



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO CIÊNCIA TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

WILLIAM DO NASCIMENTO PONTES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO COMO REFORÇO
PRIMÁRIO NO CONCRETO**

**ARARUNA-PB
2021**

WILLIAM DO NASCIMENTO PONTES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO COMO REFORÇO
PRIMÁRIO NO CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rômulo Thomaz de Figueiredo Borja.

**ARARUNA-PB
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

P813a Pontes, William do Nascimento.
Análise da influência de adição de fibras de aço como reforço primário no concreto [manuscrito] / William do Nascimento Pontes. - 2021.
27 p.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2021.
"Orientação : Prof. Me. Rômulo Thomaz de Figueiredo Borja, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Aço. 2. Análise estrutural. 3. Concreto. I. Título
21. ed. CDD 620.18

WILLIAM DO NASCIMENTO PONTES

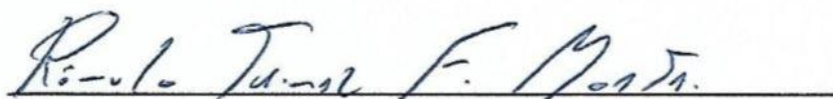
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO COMO REFORÇO
PRIMÁRIO NO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de graduação em Engenharia Civil.

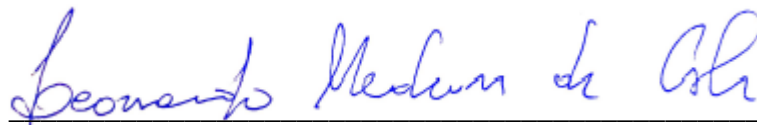
Área de concentração: Materiais.

Aprovada em: 09 / 06 / 2021.

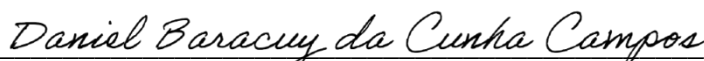
BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Rômulo Thomaz de Figueiredo Borja (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Daniel Baracuy da Cunha Campos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe, pelo zelo e esforço para que este sonho se tornasse possível, DEDICO.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	<i>Concreto simples</i>	7
2.2	<i>Trabalhabilidade</i>	7
2.3	<i>Resistência à tração indireta do concreto</i>	8
2.4	<i>Fibras de Aço</i>	9
2.5	<i>Concreto com fibras</i>	10
3	MATERIAIS E MÉTODOS	11
3.1	<i>Seleção e caracterização dos materiais</i>	12
3.2	<i>Dosagem do traço de concreto</i>	13
3.3	<i>Teores de fibras no traço</i>	14
3.4	<i>Moldagem, cura e determinação da resistência a tração indireta</i>	14
3.5	<i>Slump Test</i>	16
4	RESULTADOS E DISCUÇÃO	16
4.1	<i>Caracterização física dos materiais</i>	16
4.2	<i>Trabalhabilidade no CRFA</i>	18
4.3	<i>Modo de ruptura</i>	19
4.4	<i>Desempenho Mecânico</i>	21
5	CONCLUSÃO	23
	REFERÊNCIAS	24

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO COMO REFORÇO PRIMÁRIO NO CONCRETO

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF STEEL FIBER ADDITION AS A PRIMARY REINFORCEMENT IN PORTLAND CEMENT CONCRETE

William do Nascimento Pontes¹
Prof. Rômulo Thomaz de Figueiredo Borja²

RESUMO

O concreto como material mais popularizado no setor da construção civil vem passando pelo processo de combinação com adição em sua matriz, no qual altera o comportamento de suas propriedades a fim de atingir ganho de desempenho mecânico. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da incorporação de fibras de aço na composição do concreto simples, quanto a trabalhabilidade, resistência à tração e modo de ruptura. Os teores de fibras de aço incorporados na composição do concreto foram de 5%, 10%, 20% e 30% em relação a massa do cimento, para concretos das classes C15, C20 e C30. As variações de comportamento para cada teor de fibra são perceptíveis; as classes C15 e C20 tiveram aumento da resistência à tração indireta com até 20% de incorporação de fibras, declinando para teores de 30%, a classe C30 obteve aumentos no desempenho mecânico crescente para todas as porcentagens. A trabalhabilidade do Concreto Reforçado com Fibra de Aço (CRFA) diminui com o incremento de fibras, em todas as classes de resistência analisadas. Em todos os testemunhos houve a redução na propagação de fissuras e aumento na capacidade de absorção e redistribuição de esforços, mudando o comportamento que antes da adição era frágil para um desempenho pseudo-ductil.

Palavras-chave: Fibras de aço. Concreto reforçado. Resistência à tração. Ponte de transferência.

