando submetido a esforços de tração. Além disso, apresenta-se como um material bastante suscetível a fissuração, explicando assim a utilização do concreto armado reforçado com fibras como solução viável para a resolução de algumas destas deficiências.

Tomando como características principais do concreto reforçado com fibras, o seu módulo de elasticidade e sua resistência mecânica, a Tabela 1 apresenta dados quantitativos para as características das fibras e matriz de cimento, a partir de uma variedade de materiais que podem ser encontrados para utilização no mercado da construção civil. Outro fator a se considerar é que o material constituinte da fibra é que definirá seu módulo de elasticidade e capacidade de reforço, características consideradas as mais importantes para o reforço que as fibras poderão possibilitar ao concreto (FIGUEIREDO, 2011).

Góis (2010) diz que o módulo de elasticidade do concreto avalia a sua resistência a deformação elástica, sendo uma medida para a sua rigidez. A maioria das aplicações para o concreto requer estruturas com alto módulo de elasticidade para que não permitam a estrutura sofrer altas taxas de deflexão. É necessária a avaliação desta rigidez do objeto para que haja um controle da estabilidade da peça, sendo, portanto, no caso do concreto o seu módulo de

elasticidade variável, a depender dos materiais utilizados em sua composição. A Tabela 1 traz algumas características fundamentais para conhecimento nas fibras e matriz de cimento.

Tabela 1 – Resistência mecânica e modulo de elasticidade para fibras e matriz de cimento

FIBRA	MASSA ESPECIFICA (g/cm ³)	DIAMETRO (µm)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (Mpa)	MODULO DE ELASTICIDADE (Mpa)	DEFORMAÇÃO ESPECIFICA NA RUPTURA
AÇO	7,8	100-1000	500 – 2600	210000	0,5 – 3,5
VIDRO	2,54	8 – 15	2000 – 4000	72000	3 – 4,8
E	2,7	12 – 20	1500 – 3700	80000	2,5 – 3,6
AR					
SINTETICAS					
Acrílico	1,18	5 – 17	200 – 1000	17000 – 19000	28 – 50
Aramida	1,44	10 – 12	2000 – 3100	62000 – 120000	– 3,5
Carbono	1,9	8 – 10	1800 – 2600	230000 – 380000	0,5 – 1,5
Nylon	1,14	23	1000	5200	20
Poliéster	1,38	10 – 80	280 – 12000	10000 – 18000	10 – 50
Polietileno	0,96	25 – 1000	80 – 600	5000	12 – 100
Polipropileno	0,9	20 – 200	450 - 700	3500 – 5200	6 – 15
NATURAIS					
Celulose	1,5	25 – 125	350 – 2000	10000- 40000	3,5
Sisal	-	-	280 – 600	13000 – 25000	3,0
Coco	1,12 – 1,15	100 – 400	120 – 200	19000 – 25000	-
Bambu	1,5	50 – 400	350 – 500	33000 – 40000	-
Juta	1,02 – 1,04	100 – 200	250 – 350	25000 – 32000	1,5 – 1,9
Capim Elefante	-	425	180	49000	3,6
MATRIZ DE CIMENTO (Para comparação)	2,5	-	3,7	10000 - 45000	0,02

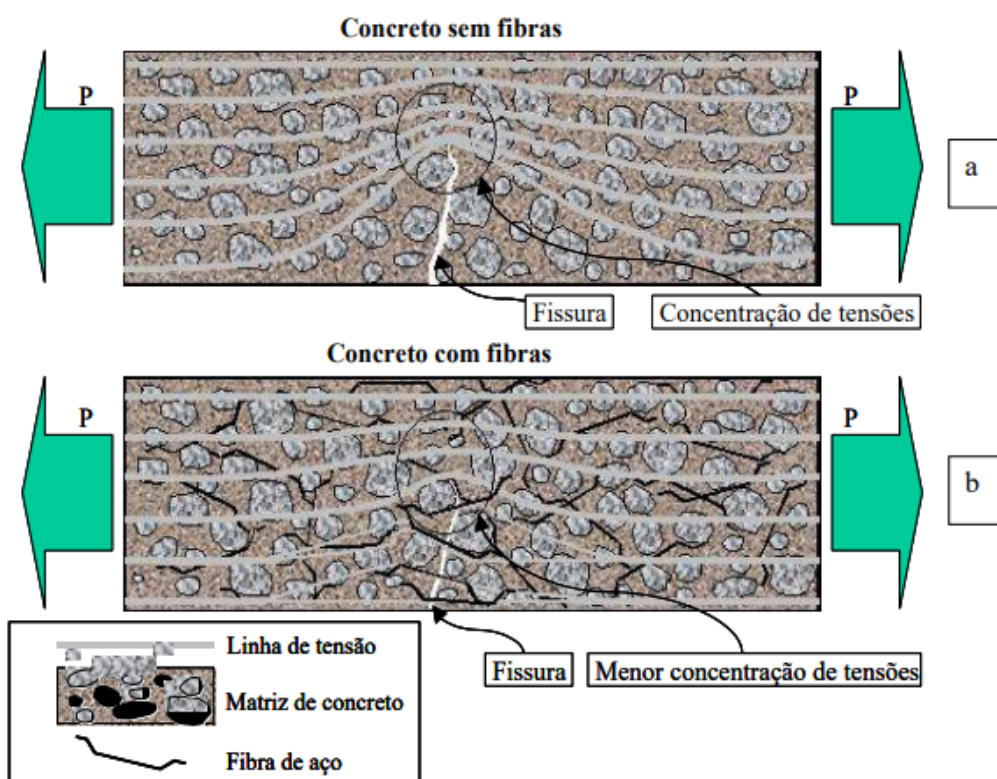
Fonte: Góis (2010)

Para Mehta e Monteiro (2008), a ruptura por tração no concreto não acontece pela grande quantidade de fissuras presentes, mas sim, pela propagação de fissuras que se unem. Neste sentido, o concreto apresenta baixa capacidade de resistir a esforços de tração por não conseguir interromper a propagação de tais fissuras. Elas ocorrem quando a propagação das fissuras é transversal a direção principal que está sendo tensionada, diminuindo a área disponível para suportar as cargas e elevando o aumento da carga nas extremidades das fissuras.

Quando ocorre o surgimento de uma fissura no concreto, esta, comporta-se como uma barreira e impede a propagação e distribuição de tensões na peça, concentrando tais esforços nas bordas das fissuras. Caso essa tensão não supere a tensão da matriz de concreto, a peça sofrerá uma ruptura frágil, diferentemente de quando se utilizam fibras com módulo de elasticidade, resistência em quantidades adequadas, onde, as fibras servirão como uma ponte

de transferência de tensões pelas fissuras, reduzido a sua concentração nas bordas das mesmas. Neste sentido, a velocidade de propagação dessas fissuras é reduzida, passando o concreto a ser um material pseudo-ductil e não puramente frágil, controlando e proporcionando uma menor fissuração do concreto (FIGUIREDO,2011). A Figura 3, traz um esquema de concentração de trações para um concreto simples (a) e um concreto com a utilização de fibras (b) para reforço.

Figura 3 – Tensões no CRF



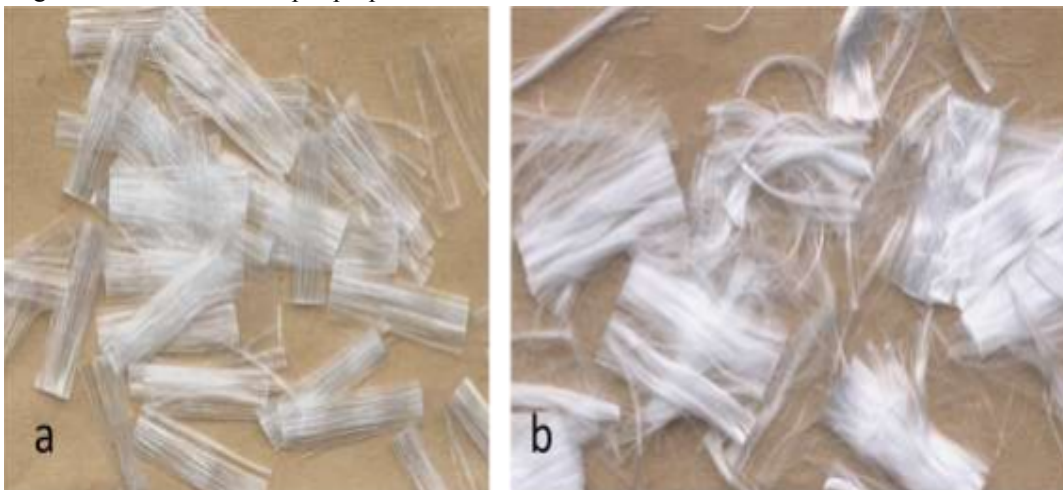
Fonte: Figueiredo (2011).