ABSTRACT

Concrete as the most popular material in the civil construction sector has been going through the process of combination with addition in its matrix, in which it changes the behavior of its properties in order to achieve a gain in mechanical performance. The objective of this work was to analyze the influence of the incorporation of steel fibers in the composition of plain concrete, regarding workability, tensile strength and failure mode. The contents of steel fibers incorporated in the concrete composition were 5%, 10%, 20% and 30% in relation to the cement mass, for concretes of classes C15, C20 and C30. Behavioral variations for each fiber content are noticeable; classes C15 and C20 had an increase in indirect tensile strength with up to 20% of fiber incorporation, declining to levels of 30%, class C30 obtained increases in increasing mechanical performance for all percentages. The workability of Steel Fiber Reinforced Concrete (CRFA) decreases with the increase of fibers, in all strength classes analyzed. In all cores there was a reduction in crack propagation and an increase in the capacity of absorption and redistribution of efforts, changing the behavior that was fragile before the addition to a pseudo-ductile performance.

Keywords: Steel fibers. Reinforced concrete. Tensile strength. Transfer Bridge.

¹ Graduando de Engenharia Civil (UEPB), williampontes18530@gmail.com

² Mestre em Engenharia Civil e Ambiental (UEPB), thomaz_jp@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O concreto possui uma série de características que lhe garantem o posto do material de construção mais utilizado no mundo. Dentre suas principais vantagens, pode-se listar o baixo custo produção in loco em obras de pequeno porte e médio e a capacidade de se adequar às variadas condições de produção, além de possibilitar infinitas variações de formas para as peças moldadas. Em contrapartida, o concreto apresenta várias limitações, como baixa relação resistência mecânica/peso e comportamento frágil com baixa capacidade de deformação antes da ruptura quando submetidos a esforços de tração. Uma vez fissurado, o concreto simples perde completamente a capacidade de resistir aos esforços de tração e, por essa razão, surgiram alternativas tecnológicas, como o concreto armado, onde estas limitações são compensadas pelo reforço com barras de aço (FIGUEIREDO, 2011).

A capacidade reduzida de resistência à tração deve-se a maior dificuldade do concreto interromper a propagação das fissuras quando submetido a este tipo de tensão, isto ocorre pelo fato da direção de propagação das fissuras serem transversal à direção principal de tensão. Assim que inicia o crescimento de cada nova fissura, a área disponível de suporte de carga é reduzida causando um aumento das tensões presentes nas extremidades das fissuras. Logo, a ruptura na tração é causada por algumas fissuras que se unem e não por numerosas fissuras, como ocorre quando o concreto é comprimido (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Como alternativa de melhoria no desempenho do concreto surgiu o reforço através do uso de fibras. Os concretos reforçados, tanto com fibras como com barras ou fios de aço, são exemplos de materiais compostos. Esses são definidos como todo material multifásico, artificialmente construído, que apresente uma significativa parcela das propriedades de todos os materiais que o integram, de forma que a melhor combinação destas propriedades seja alcançada. No concreto tradicional a utilização de fibras traz inúmeros benefícios, uma vez que, “materiais a base de cimento se caracterizam por apresentar uma baixa resistência à tração e uma baixa capacidade de deformação por tração, o que pode ser drasticamente melhorado pela adição de fibras” (OUYANG E MARIKUNTE, 1994).

O concreto reforçado com fibra de aço (CRFA) possui algumas propriedades superiores ao concreto reforçado convencional, como o aumento na resistência à tração, excelente capacidade de absorção de energia, capacidade aprimorada de deformação e boa resistência à fadiga, características estas que o tornaram um material promissor em estruturas e infraestruturas (YOO E BANTHIA, 2017).

O concreto é um material frágil, apresenta-se sempre susceptível às concentrações de tensões, quando do surgimento e propagação de uma fissura, a partir do aumento da tensão a ele imposta. No caso do concreto simples, uma fissura irá apresentar uma barreira à propagação de tensões. Este “desvio” irá implicar numa concentração de tensões na extremidade da fissura e, no caso desta tensão superar a resistência da matriz cimentícia, tem-se uma ruptura abrupta do material. Caso o esforço seja cíclico, ocorre a ruptura por fadiga, para cada ciclo há uma pequena propagação de microfissuras e, conseqüentemente, um aumento progressivo na concentração de tensões em sua extremidade até o momento de colapso do material. Assim, a partir do momento em que se abre a fissura no concreto ele rompe bruscamente, caracterizando um comportamento frágil (FIGUEIREDO, 2011).

As fibras de aço são capazes de redistribuir as tensões de tração na fase de pós-fissuração do concreto, com o dispêndio de mais energia, após a carga de pico, as fibras são progressivamente arrancadas em um mecanismo combinado de descolamento, fricção superficial e arrancamento. Depois que o descolamento se inicia, há uma combinação dos efeitos dos mecanismos de descolamento e do arrancamento friccional, que pode ser efeito da influência da geometria das fibras. Muito embora, para que isto ocorra, é necessário que haja um equilíbrio entre as resistências da fibra e da matriz, pois caso as fibras tenham adesão fraca

com a matriz, elas podem deslizar em baixos níveis de carga e não contribuir significativamente para transferência de tensões. Por outro lado, se a adesão com a matriz for muito forte, a maioria das fibras pode fraturar antes que dissipem energia por arrancamento (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Os concretos com altas taxas de incorporações de fibras de aço (acima de 2%, em relação ao volume de fibras no concreto) são considerados de alta performance, visto que com este aumento eleva-se sua rigidez e também tenacidade, sendo possível a sua utilização como reforço principal frente aos esforços no concreto. Dependendo do volume de fibras de aço incorporado na mistura pode ocorrer o aumento substancial da resistência a flexo-tração em elementos pós-fissurados, garantindo ao elemento mais capacidade de carga e aumento no grau de segurança na estrutura (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