Para Figueiredo (2011), uma das vantagens das fibras no concreto é que elas se distribuem de forma aleatória no concreto, proporcionando um reforço por toda a peça e não apenas em uma posição, citando por exemplo, as armaduras comumente utilizadas. Por outro lado, existem casos em que armaduras são indispensáveis pela alta concentração de tensões em regiões em que a utilização de fibras não seria viável e capaz de conter essas solicitações. O CRF no Brasil, atualmente, é empregado para a fabricação de pavimentos industriais, revestimentos de túneis, galerias de esgoto, pisos de pátio para aeronaves, entre outros.

Atualmente existe uma série de fibras que podem ser incorporadas ao concreto, podendo-se citar as fibras de aço e poliméricas, como é o caso das fibras de *náilon* e polipropileno. Essa última pode ainda ser classificada como microfibras e macrofibras. As

microfibras, podem ser divididas em microfibras de monofilamentos, que consistem em pequenos fios cortados no mesmo comprimento, ou microfibras fibriladas, formadas por malhas retangulares de pequenos filamentos, responsáveis por promover um intertravamento entre a própria fibra e a matriz (FIGUEIREDO, 2011). A Figura 4 (a e b), traz exemplos das microfibras de polipropileno disponíveis no mercado brasileiro para uso no concreto.

Figura 4 – Microfibras de polipropileno



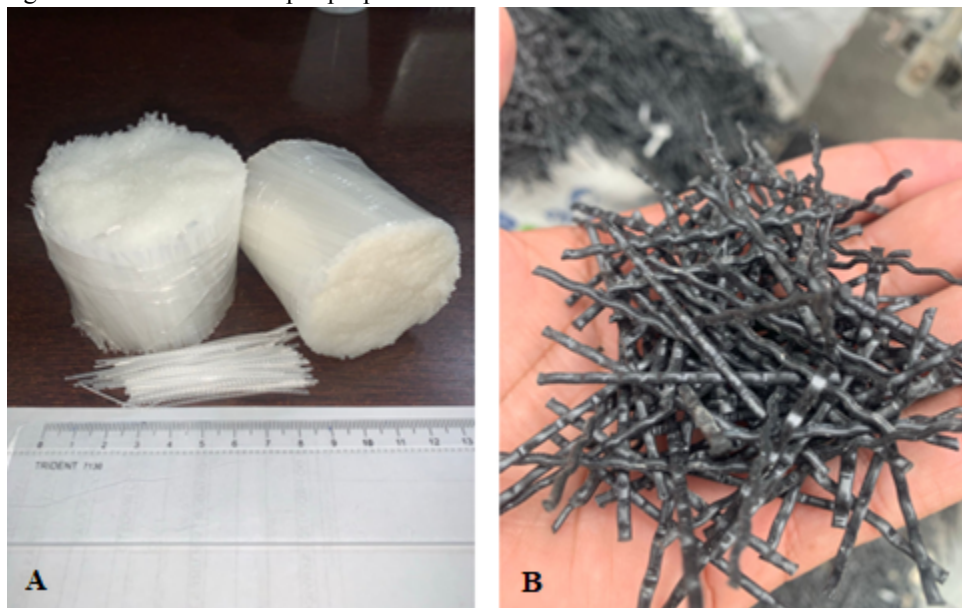
Fonte: Figueiredo (2011).

As fibras de polietileno e polipropileno são consideradas capazes de absorver grandes energias e possuem alta tenacidade e resistência aos impactos uma vez que possuem baixo módulo de elasticidade e alongamento maior que as matrizes cimentícias. Por outro lado, não aumentam consideravelmente a resistência do compósito. Já as fibras de aço, vidro e carbono, com seu alto módulo de elasticidade, produzem compósitos com elevada resistência a tração, rigidez e capacidade de resistência a cargas dinâmicas (GÓIS, 2010).

Alguns tipos de concreto podem ser fabricados utilizando uma espécie de mesclagem entre os dois tipos de fibras de polipropileno, microfibras e macrofibras. Essa mistura tem como principal objetivo controlar a fissuração ainda quando o concreto se encontra em seu estado fresco, e, posteriormente, auxiliar no que diz respeito ao seu reforço quando em seu estado endurecido (FIGUEIREDO, 2011).

As macrofibras podem ser encontradas de diferentes formatos no mercado, a figura 5 traz exemplos desse tipo de material, enquanto que em 5A temos as macrofibras que são comercializadas em feixes, envoltos por uma espécie de fita, em 5B temos as fibras comercializadas de forma que em que as fibras não estejam agrupadas em feixes, mas, de forma individual.

Figura 5 – Macrofibras de polipropileno



Fonte: Próprio autor (2021).

Uma das dificuldades de se utilizar o CRF era sua utilização no formato empírico, devido a deficiência de normatizações disponíveis no Brasil. Com o avanço dos estudos e disseminação da sua utilização, foram criadas normas que norteiam o seu uso, podendo-se citar a NBR 16935:2021 – projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – procedimento, além de normas que tratem especificamente de cada tipo de fibra (ABNT, 2021a). Por exemplo, as NBR's 15530:2007, 16941:2021 e 16942:2021 tratam respectivamente dos requisitos para utilização de fibras de aço, vidros álcali resistentes e poliméricas para concreto (ABNT, 2007, 2021b, 2021c).

2.3.1 Aplicações do CRF

Uma das principais aplicações do concreto é a sua utilização para a construção de pisos e pavimentos. Rodrigues e Montardo (2002) exemplificam que se deve entender o concreto para piso como sendo diferente do tipo de material utilizado para estruturas, primeiramente pela alta relação entre sua área e volume, que por sofrer maior contato com o ar promoverá perdas de água cada vez mais severas. Além disso, o CRF obedecerá a parâmetros mínimos de dosagem como abatimento (mínimo entre 80mm e 100mm), teores de

argamassa (nas faixas entre 49% e 52%), além da incorporação de ar em níveis inferiores a 3% e principalmente um consumo de cimento de cerca de 360 kg/m³.

A quantidade de cimento fixada poderá proporcionar a formação de uma suficiente quantidade de pasta que promoverá o fechamento e alisamento da superfície de concreto, implicando na qualidade e resistência superficial do piso. Os benefícios do CRF utilizado para pisos podem ser notados ainda quando, em seu estado fresco, a união entre os dois materiais proporciona a criação de um compósito mais completo e que apresenta grande coesão, minimizando a fissuração que ocorre no estado plástico do concreto (RODRIGUES; MONTARDO, 2002).

Para Carnio (2009), uma das principais aplicações do CRF é para a construção de pavimentos de concreto, constituído por estruturas que são formadas por meio de placas que se apoiam no solo sofrendo carregamentos cíclicos. Esses carregamentos solicitam os materiais por meio de tensões repetidas que provocam a fadiga das estruturas. As fissuras internas evoluem fazendo com que o material se deteriore e frature, a depender do nível de repetições de carregamento, poderá ocorrer em níveis de tesões menores do que a resistência mecânica dos materiais. São importantes as observações e estudos da flexão no CRF, uma vez que para este tipo de aplicação, a repetição das cargas solicitará as placas desta forma.