O objetivo deste trabalho foi analisar a influência da incorporação de fibras de aço na composição do concreto simples, quanto a trabalhabilidade, resistência à tração, modos de ruptura e fissuração na ruptura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto simples

Concreto é um material resultante da mistura dos agregados graúdo e miúdo com cimento e água, no qual a resistência à compressão e tração do concreto endurecido depende de vários fatores, como o consumo de cimento e de água na mistura, o grau de adensamento, os tipos de agregados e adições, etc. Quanto maior é o consumo de cimento e quanto menor é a relação água-cimento, maior será a resistência à compressão do concreto. A relação água-cimento determina a porosidade da pasta de cimento endurecida, portanto tendo uma relação direta com as propriedades mecânicas do concreto (ARAÚJO, 2014).

Para Pilz (2006) o concreto é considerado o esqueleto das edificações, visto que o mesmo é que dá sustentação à estrutura, seja na condição de armado ou simples. Perante sua importância incontestável na construção civil, este é um dos materiais mais estudados tanto na área estrutural quanto voltado para sua produção, englobando assim conhecimento e controle sobre os materiais que o compõem: cimento Portland, brita, areia, água, aditivos e na situação de armado, o aço.

O concreto possui baixa resistência a tração, cerca de 7% a 10% da resistência à compressão (ARAÚJO, 2014). Apresenta ruptura frágil e pequena capacidade de deformação, quando comparado com outros materiais estruturais como o aço. Tal comportamento está associado às fissuras que se formam ou já estão presentes no concreto, que prejudicam muito mais o material quando solicitado à tração do que à compressão (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

2.2 Trabalhabilidade

O comportamento do concreto no estado fresco é comumente resumido em termos da trabalhabilidade, que representa a habilidade dos concretos de serem misturados, manipulados, transportados e, o mais importante, serem lançados e adensados com a menor perda de homogeneidade, mínima incorporação de ar e mínima exsudação. Estas habilidades dependem da composição do concreto, dos equipamentos utilizados na mistura e transporte, da exposição ambiental, do tempo decorrido desde o início da mistura, das condições das fôrmas e, principalmente, do método de lançamento e adensamento (PEREIRA, 2017).

O parâmetro comumente utilizado nas obras para aferir a trabalhabilidade do concreto é o abatimento do tronco de cone, para tal, utiliza-se o método especificado pela NBR 16889 (ABNT, 2020). A NBR 8953 (ABNT, 2015), por sua vez, classifica os abatimentos para aplicações típicas do concreto, levando em consideração o lançamento e adensamento do concreto (Quadro 1).

Quadro 1 – Classes de consistência

Classe	Abatimento (mm)	Aplicação típica
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrudado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundação
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional de concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado de concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

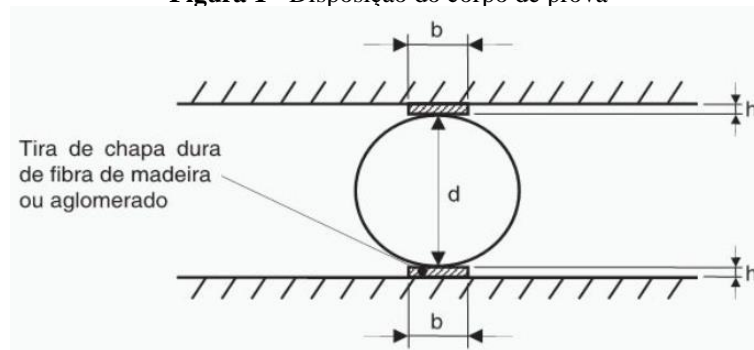
Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015).

2.3 Resistência à tração indireta do concreto

O ensaio a compressão diametral é a solução mais utilizada no Brasil e no mundo, devido a sua baixa complexidade, custo e aproximação laboratorial com os resultados apresentados em campo, em contra partida ao ensaio de tração direta.

A NBR 7222 (ABNT, 2011) prescreve a resistência a tração por compressão diametral em corpos de provas cilindros de concreto e argamassas no país, que consiste na aplicação de uma carga linear distribuída na maior dimensão do corpo de prova, apoiadas sobre frisos opostos, provocando a ruptura por meio da tensão de cisalhamento que particionará o testemunho. A Figura 1 apresentada na NBR 7222 (ABNT, 2011) explicita a forma de execução do ensaio.

Figura 1 - Disposição do corpo de prova



Fonte: NBR 7222 (2011).

Onde:

d = diâmetro do corpo de prova, em mm;

b = $(0,15 \pm 0,01) d$, em mm;

h = $(3,5 \pm 0,5)$, em mm.