Rodrigues e Montardo (2002), explanaram em seu trabalho acerca da construção de uma via expressa na cidade de Porto Alegre –RS, onde, durante a construção do primeiro trecho da via, utilizou-se o concreto comumente utilizado para pavimentos, seguindo-se todos os parâmetros de dosagem e qualidade considerados adequados para obras desse porte. Contudo, foi observado a presença de fissuras ao longo de toda a extensão do trecho após a construção, necessitando da injeção de resinas como medida para a remediação dessas patologias, gerando transtornos e prejuízos financeiros. Para o segundo trecho, apesar de não especificado no projeto inicial, optou-se pela utilização de fibras na ordem de 600g/m³, utilizando-se os mesmos parâmetros de controle do trecho da etapa 1. Como resultado, observou-se que a utilização foi satisfatória visto que os problemas ocorridos na etapa anterior, não se fizeram presentes após a utilização do CRF, que foi assim, aplicado nos trechos posteriores da obra.

Outra aplicação do CRF é para o revestimento de túneis em geral. Este poderá ser utilizado de forma pré-moldada ou projetada. O primeiro é geralmente para a fabricação de galerias de esgoto e de tubos para o transporte águas pluviais, o segundo, utilizado principalmente para a construção de túneis para obras de infraestrutura de transportes. Este último tem sido amplamente utilizado por proporcionar uma maior velocidade de execução. A

utilização das fibras no concreto dos túneis dispensa a necessidade da tela metálica que é instalada entre as camadas do concreto projetado comum. Além disso, pode-se citar a possibilidade de aplicação logo após a sua escavação, economia de mão de obra, melhoria na durabilidade da estrutura pela redução da fissuração, maior homogeneidade das camadas e menor permeabilidade, entre outros benefícios (FIGUEIREDO; HELENE, 1995).

Para Carvalho e Cabral (2018), a utilização do CRF para obras deste porte, deverá ser analisado de forma mais cuidadosa, uma vez que se faz necessário ponderar os benefícios com o aumento considerável do custo unitário do material, redução da fluidez que dificultará a sua utilização. Além disso, deve-se levar em consideração que a utilização de fibras ainda é feita de maneira empírica pela falta de normatizações mais específicas, não sendo fixado valores exatos para sua utilização, incorrendo por vezes em um uso não otimizado dos recursos.

Um estudo realizado por Carvalho e Cabral (2018) buscou verificar as propriedades mecânicas do concreto com fibras para anéis de túneis de um metrô, na primeira parte do experimento. Realizados os testes, verificou-se que a incorporação de fibras de aço para o concreto do revestimento dos túneis proporcionou um aumento da resistência a compressão do concreto na ordem de 12%. Além disso, a tenacidade das peças apresentou ganhos de mais de 100% quando comparados ao concreto convencional, estimando-se o teor ótimo de fibras de aço em 23kg/m³ para atendimento do projeto retratado na pesquisa.

2.4 Ensaios em CRF

Para garantir a qualidade dos concretos em geral, é necessário um rigoroso controle que vai desde a elaboração do traço até os ensaios realizados no estado fresco e estado endurecido para atestar o desempenho do concreto em análise. Para o CRF não é diferente, sendo importante um acompanhamento principalmente por se tratar de um concreto especial e com características diferentes. Nos itens a seguir foram apresentados os principais ensaios realizados para o CRF.

2.4.1 Dosagem do CRF

Tutikian e Helene (2011) destacam que a dosagem do concreto pode ser definida como o conjunto dos procedimentos necessários para a obtenção da melhor proporção entre os materiais, podendo ser expressa em massa ou volume. Essa proporção, atualmente, não possui

um padrão a ser seguido pela falta de normatização específica ou consenso para determinação dos procedimentos de dosagem, levando os profissionais a seguirem recomendações das instituições onde trabalham ou a qual foram publicados. Um exemplo disso é a dosagem recomendada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) que foi proposto inicialmente por Ary Torres e Carlos Rosman em 1956.

Apesar de certas variações, alguns parâmetros são comuns aos diversos métodos de dosagem. Um exemplo disso é a correlação existente entre a relação água cimento e a resistência à compressão do concreto para determinada classe e tipo de cimento. Esse estudo é importante para se obter uma mistura econômica, utilizando-se os materiais disponíveis e que atinja às especificações necessárias. Pode-se considerar os requisitos básicos a serem observados durante a dosagem do concreto, a sua resistência mecânica, trabalhabilidade, durabilidade, trabalhabilidade, entre outras (TUTIKIAN; HELENE, 2011).

O alcance de bons resultados na fabricação do concreto além de depender dos materiais utilizados e suas proporções, será influenciado pela tecnologia e recursos humanos utilizados para o seu preparo e controle. Essa evolução do concreto poderá ser alcançada também pela incorporação de materiais que melhorem suas características (BOGGIO, 2000).

Oliveira (2014), destaca que assim como para o concreto comum, a dosagem do CRF requer atenção para o atingimento de sua resistência e durabilidade, sendo a dosagem das fibras, também, de extrema relevância. Deverá ser observado o tipo de fibra e a finalidade a qual se pretende alcançar. Para tanto, a dosagem das fibras poderá ser feita utilizando dosadores de médio porte, que utilizam sistemas de ar pressurizados onde são abastecidas as fibras e levadas ao caminhão betoneira, dosadores de grande porte, fixados na própria usina e com maior capacidade de alimentação das esteiras que levam ao caminhão. Vale ressaltar que a dosagem também poderá ser realizada de forma manual, por profissional treinado para tanto, quando não há a possibilidade de instalação de sistemas específicos para a dosagem fibras.

A matriz dos compósitos poderá ser formada utilizando concretos comuns ou de altas resistências, onde, na dosagem de um concreto fibroso deverá atentar-se para a fluidez da mistura, uma vez que essa adição promoverá uma perda considerável desta. Isso ocorre pelo fato de que as fibras possuem grande área superficial, tendo grande contato entre si e com os outros materiais, aumentando o atrito entre os componentes e reduzindo a fluidez da mistura. Assim, as misturas com maior porcentagem de fibras que tenham a perda da sua fluidez observada, devem ser melhoradas utilizando misturas com maiores porcentagens de argamassa e aditivos superplastificantes (CARNIO, 2009).

2.4.2 Ensaio de abatimento do tronco de cone (*Slump Test*)

O *slump test* é baseado nas recomendações *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e utilizado como referência para avaliar a trabalhabilidade do concreto. A partir de um tronco de cone que serve de molde para o concreto, posicionado sobre uma superfície plana, são preenchidas 3 camadas de concreto, aplicando-se 25 golpes a cada uma com o auxílio de uma haste metálica para promover o seu adensamento. A camada final é rasada pela ação de movimentos de rolagem da haste. Estando firmemente fixado na base, o cone é lentamente erguido com o auxílio das alças. O concreto liberado sofrerá um abatimento (com a diminuição do centro), que deverá ser medido com aproximação de 5mm (NEVILLE, 2013). A Figura 6 ilustra como é realizado o ensaio do abatimento do tronco de cone – *slump test*, para a verificação da consistência do concreto em seu estado fresco.

Figura 6 – Ensaio de abatimento do tronco de cone



Fonte: Autor (2021).

O uso de fibras no concreto poderá vir a diminuir a trabalhabilidade do concreto, importante característica do concreto em seu estado fresco. Figueiredo (2011) destaca que para melhorar as características desse compósito, deve-se utilizar o fator água cimento não

superior a 0,55, estimando-se seu abatimento na faixa de 10 +/- 2. Caso não seja atingido, recomenda-se a utilização de aditivos superplastificantes.

2.4.3 Ensaio de resistência a compressão axial

A NBR 5739 – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos, descreve as especificações para determinação da resistência a compressão de corpos de prova moldados conforme a NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, especificando a aparelhagem necessária e as orientações para preparação dos testemunhos (ABNT, 1994, 2015b). O ensaio consiste, após a preparação das superfícies dos testemunhos, e posicionamento nos pratos do equipamento, no acionamento da força da prensa que romperá o material. A força de rompimento, geralmente, será dada em tonelada-força, devendo ser dividida pela área da seção transversal do corpo de prova para se obter o valor da resistência a compressão axial em MPa. A Figura 7 nos mostra o conjunto constituído pela prensa e corpo de prova para o ensaio de resistência a compressão axial do concreto.