A resistência à tração indireta é expressa por:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (1)$$

Onde:

$f_{ct,sp}$ = é a resistência a tração por compressão diametral, expressa em três algarismos significativos, em megapascals (MPa);

F = é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);

d = é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);


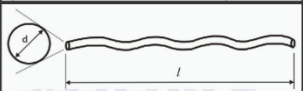
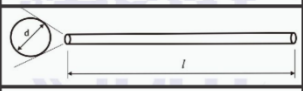
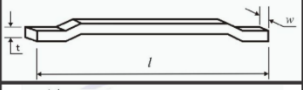
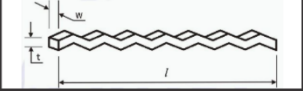
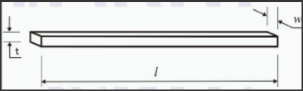
l = é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

2.4 Fibras de Aço

Segundo a NBR 15530 (ABNT, 2019) as fibras de aço são arames de aço trefilados a frio, retos ou em outras conformações; cortes, restos ou em outras conformações, de chapas; produzidas por fusão (*melt-extracted*); fibra de arame trefilados a frio refilado (*shaved*) e fibras usinadas a partir de blocos de aço adequados para formar misturas homogêneas com concretos e argamassas.

A classificação das fibras mais utilizada no mercado está contida em dois grandes grupos e tem diferentes características, com o fator de forma, densidade, comprimento, fabricação e resistência, na Figura 2 podemos distinguir os tipos e grupos das fibras.

Figura 2 - Classificação das fibras

GRUPO I Arames trefilados	TIPO A (Com ancoragem nas extremidades)	
	TIPO C Com ondulações no corpo (corrugadas)	
	TIPO R (Reta, sem ancoragem)	
GRUPO II Chapas cortadas	TIPO A (Com ancoragem nas extremidades)	
	TIPO C Com ondulações no corpo (corrugadas)	
	TIPO R (Reta, sem ancoragem)	

Fonte: ABNT NBR 15530:2019 (2021, com adaptações).

As fibras de aço ditas como curtas, formadas por pequenos comprimentos de aço, tendo razão de aspecto entre 20 e 100, com uma ou várias seções diferentes ao longo do seu comprimento e, que são suficientemente pequenas para serem dispersas em uma mistura de concreto fresco utilizando métodos de mistura tradicionais (ACI 544.1R, 2002). Para tanto, a relação entre comprimento e diâmetro equivalente (l_f / d_e) deve estar entre 20 e 100 vezes, os diâmetros são calculados conforme a NBR 15530 (ABNT, 2019).

Para o Grupo I, tem-se:

$$d_e = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (2)$$

Para o Grupo II, tem-se:

$$d_e = \frac{\sqrt{4 \cdot t \cdot w}}{\pi} \quad (3)$$

Onde:

d_e = diâmetro equivalente da fibra de aço;

d_1 e d_2 = medidas tomadas na região central da fibra circular em direções ortogonais;

t = espessura da fibra retangular;

w = largura da fibra retangular.

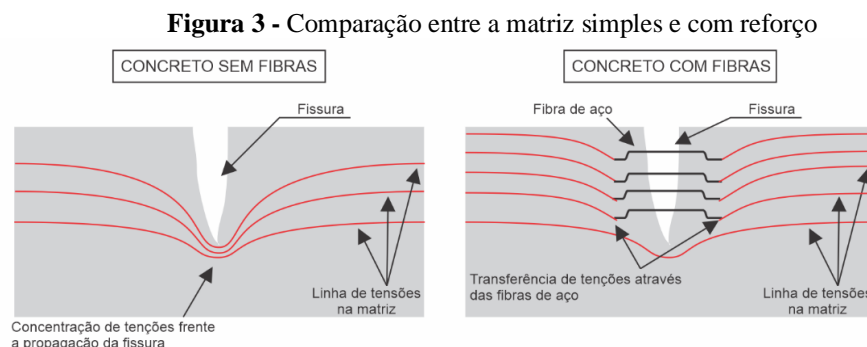
A resistência das fibras de aço deve ser superior a 345 Mpa, com densidade média de 7850 kg/m³ para aços comuns, e 7950 kg/m³ para aços inoxidáveis segundo a EN 14889-1 (BS, 2006).

Em seu trabalho, Figueiredo (2011) afirma, que apesar dos diversos tipos e grupos de fibras, o arame comumente encontrado no mercado é a fibra do tipo AI, visto que suas características geométricas o tornam mais trabalháveis na mistura cimentícia, seu comprimento de 60 mm facilita a mistura na argamassa, além de apresentar bom desempenho mecânico frente aos outros tipos de filamentos.

2.5 Concreto com fibras

Quando o elemento não contém o reforço, a propagação na fissura acontece de forma crescente até atingir a ruptura que ocorre de forma rápida e progressiva, já com a adição de fibras de aço na matriz, temos a redução na propagação das fissuras, que absorve a tensão em uma extremidade e transfere para a face oposta da fissura garantindo assim a transmissão dos esforços (SCOARIS et al, 2005), como exemplificado na Figura 3.

Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia e, em grande quantidade, estas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras e permitirão ao concreto reforçado com fibras resistir a tensões de tração elevadas, com grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração (o chamado “*strain softening*”) (THOMAZ, 2002).



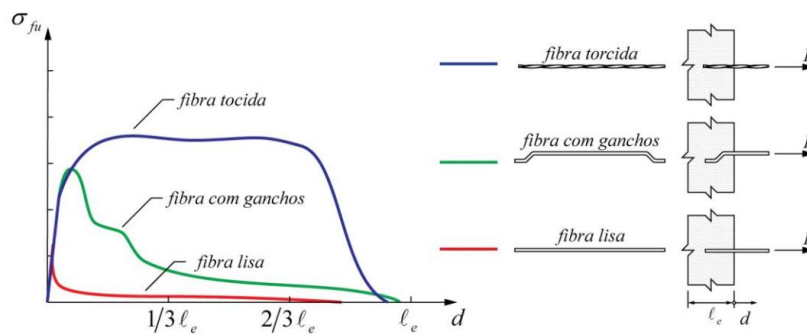
Fonte: Scoariset, et al (2005, com adaptação).

Apesar das variáveis que estão inseridas no comportamento do concreto com adição de fibras é possível observar que as fibras também mostram um alinhamento preferencial paralelo à direção do lançamento e às paredes das fôrmas (efeito de parede). Este efeito pode ser ampliado quando se trata de elementos com uma dimensão predominante, resultando em distribuições de fibras muito diferentes para uma viga e uma laje, comparativamente (ŠVEC, 2013).

A norma ACI 544.4R (2018) aponta que os fatores de maior influência nas propriedades mecânicas dos concretos reforçados com fibras de aço são: o tipo da fibra; a relação comprimento/diâmetro (razão de aspecto); a quantidade de fibras; a resistência da matriz; o

tamanho, forma e método de preparação do corpo de prova e o diâmetro do agregado. A eficiência do reforço fibroso pode ser avaliada pela resistência de uma única fibra ao arrancamento, que depende da força de adesão com a interface fibra-matriz. Para fibras retas e lisas, as resistências ao arrancamento serão tão maiores quanto forem suas razões de aspecto e, quanto mais longas forem, mais eficiente será o incremento nas capacidades mecânicas do compósito. A resistência ao arrancamento é proporcional à área superficial da interface fibra-matriz, cujas fibras irregulares com seções de pequeno diâmetro promovem maior resistência ao arrancamento que fibras circulares de grande diâmetro (ACI 544.4R,2018). A norma ACI 544.4R (2018) ressalta ainda que a classificação e geometria da fibra de aço influencia no comportamento da fibra quanto ao arrancamento da matriz, modificando o grau de ductibilidade do material compósito como exemplificado na Figura 4.

Figura 4 - Comportamento da fibra quanto ao arrancamento para diferentes tipos de filamentos



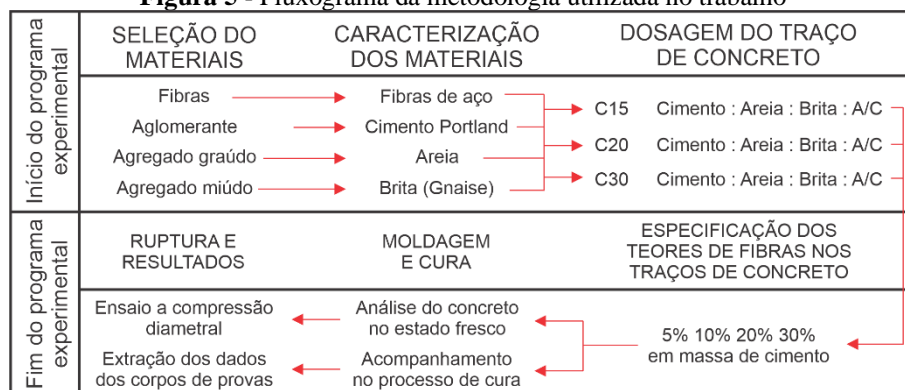
Fonte: PEREIRA (2017).

A fibra de aço é comumente dosada nos concretos considerando percentuais volumétricos na mistura, o fator predominante na escolha da percentagem de incorporação depende da finalidade do concreto, para elementos com elevada taxa de aço, existe a dificuldade no adensamento do concreto reforçado, gerando nichos, devido a esta patologia a quantidade de fibra deve ser reduzida. Para concretos simples utilizando a dosagem na incorporação de 2% de fibras de aço, por exemplo, é possível conferir uma taxa de aço de até 160 kg/m³ (FIGUEIREDO, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no laboratório de materiais e geotecnia e no laboratório de estruturas da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) no Campus VIII, localizado no município de Araruna-PB. A sequência processual do trabalho pode ser resumida na Figura 5.

Figura 5 - Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho



Fonte: Autor (2021).

3.1 Seleção e caracterização dos materiais

Os ensaios para caracterizações seguiram as prescrições das normas da ABNT, e que estão exemplificadas no quadro abaixo.

Quadro 2 - Referencial normativo utilizado

Propriedades	Norma	Ano
Agregados para concreto	ABNT NBR 7211	2009
Massa específica do cimento	ABNT NBR 16605	2017
Agregados - Massa unitária	ABNT NBR NM 45	2006
Fibra de aço	ABNT NBR 15530	2019
Abatimento tronco de cone	ABNT NBR 16889	2020

Fonte: Autor (2021).