Figura 7 – Ensaio de resistência a compressão axial



Fonte: Autor (2021).

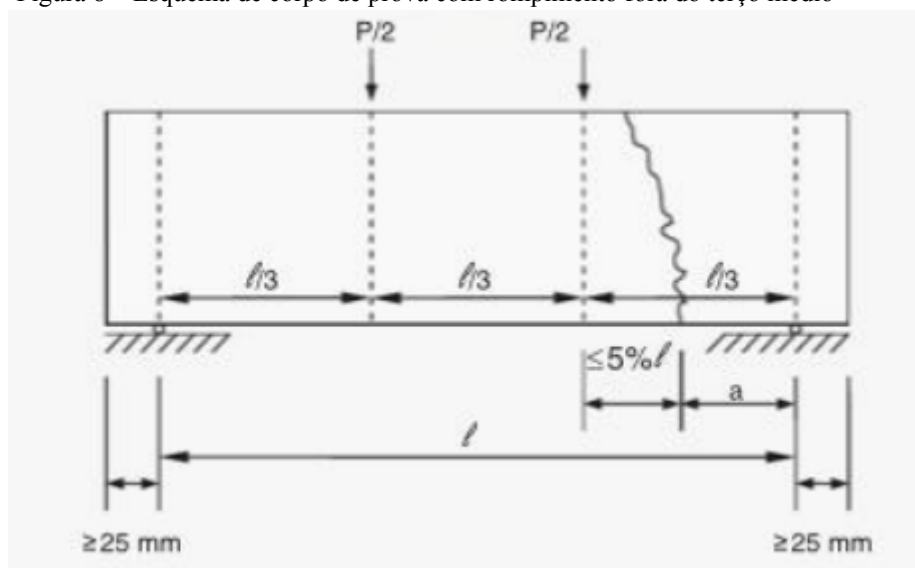
Rodrigues (2017) ao realizar um ensaio comparativo entre concretos reforçados com (1) e sem fibras (2), observou que o material 1 apresentou resultados de resistência à compressão um pouco superiores ao material 2. Além disso, o comportamento durante seu rompimento se deu de tal forma: houve o desprendimento de partículas do comum, em contrapartida, após o seu rompimento, o concreto reforçado com fibras não se desmembrou.

2.4.4 Ensaio de resistência a Tração na flexão

A NBR 12142 – Determinação da resistência à flexão de corpos de provas prismáticos, rege o ensaio de determinação desta para concretos comuns, e não diferente, para concretos considerados especiais como é o caso do concreto reforçado com fibras. Utilizando o princípio de vigas simplesmente apoiadas, duas cargas são concentradas nos terços do vão após sua marcação de forma que ocorra o rompimento do corpo de prova ensaiado (ABNT, 2010).

São utilizados corpos de prova de geometria prismática, traçando-se linhas de referência para auxílio do posicionamento correto da máquina nos locais específicos de recebimento das cargas da prensa. A sua resistência será calculada por diferentes equações a depender do local de rompimento do prisma. A Figura 8 esquematiza o modelo de corpo de prova utilizado para a determinação da resistência a flexão do concreto.

Figura 8 – Esquema de corpo de prova com rompimento fora do terço médio



Fonte: ABNT (2010).

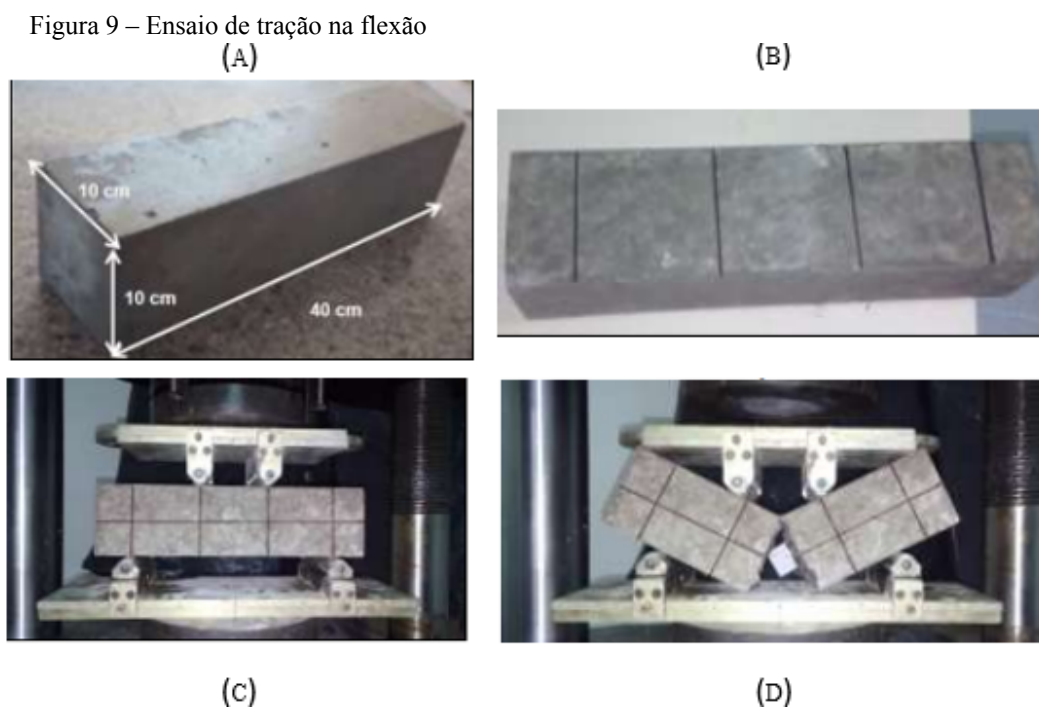
Quando o rompimento ocorrer dentro do terço médio, a resistência será determinada utilizando-se a Equação 1. Caso ocorra fora deste e não ultrapassando o limite de 5% da distância do terço médio, será utiliza-se a Equação 2 (ABNT, 2010).

$$f_{ctf} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (1)$$

$$f_{ctf} = 3 \frac{F \cdot a}{b \cdot d^2} \quad (2)$$

em que, f_{ctf} = é a resistência a tração na flexão; F = Força máxima registrada na máquina do ensaio (N); l = é a distância do vão entre apoios (mm); b = é a largura média do corpo de prova (mm); d = altura média do corpo de prova (mm); a = distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo (mm).

A Figura 9 traz de forma realística as etapas para a realização do ensaio descrito, em (A) e (B) tem-se respectivamente um modelo de corpo de prova com geometria prismática e sua marcação de acordo com a ABNT (2010). Em (C) e (D) tem-se o corpo de prova já posicionado na prensa e após seu rompimento no terço médio, respectivamente.



Fonte: Fernandes (2017)

Para Garcez (2005), os corpos de prova de concreto com fibra usados em ensaios de flexão, apresentam valores consideravelmente superiores a ensaios de tração e compressão obtido em ensaios de concreto convencional. Pode-se, então, obter resultados entre 50 e 70%

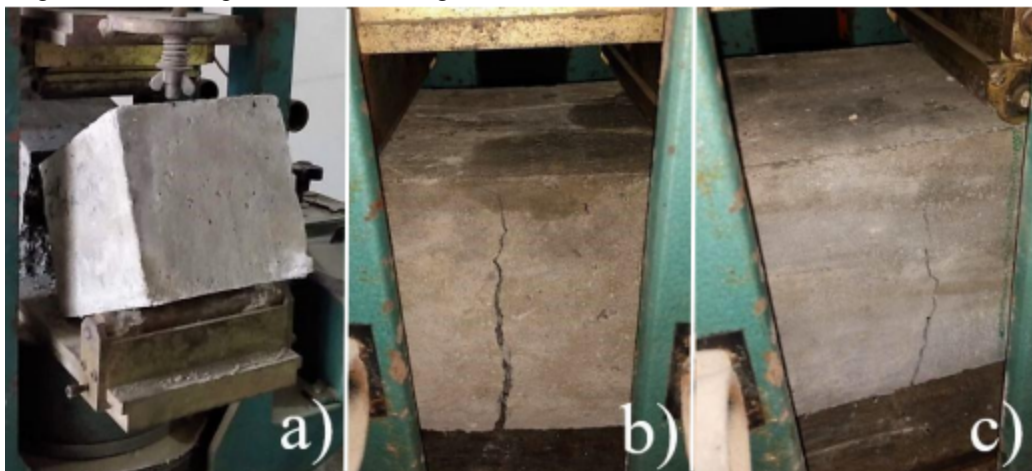
maiores, sendo o ensaio bastante utilizado por retratar condições a que o material será submetido na sua vida útil.

No ensaio de determinação da resistência a flexão, há uma ruptura repentina do concreto convencional quando a flexão atinge o nível máximo ao qual o material suporta. Além de suportar maiores níveis de flexão do que o concreto comum, o concreto reforçado com fibras sofrerá rupturas repentinas após o início da sua primeira fissuração (LUCENA, 2017).

Rosa (2019) também constatou o comportamento frágil do concreto comum quando comparado ao concreto com adição de fibras. Ao ensaiar três corpos de prova a flexão, a autora verificou que houve um rompimento repentino e frágil do primeiro CP de concreto convencional, contudo, os dois corpos de prova com teores de fibras de respectivamente 0,25% e 0,50% apresentaram um comportamento diferente. Ao atingirem a sua capacidade máxima de suporte, os corpos de prova não permitiram grandes propagações das fissuras, permanecendo mais íntegros ou com fissuras menos aparentes.

A Figura 10 traz os resultados obtidos por Rosa (2019) acerca do comportamento dos corpos de prova submetidos ao ensaio, para corpo de prova sem adição de fibras (a), com adição de 0,25% (b) e 0,5% (c).

Figura 10 – Flexão para diferentes dosagens de fibras



Fonte: Rosa (2019).

3 MÉTODOLÓGIA

Nesta seção foram apresentados os procedimentos metodológicos para coleta e análise dos dados necessários para responder a problemática da presente pesquisa: como atender aos requisitos de qualidade do concreto com adição de fibras para pavimentos rígidos na cidade de Fortaleza?

3.1 Delineamento da pesquisa

A partir do objetivo geral desta pesquisa, definiu-se como ambiente da pesquisa o estudo sobre o concreto reforçado com fibras que foi aprofundado na seção do referencial teórico. A fim de compreender mais sobre esse tipo de concreto, entende-se que uma pesquisa tendo o CRF como universo é de extrema relevância.

Quanto à natureza, diante do contexto, a mesma se caracteriza por uma pesquisa qualitativa. Para Proetti (2018), a pesquisa qualitativa é aquela que não buscará a quantificação dos estudos, mas sim, seu direcionamento como forma de obter informações que permitam a investigação, descoberta e qualificação de forma precisa e verificada para compreender os fenômenos e mensurá-los. Além disso, a pesquisa qualitativa seguirá rigorosamente um plano de estudo pré-estabelecido com hipóteses e variáveis bem definidas pelo pesquisador.

Godoy (1995), elucida que a pesquisa qualitativa poderá ser utilizada para estudar os mais diversos fatos e fenômenos. Independentemente do local da sua ocorrência, a coleta de dados é feita a partir da observação do sujeito, que poderá ir do estudo de um objeto a observações das interações sociais. Esse modelo de pesquisa ajuda a compreender sob diversas perspectivas o objeto de estudo.

Sendo assim, baseado nos tipos de dados e na análise que se pretende fazer dos mesmos, e levando em consideração as definições supracitadas, a presente pesquisa é definida como qualitativa por se tratar de um estudo de caso que, a partir da observação e análise de fenômenos, ensaios e resultados, pretendeu descrever e apresentar procedimentos relativos à utilização do concreto reforçado com fibras e os requisitos para o atendimento da qualidade requerida em toda a sua cadeia de produção.

Em se tratando da tipologia, a presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso uma vez que teve como ponto de estudo a dosagem e controle tecnológico do CRF utilizado na construção piso na cidade de Fortaleza. Tal análise serviu de vertente para a

obtenção dos resultados referentes a sua qualidade e os requisitos para se atender a suas especificações durante todo o seu processo, da fabricação a sua cura.

De acordo com Yin (2005), o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método de bastante abrangência utilizando-se a lógica do planejamento, coleta de dados e análise dos seus resultados, podendo incluir

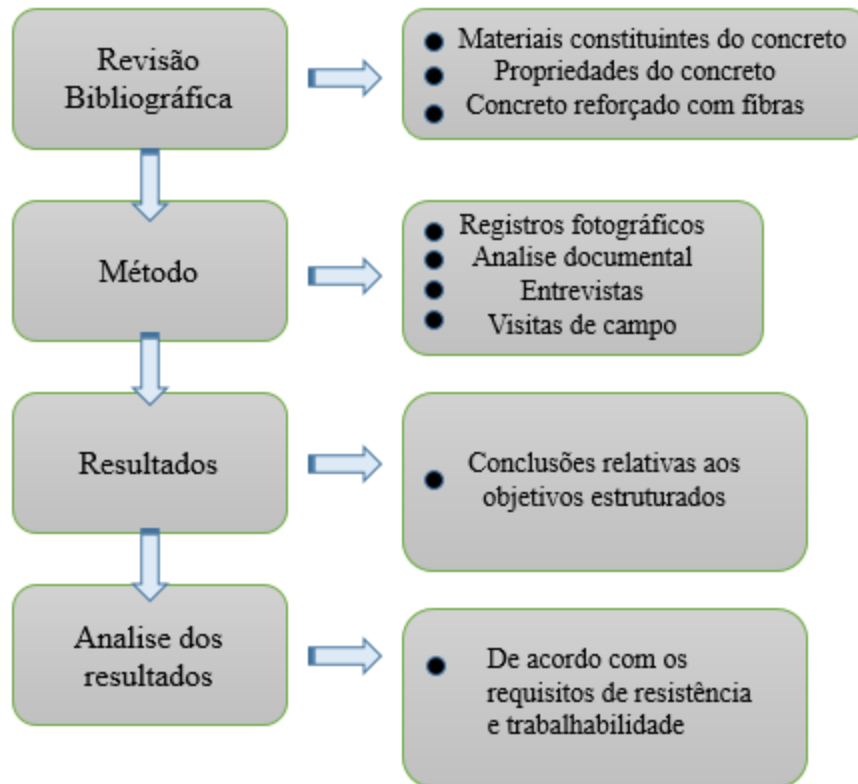
Para cada objetivo descrito na pesquisa, foi definido inicialmente uma estratégia referente a obtenção dos dados, por exemplo, para analisar a seleção e dosagem dos materiais disponíveis para o traço exigido pela obra foram realizadas entrevistas estruturadas com os engenheiros responsáveis pela seleção dos materiais, fabricação e controle tecnológico, além da análise de documentos que permitirão conhecer os processos e materiais.

Desta forma, para os demais objetivos, foi seguido a mesma estratégia.

- a)** estudar o processo de fabricação do concreto com adição de fibra;
- b)** Visitas em campo à usina fabricante do concreto para acompanhamento do processo de produção do concreto utilizado por meio de uma observação não participante;
- c)** realizar o acompanhamento dos ensaios para controle da qualidade no estado fresco e endurecido do concreto;
- d)** visitas em campo a obra para acompanhamento da execução de alguns ensaios realizados no estado fresco;
- e)** verificar o atendimento dos requisitos por meio dos resultados dos ensaios realizados durante a obra;
- f)** análise de documentos referentes a tecnologia do concreto fornecidos pela empresa contratada para o serviço de controle tecnológico da obra, assim como análise de documentos da usina fabricante do concreto.

A estruturação da metodologia utilizada neste trabalho, foi planejada estrategicamente conforme a Figura 11.