O desempenho final do CRFA depende primordialmente da mudança que a fibra de aço causa na matriz cimentícia. Deste modo, foi empregado fibra de aço do Grupo I que são arames trefilados a frio e do tipo A, que detém de ganchos nas extremidades de cada fibra, cuja escolha deste no trabalho decorre da disponibilidade e aceitação desta fibra no mercado brasileiro, as especificações da fibra utilizada se encontram no Quadro 3 e Figura 6.

Quadro 3 - Especificações geométricas da fibra de aço

Comprimento (mm)	Diâmetro do arame (mm)	Resistência à tração (MPa)	Fator de forma (l/d)
60	0,75	1100	80

Fonte: Autor (2021).

Figura 6 – Caracterização geométrica das fibras de aço

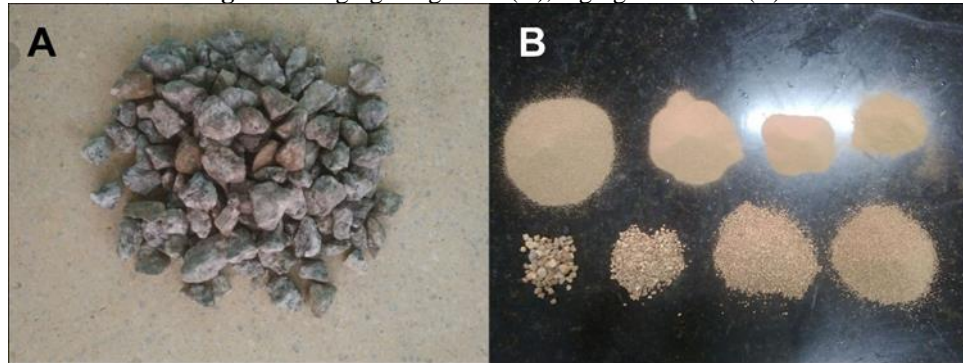


Fonte: Autor (2021).

Para produção dos corpos de prova de concreto reforçado com fibra de aço, foi utilizado cimento Portland CP II-Z-32, areia média lavada, brita 1, água e as fibras de aço do Grupo 1 – Tipo A. Deste modo sucederam-se os ensaios de composição granulométrica do agregado miúdo e graúdo (Figura 7), nos quais foram determinados a dimensão máxima característica do

agregado graúdo, e modulo de finura do agregado miúdo conforme a NBR 7211 (ABNT, 2009), massa específica do cimento de acordo com NBR 16605 (ABNT, 2017) e massa unitária dos agregados pela NBR NM 45 (ABNT, 2006).

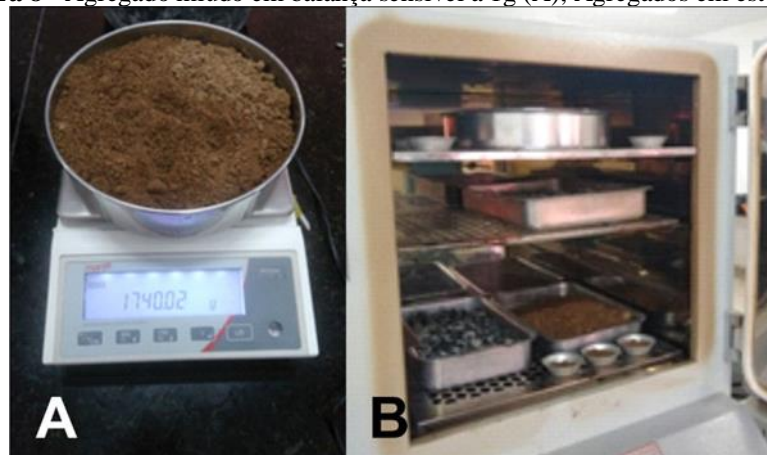
Figura 7 - Agregado graúdo (A), Agregado miúdo (B)



Fonte: Autor (2021).

Na caracterização do agregado graúdo as amostras foram peneiradas na série normal e intermediárias de peneiras, de malhas variando de 25 mm a 4,8 mm nessa respectiva ordem, e para o agregado miúdo as amostras foram peneiradas na série normal de peneiras, de numeração decrescente, variando de malha 4,8 mm a 0,075 mm, todos os agregados foram pesados em balança sensível a uma grama e passaram 24 horas em estufa a 105° C (Figura 8).

Figura 8 - Agregado miúdo em balança sensível a 1g (A), Agregados em estufa (B)



Fonte: Autor (2021).

3.2 Dosagem do traço de concreto

A dosagem do traço de concreto foi realizada de acordo com o método ACI da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), para três classes de resistências C15, C20 e C30.

Para atingir as resistências características requeridas de 15, 20 e 30 MPa, com o mesmo aglomerante cimentício, foram variadas as proporções de agregados miúdos e graúdos no traço juntamente com o consumo de cimento e quantidade de água incorporada na mistura, e estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3 respectivamente. Em cada traço, estão especificados os teores de fibras de aço incorporados para análise da influência desta adição quanto a trabalhabilidade, resistência à tração e fissuras na ruptura.