Figura 11 – Procedimento metodológico



Fonte: Autor (2021)

4 RESULTADOS

4.1 Dosagem

Para a execução do CRF, o processo iniciou com a elaboração do traço, que se baseou em uma série de parâmetros técnicos estabelecidos por uma consultoria técnica contratada pelo cliente. Segundo a usina entrevistada, houve a necessidade da elaboração de um traço completamente novo, visto que, até o momento, não existiam traços com especificações semelhantes à deste caso para utilização ou ajustes.

O traço foi desenvolvido a partir da parceria entre o projetista, a empresa de controle tecnológico e a equipe de assessoria técnica da fabricante do concreto, composta por uma engenheira, coordenadora de produtos e assessoria técnica da usina. Ainda, outros dois engenheiros da equipe, o primeiro responsável pelo auxílio na elaboração do traço, e a segunda engenheira da equipe, responsável pelo controle e manutenção das exigências do traço já durante a sua produção, na central dosadora de concreto e no local de construção do pavimento rígido.

A sinergia entre os envolvidos foi de fundamental importância, não só para o desenvolvimento do traço, mas para a garantia da qualidade do produto final a ser entregue ao cliente, uma vez que, também durante o processo, havia a necessidade dessa cooperação para tomadas de decisões assertivas no que diz respeito aos ajustes necessários do traço e operação no decorrer do projeto.

O Quadro 5 apresenta um resumo das principais características do traço a serem obedecidos para o projeto.

Quadro 5 – Especificações CRF

ESPECIFICAÇÕES DO TRAÇO	
Consumo de cimento	320 a 380 kg/m ³
Consumo de água	≤ 180 litros/m ³
Relação A/C	≤ 0,50
Teor de argamassa	49% ≤ a ≤ 52%
Material pulverulento	Max. 3%
Teor de ar incorporado	≤ 3%
Resistência a compressão	≥ 30 MPa
Resistência a tração na flexão (7 dias)	≥ 4,5

Fonte: Autor (2022)

O material base para elaboração do traço (agregados e aglomerantes), que foram utilizados nesta composição, eram utilizados na usina de concreto para a composição de outros traços de concreto, por sua disponibilidade na região, o que não atrapalharia o fornecimento contínuo requisitado para a obra. Contudo, foi necessário a realização de testes para garantir a qualidade dos materiais, sendo testes de reatividade dos agregados, entre outros ensaios realizados no laboratório sede da concreteira, localizado na cidade de Quixeré-CE.

Foi definido para o traço que as fibras seriam fornecidas pelo cliente, sendo a microfibrila de polipropileno, da marca Viapol, utilizada na dosagem de $0,6 \text{ kg/m}^3$ e a macrofibrila sintética de polipropileno, da marca Kratos, com uma dosagem inicial indicada de aproximadamente 6 kg/m^3 .

Realizados os testes e iniciando a elaboração do traço, foi constatado que alguns dos materiais disponíveis, sozinhos, não atingiam as especificações definidas. Por exemplo, o teor de argamassa se mostrava insuficiente para o traço, uma vez que a macrofibrila utilizada comportava-se como uma espécie de agregado graúdo lamelar, demandando grande quantidade de argamassa para envolvê-la, unindo-se ao fato de que a areia disponível era mais grossa. Uma solução encontrada para o aumento desse teor foi a utilização de pó de pedra para aumentar a quantidade de finos do traço estudado.

O teor de argamassa foi uma das principais adaptações realizadas nas especificações padrão da consultoria, de forma a operacionalizar o traço, que agora precisaria levar em consideração uma série de fatores externos do local da operação como temperatura, ventos, restrições da operação, entre outros fatores.

4.2 Ensaio

Durante o processo de elaboração do traço CRF, os ensaios são importantes para verificar se o traço está atendendo aos parâmetros exigidos em projeto. Por ser considerado um concreto especial, são realizados alguns ensaios que não são padrões na execução do concreto convencional. Nesse sentido, para o caso analisado nesta pesquisa houve a necessidade da realização de um ensaio para avaliação do teor de ar incorporado. O ensaio foi considerado novo para as partes envolvidas no desenvolvimento do traço e controle tecnológico, uma vez que ele não é realizado comumente para execuções semelhantes utilizando concreto convencional.

Outro importante ensaio realizado, foi o ensaio de tensões residuais, que assim como o ensaio de teor de ar incorporado, não é comumente realizado para este tipo de aplicação. Deste modo, foi preferível que a realização do ensaio ocorresse em outro estado, sob a responsabilidade de uma empresa especializada. O resultado do ensaio de tensões residuais foi de fundamental importância para a tomada de decisão referente a redução da dosagem da macrofibra no traço, que foi de 6 kg/m³ para a quantidade de 5,5 kg/m³, fator que traria economia no projeto sem que a qualidade final fosse afetada.

Outro importante teste realizado foi a execução de placas teste, de modo a testar o comportamento do traço em todas as suas fases. Foram realizadas cerca de 3 placas testes para tais verificações em campo. Durante a execução delas, foi observado que a quantidade de aditivo polifuncional unida a pega mais lenta proporcionada pelo cimento utilizado (CPIII), apresentava problemas operacionais relacionados à demora do processo de pega do concreto, fator que foi corrigido pela redução da quantidade de aditivo polifuncional e aumento da relação água cimento (a/c) de 0,50 para 0,52. Vale ressaltar que tais decisões eram tomadas baseadas nos resultados dos ensaios e avaliações das equipes técnicas e de projeto. A Figura 12 explicita a execução das placas testes do pavimento rígido.

Figura 12 – Placa teste



Fonte: Autor (2022)

Para o controle das concretagens eram realizadas moldagens de corpos de prova para posteriormente serem feitos ensaios de tração na flexão e resistência à compressão, nas seguintes proporções:

- (i) Para o ensaio de resistência à compressão, de todos os caminhões eram extraídas cerca de quatro amostras para moldagem de corpos de prova, para rompimentos no intervalo de 7 e 28 dias.
- (ii) Para o ensaio de tração na flexão, era extraída uma amostra para moldagem do prisma a cada 5 caminhões de concreto.

Vale salientar ainda que no período de realização da obra ainda não existiam normas para concreto reforçado com fibras que especificassem os processos executivos e ensaios necessários para garantir a sua qualidade. Assim, toda a metodologia de controle da qualidade foi estabelecida pela equipe técnica de controle tecnológico, central dosadora de concreto e projetista.

4.3 Processos na usina

Partindo do CRF como sendo um concreto especial, há uma dificuldade intrínseca deste tipo de execução pela necessidade de uma metodologia bem estruturada em todas as suas etapas para a garantia da qualidade final do concreto. Diferentemente, a execução de um concreto comum, sem fibras, requer um controle em menor nível e sem maiores peculiaridades.

Os cuidados na usina iniciavam durante a chegada dos insumos para abastecimento das baias de agregados. As baias e caixas de agregados que abasteciam as esteiras eram bem divididas para que não houvesse a contaminação/mistura de materiais diferentes durante os carregamentos. A areia utilizada era inspecionada para evitar a presença de contaminantes como raízes e etc. As britas eram molhadas antes do direcionamento para as baias, nas quais também foram instalados sistemas de aspersores, ações que auxiliavam na redução da temperatura, assim como na remoção de grande parte do material pulverulento presente na brita que pudesse prejudicar o concreto.

O carregamento iniciava-se com a alimentação das caixas de agregados da usina por uma pá carregadeira, que separadamente alimentava as caixas de brita 9,5 mm, 19 mm, pó de pedra e areia. Feito isso, os balanceiros estavam liberados para carregar os caminhões betoneiras, automaticamente os materiais eram liberados na esteira, ao passo que o cimento era liberado dos silos e o aditivo polifuncional através de um sistema de bombeamento. Efetuado o carregamento, os operadores direcionavam os caminhões betoneiras para pontos de dosagem existentes na usina, para dosagem manual de aditivo superplastificante. O aditivo também era disponibilizado em região próxima a obra para ajustes finos antes da descarga com um *slump* na faixa de 12 cm.

Efetuada o carregamento, os operadores, juntamente com a equipe do laboratório da concreteira e funcionários da empresa contratada para o controle tecnológico, realizavam o *slump* test para garantir um *slump* inicial de 4cm, parâmetro definido inicialmente entre as partes.

Foi identificado que os aspersores da usina estavam danificados, sendo adotadas rotinas de umidificação das britas sempre que descarregadas na usina e posteriormente nas baias de agregados, ponto importante para manter a brita em uma temperatura que absorvesse

a menor quantidade de água possível do traço. Ainda, destaca-se a necessidade de reduzir a quantidade de material pulverulento presente na superfície dos agregados.

A dosagem das fibras era realizada na usina de forma manual (microfibras e macrofibras) por operadores treinados que alimentavam as esteiras de carregamento dos caminhões betoneira. Inicialmente foi verificado que parte das fibras caíam lateralmente na esteira. Então, foram feitos ajustes de modo a criar uma espécie de parede lateral na esteira que impossibilitasse a perda do material, além de erros na dosagem do concreto.

A relação água-cimento do traço era um fator de grande importância do controle. Neste sentido, a metodologia estabelecida para o atendimento dessa relação foi que a quantidade de água do traço seria retida de modo a se obter um *slump* de aproximadamente 4 cm. Feito isto, o concreto era dosado com aditivo superplastificante, de modo a atingir posteriormente um *slump* de 10 ± 2 cm na chegada da obra, que se localizava a cerca de 16 km de distância da usina. O processo auxiliou para que não houvesse água além do necessário no traço, prejudicando a resistência, além de evitar exsudação do concreto.

Eram realizadas medições na temperatura do cimento, visto que havia grande dinâmica de carregamento e descarregamento decorrentes da alta produção diária de concreto da usina, agravados pelo alto volume de concreto deste caso em específico (cerca de 30 caminhões por dia). O processo de medição buscava identificar caso houvessem mudanças na temperatura do material que fossem prejudiciais a operação.

Além do controle pelos operadores de betoneira, foram enviados funcionários da empresa de controle tecnológico para o dia a dia da concreteira, exclusivamente para a garantia do *slump* inicial de 4cm, por meio do acompanhamento e suporte a eles.

As Figuras 13 e 14 apresentam um resumo do processo produtivo do CRF na usina, Na Figura 13, em (a), pode-se observar a preparação dos agregados para a retirada do material pulverulento e redução da temperatura, em (b) o abastecimento constante das baias de agregados pela pá carregadeira, e em (c) a dosagem das fibras pelo auxiliar de produção da concreteira.

Figura 13 – Fase 1 do carregamento



Fonte: Autor (2022)

A Figura 14 mostra a segunda parte do processo da usina, em que em (d) o caminhão sai do ponto de carga carregado com o cimento, aglomerantes, fibras, água e aditivo polifuncional e se dirige ao ponto de dosagem manual de aditivo superplastificante (e). Finalizada esta dosagem, é verificado o atendimento ao *slump* inicial definido (f).

Figura 14 – Fase 2 do carregamento



Fonte: Autor (2022)

4. Processos em campo

Não haviam mudanças expressivas para o lançamento do concreto com fibras em relação ao lançamento de um concreto convencional. Contudo, o processo necessitava de grande controle logístico. O volume médio de concreto girava em torno de 200 a 250 m³ de concreto por dia, sendo necessário, aproximadamente, 30 carregamentos em caminhões com capacidade para 8m³, levando em consideração, ainda, o atendimento da concreteira a outros clientes simultaneamente.

Por se tratar de uma área restrita, havia certa preocupação com o tempo de transporte e descarregamento do concreto, pois era necessário ainda que os operadores passassem por credenciamentos, revistas pessoais e de veículos. Além disso, não era possível a realização de dosagem dentro da obra, sendo definido que a dosagem final e os ajustes fossem realizados em uma área próxima. Também era necessário o revezamento das equipes para garantir a ininterrupção do trabalho durante o fornecimento, buscando evitar baixa produtividade, vencimento do concreto ou a formação de juntas frias que prejudicariam o projeto.

No início do fornecimento, após a substituição de parte da frota de caminhões betoneira por parte da fábrica de concreto, por modelos mais novos, verificou-se uma dificuldade na mistura dos concretos carregados nos novos equipamentos. Neste sentido, a concreteira, pautada em uma análise técnica da sua equipe de manutenção, juntamente com a fabricante dos veículos, chegou à conclusão de que poderia ser realizada uma alteração nas facas das betoneiras, peças internas do balão de concreto, acoplado nos caminhões, responsáveis pela mistura da massa de concreto, sanando o problema da dificuldade de mistura e proporcionando um material mais coeso.

Realizada a concretagem, outra importante etapa do processo era o de cura. Preparada a área, após uma pré cura inicial, iniciou-se uma espécie de cura intermediária, química, realizada através da aspersão de produtos específicos no pavimento. O processo de cura era finalizado com a aplicação de uma manta, comumente utilizada para cura nesse tipo de obra

A Figura 15 mostra o pavimento de concreto após o procedimento de vassouramento, pouco antes da aplicação da manta de cura final.

Figura 15 – Pavimento com acabamento vassourado



Fonte: Autor (2022)

Durante a realização de alguns ensaios, como é o caso do ensaio de resistência à compressão, alguns resultados pontualmente apresentavam valores abaixo do esperado. Nesse sentido, a empresa de controle tecnológico juntamente com o laboratório da concreteira realizavam uma investigação a fim de identificar o motivo do resultado e os possíveis desvios da metodologia no processo, realizando “ajustes finos” no decorrer do processo para a manutenção da qualidade

Em determinado momento, foi constatado que havia uma diferença entre os resultados dos corpos de prova moldados na usina e os corpos de prova moldados *in loco* para o ensaio de resistência à compressão, por exemplo, fator justificável pelo maior controle do processo na usina, com a ausência de fatores externos que podem influenciar nos resultados. Ainda

com essas variantes, a resistência do concreto em ambos os testes se encontrava acima do resultado mínimo especificado.

Finalizada a obra, verificou-se em campo a presença de poucas fissuras relacionadas a retração inicial do concreto, fator preponderante para a certificação da qualidade do processo e do concreto dosado com fibras como um todo, como objeto de combate a esse tipo de patologia, bastante comum em pavimentos. Além disso, ao final do processo, pode-se fazer um comparativo entre as especificações fornecidas pelo cliente (levando-se em consideração as ponderações realizadas, acertadas entre as partes envolvidas no processo), e as especificações que de fato foram utilizadas, e os resultados obtidos.

O Quadro 6 traz um comparativo entre as especificações do cliente explicitadas anteriormente no quadro 5, valores praticados na elaboração do traço pelo laboratório e o status do atendimento (ou não) desses parâmetros.

Quadro 6 – Comparativo das especificações

ESPECIFICAÇÕES DO TRAÇO			
	Projeto	Obtido	Status
Consumo de cimento	320 a 380 kg/m ³	380 kg	OK
Consumo de água	≤180 litros/m ³	190 L	OK
Relação A/C	≤ 0,50	0,52	OK
Teor de argamassa	49% ≤ a ≤ 52%	54,6 %	OK
Material pulverulento	Max. 3%	2 %	OK
Teor de ar incorporado	≤ 3%	1,8 %	OK
Resistência a compressão	≥ 30 MPa	43,5 MPa	OK
Resistência a tração na flexão (7 dias)	≥ 4,5 Mpa	4,8 Mpa	OK

Fonte: Autor (2022)

Neste sentido, apesar de as quantidades de consumo de água, relação a/c e teor de argamassa estarem acima dos níveis definidos inicialmente, pode-se considerar que foram atendidos, uma vez que tais mudanças foram avaliadas e autorizadas pelo projetista. Os ajustes realizados durante o processo serviram para o aperfeiçoamento do traço inicial, que a partir de então passou a ser utilizado como padrão de traço de concreto com fibras na central de concreto.