Tabela 1 - Valores para análise do concreto C15

Traço unitário em massa (c : ag _m : ag _g)	Relação a/c	Teores de fibra de aço (%)	Consumo de cimento (kg/m ³)
1 : 2,83 : 3,88	0,75	5	266,71
		10	
		20	
		30	

Fonte: Autor (2021).

Tabela 2 - Valores para análise do concreto C20

Traço unitário em massa (c : ag _m : ag _g)	Relação a/c	Teores de fibra de aço (%)	Consumo de cimento (kg/m ³)
1 : 2,34 : 3,36	0,65	5	308,01
		10	
		20	
		30	

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 - Valores para análise do concreto C30

Traço unitário em massa (c : ag _m : ag _g)	Relação a/c	Teores de fibra de aço (%)	Consumo de cimento (kg/m ³)
1 : 1,65 : 2,23	0,46	5	429,11
		10	
		20	
		30	

Fonte: Autor (2021).

3.3 Teores de fibras no traço

Os teores de fibras de aço incorporados na composição do concreto foram de 5%, 10%, 20% e 30% em relação a massa do cimento aplicado no traço para os concretos de classe C15, C20 e C30. Os teores de 5% e 10% correspondem a uma variação volumétrica de 0% a 1% de fibras na mistura, é eficiente para o controle de fissuração, já os teores de 20% e 30% correspondem a uma variação de 1% a 2% de volumes de fibras no concreto, o que garante um ganho substancial de resistência a tração, segundo Figueiredo (2011). As adições de fibras foram dosadas em relação a massa de cimento, de tal forma que as frações volumétricas correspondessem aos intervalos citados acima, facilitando o controle laboratorial.

3.4 Moldagem, cura e determinação da resistência a tração indireta

A mistura mecânica dos traços ocorreu no laboratório de estruturas da UEPB-Campus VIII por meio de betoneira de 470 L, após este processo, foram aferidos a consistência de cada traço por meio do abatimento tronco de cone (ABNT NBR 16889:2020) sobre a placa base, medindo a altura de escorregamento da massa cimentícia. O lançamento ocorreu em 3 camadas de concreto, e foi conferido o adensamento para cada camada aplicando 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície com o auxílio da haste de adensamento, este processo foi replicado em todos os corpos de prova do trabalho (Figura 9).

Figura 9 - Moldagem dos corpos de prova

Fonte: Autor (2021).

Inicialmente, a fim de que fosse possível comparar a resistência a compressão diametral e axial de corpos de provas para conferência do traço e homogeneidade da matriz, foram moldados testemunhos para as três classes de resistência características, seis para C15, seis para C20 e seis para C30, totalizando 18 corpos de prova cilíndricos 10 cm x 20 cm sem adição de fibra, deste modo, cada classe teve três corpos de prova rompidos por compressão axial conforme a NBR 5739 (ABNT, 2018) e três por compressão diametral conforme a NBR 7222 (ABNT, 2011).

Feito a conferência do traço, foi dada a sequência do procedimento experimental com a mistura e moldagem dos corpos de prova com a percentagens de fibras de aço nas classes de concreto consideradas. A esquematização da quantidade de testemunhos, tipo de ensaio, dias de cura para o rompimento dos corpos de prova de todo o experimento resume-se no Quadro 4.

Quadro 4 - Distribuição de corpos de prova produzidos para cada tipo de dosagem, classe de concreto e ensaio destrutivo

Tipo de dosagem	Classe do concreto	Tipo de ensaio	Quantidade de corpos de prova (un)	Idade do ensaio (dias)
Definição de traço (Concreto simples)	C15	Compressão Axial	3	7
	C20		3	
	C30		3	
Referência (Concreto sem reforço)	C15	Compressão Diametral	3	7
	C20		3	
	C30		3	
Dosagens experimentais (5%, 10%, 20% e 30%)	C15	Compressão Diametral	12	28
	C20		12	
	C30		12	

Fonte: Autor (2021).

Para os 36 corpos de prova com diferentes teores de fibras, foram rompidos em conformidade com os procedimentos da NBR 7222 (ABNT, 2011) aos 28 dias de cura. E em todo o trabalho foram moldados 54 corpos de prova.

3.5 Slump Test

O ensaio que mede o abatimento do tronco de cone foi realizado em todos os traços de concreto, para que a partir das variadas dosagens de fibras fosse possível avaliar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco. A NBR 16889 (ABNT, 2020) foi utilizada para execução do procedimento experimental, como observado na Figura 10.