O caso possibilitou um aprendizado conjunto para todos os envolvidos no processo, desde a elaboração do traço à entrega do produto final. Para a concreteira, o caso possibilitou a melhoria das instalações físicas da usina, uma vez da série de ajustes que precisavam ser

feitos para garantir a qualidade dos materiais desde o seu tratamento e armazenamento nos estoques. Além do traço ser utilizado como padrão atualmente para a dosagem de concretos com fibras, para a empresa de controle tecnológico, foi possibilitado a criação de uma metodologia de controle que pode ser cada vez mais aperfeiçoada e utilizada em outras aplicações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, é indiscutível que a utilização do concreto reforçado com fibras é uma tendência e vem se tornando cada vez mais comum pelos inúmeros benefícios explicitados. Além disso, que diferente de concretos convencionais, é imprescindível a criação de uma metodologia específica e estruturada para o controle em todas as etapas.

Para a elaboração do traço, é essencial a realização de ensaios nos materiais constituintes do concreto que possam fornecer informações do seu comportamento isolado e como parte da massa de concreto, a fim de identificar suas características e a melhor maneira de trata-lo para uso no CRF.

A definição de um procedimento estruturado para a realização de uma obra de concreto reforçado com fibras se faz essencial, analisados as particularidades dos materiais, e da operação no geral, deve-se criar uma metodologia a ser seguida, sequência de carregamento, maneira de disposição das fibras no concreto, definição de um *slump* inicial, são alguns dos principais parâmetros a serem analisados no processo.

Os resultados apresentados indicam que, para este caso, todos os parâmetros técnicos estabelecidos foram atendidos. Contudo, há a necessidade de os profissionais envolvidos estarem em constante cooperação pela necessidade de, por vezes serem necessários, realização de ajustes técnicos. A variabilidade das condições durante o período de realização da obra será um ponto de atenção. A variação dos materiais, condições climáticas e operação como um todo poderão fazer com que o material sofra um desvio das especificações de inicialmente determinadas no projeto, desse modo, deve-se atentar constantemente para variações que possam levar o concreto a necessidade de redosagens e ajustes, podendo citar como exemplo os ajustes realizados na dosagem dos aditivos devido a variações de temperatura.

Outro ponto de grande notoriedade é que este caso serviu de projeto piloto para os envolvidos no processo. A empresa de controle tecnológico, com a estruturação da metodologia utilizada neste caso, poderá repeti-la para outras aplicações, realizando as adaptações e aprimoramentos necessários para tanto, ao passo que a concreteira, que antes não possuía traços para pavimentos rígidos de concreto com fibra, passou a incluir o traço na sua operação, recebendo diversas demandas similares posteriormente, pelo sucesso do caso estudado. Além disso, as adaptações realizadas na central dosadora de concreto para o atendimento deste caso continuam operando para a melhoria da qualidade dos outros traços

disponíveis, como é o caso do tratamento dos agregados para redução de material pulverulento, redução de temperatura, pontos de dosagem de aditivos mais controlados, etc.

Pode-se inferir ainda, por meio das entrevistas, que mesmo com a tendência da utilização deste tipo de concreto, ainda há um certo receio por parte dos clientes por questões culturais e principalmente de custo, do material, que não poderá ser genérico, devendo atender a uma série de requisitos técnicos em sua fabricação, e do controle tecnológico, que deverá ser realizado por profissionais capacitados para tal atividade.

Pode-se notar que após a liberação do pavimento para uso, o piso não apresentava quantidade significativa de fissuras, apresentando-se de ótima qualidade, resultado do efetivo controle realizado durante todo o processo para a concretagem de um volume de aproximadamente 12.000 m³ de CRF.

Para outros estudos, sugere-se uma análise mais detalhadas nas questões relativas ao custo benefício quando se compara a outras metodologias de construção para pavimentos, assim como, o mapeamento dessas obras para estudo do desempenho a longo prazo.

REFERÊNCIAS

- A VERSATILIDADE DO CIMENTO BRASILEIRO.** Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 13 de abr. de 2016. Disponível em: <<https://abcp.org.br/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro/>>. Acesso em 07 set. 2021.
- ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, V. S. Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados. In: II SUFFIB - SEMINÁRIO: O Uso da Fração Fina da Britagem, Rio de Janeiro. **Anais [...]**, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12665: **Concreto de cimento Portland**: Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768: **Aditivos químicos para concreto de cimento Portland**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregados para concreto**: especificação. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11172: **Aglomerantes de origem mineral**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland**: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: **determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.
- BENETTI, R. K. **Traços de concreto convencional com incorporação de aditivo acelerador de pega**: análise da resistência nas primeiras idades. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2007.
- BOGGIO, A.J. ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE DOSAGEM DE CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND. Trabalho de conclusão de curso (pós-graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- CARNIO, M. A. **Propagação de trinca por fadiga do concreto reforçado com baixos teores de fibra**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- CARNIO, M. A. **Pesquisas por boas soluções de engenharia**. Entrevista cedida ao Ibracon. Aspectos gerais sobre o concreto reforçado com fibras no Brasil: Produção, projeto, tecnologia, normalização. São Paulo, 2017.

CARVALHO, A. R.; CABRAL, A. E. B. Concreto com adição de fibras para confecção de anéis pré-moldados segmentados para revestimento de túnel de metrô. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 1-12, 2018.

DEMO, P. **Introdução da Metodologia**. São Paulo: Atlas, 1985.

FALCÃO, B. L. A. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019.

FERNANDES, A. P.; VENQUIARUTO, S.D. **Estudo da Resistência a Tração na Flexão em Concretos Com Substituição Parcial de Areia Natural por Agregado Reciclado de Pet**. CRICTE, 2017.

FIGUEIREDO, A. D.; HELENE, P. **Concreto Projetado com Fibras de Aço para Túneis**. São Paulo: EPUSP, 1995.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. Tese (Doutorado para Livre Docência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

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

GARCEZ, E. O. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço quando submetidos a cargas de impacto**. 2005. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 21, 1995.

GÓIS, F. A. P. **Avaliação experimental do comportamento do concreto fluido reforçado com fibras de aço: influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto**. 2010. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

ISAIA, G. C.; GASTALDINI, A. L. G. Perspectivas ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 2, p. 19-30, 2004.

LUCENA, J. C. T. **Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MENOSSI, R. T.; MELGES, J. L. P.; AKASAKI, J. L.; CAMACHO, J. S.; FAZZAN, J. V.; TASHIMA, M. M.; SALLES, F. M. PÓ DE PEDRA: uma alternativa ou um complemento ao

uso da areia na elaboração de misturas de concreto? **Holos Environment**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 209, 10 jan. 2010.

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

MORAES, M. **Adições Minerais ao Concreto**. Notas de aula, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, GO, Brasil, 2012.

NARDY NETO, A. M.; CARDOSO, G. M.; CHALEGRE, J. M. V. B. L.; GRACIANO, L. F.; PICARELLI, R. M. **Estudo da influência de aditivos em concreto**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário FAAT, Atibaia, 2018.

NEVILLE, A. M. **Tecnologia do Concreto**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, N. P. **Concreto de cimento Portland reforçado com fibras de aço e de polipropileno**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga, Formiga, 2014.

PAIVA FILHO, J. C. **Análise da resistência à compressão e consistência de concreto produzido com brita calcária e aditivo plastificante**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

PINHEIRO, A.C.F.B.; CRIVELARO, M. **Materiais de Construção**. São Paulo: Saraiva, 2016. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518749/>. Acesso em: 25 nov. 2021.

PROETTI, S. As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo. **Revista Lumen**, v. 2, n. 4, 2018.

RODRIGUES, P. P. F.; MONTARDO, J. P. A influência da Adição de Fibras de Polipropileno nas Propriedades dos Concretos para Pisos e Pavimentos. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, Belo Horizonte/Brasil. **Anais [...]**, 2002.

RODRIGUES, E. C. **Concreto fresco e as suas propriedades**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/concreto-fresco-e-as-suas-propriedades/81326/>>. Acesso em: 14 set. 2021.

ROSA, T. F. **Análise da resistência à tração na flexão do concreto reforçado com fibras de polietileno**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Joinville, 2019.

TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. Dosagem dos concretos de cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Concreto**: Ciência e tecnologia. IBRACON, 2011.

VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. In: TUNES, M. R. **Balanço mineral brasileiro**. Agência Nacional de Mineração, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.