Figura 10 - Slump Test para C30



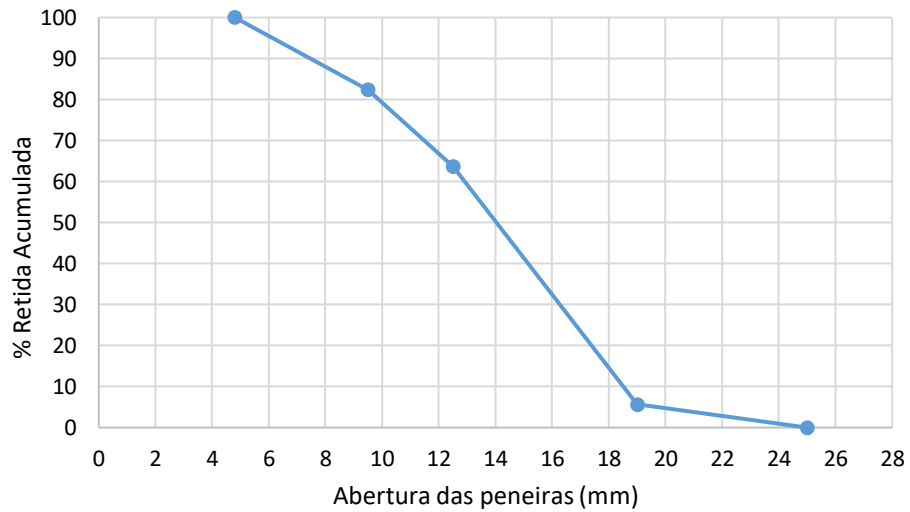
Fonte: Autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUÇÃO

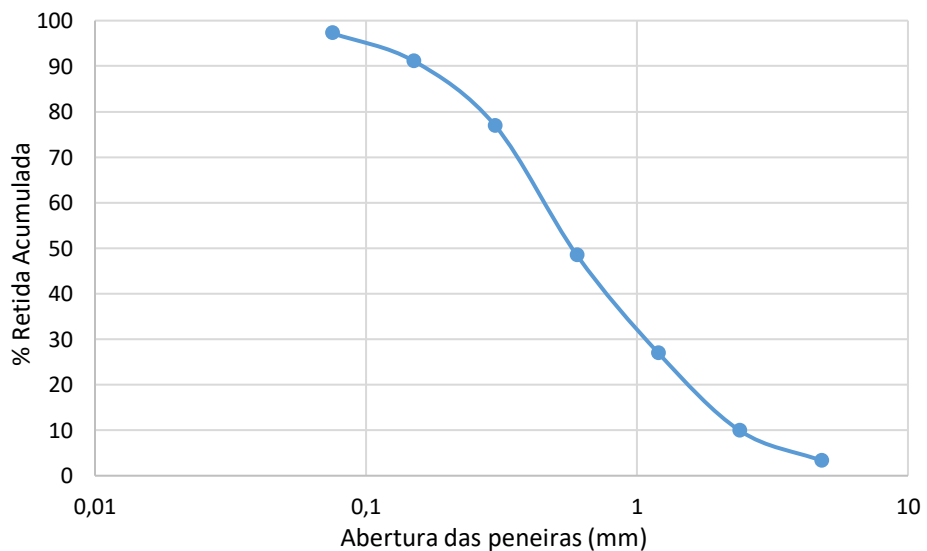
A obtenção dos resultados contemplados nesse tópico está baseada no cumprimento de uma série de processos normativos que foram aplicados desde a dosagem e produção do concreto reforçado com fibra aos ensaios de caracterização, com o objetivo de obter resultados confiáveis.

4.1 Caracterização física dos materiais

Através da análise granulométrica realizada no agregado miúdo e graúdo, foi possível obter a curva granulométrica dos agregados utilizados no traço (Figura 11 e 12).

Figura 11 – Gráfico da análise granulométrica do agregado graúdo

Fonte: Autor (2021).

Figura 12 – Gráfico da análise granulométrica do agregado miúdo

Fonte: Autor (2021).

De acordo com a análise granulométrica para o agregado graúdo (Figura 11), o diâmetro máximo foi de 19 mm, se classificando como a brita de nº 1, já para o agregado miúdo o módulo de finura foi de 3,53 se caracterizando como areia grossa, com diâmetro máximo de 4,8 mm, as massas específicas e unitárias do cimento, agregados e água utilizados no experimento encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de caracterização para massa específica

Material ensaiado	Resultados	
	Massa unitária (kg/m ³)	Massa específica (kg/m ³)
Cimento Portland	1400	3100
Agregado miúdo (Areia)	1500	2516
Agregado graúdo (Brita)	1600	2512
Água	1000	1000

Fonte: Autor (2021).

Com os materiais devidamente caracterizados, foi possível dosar os traços para as resistências requeridas, aumentando a assertividade dos resultados experimentais.

4.2 Trabalhabilidade no CRFA

Para todas as classes de resistência do concreto a trabalhabilidade diminuiu com o aumento do teor de fibras (Tabela 5), ocasionado pela redução do abatimento nos traços analisados.

Tabela 1 - Slump Test para cada variação na mistura

Classe do concreto	a/c	% fibra de aço	Abatimento (mm)
C15	0,75	0%	238
		5%	230
		10%	218
		20%	206
		30%	190
C20	0,65	0%	162
		5%	160
		10%	142
		20%	129
		30%	109
C30	0,46	0%	63
		5%	56
		10%	60
		20%	55
		30%	40

Fonte: Autor (2021).

Utilizando os valores dos abatimentos obtidos na Tabela 5, para o teor máximo de 30% de fibras como parâmetro e classificando quanto a sua consistência (Quadro 1), é possível determinar a utilização e tipo de lançamento de cada classe de resistência do CRFA. Desta forma, o concreto C15 pode ser bombeado e utilizado para quaisquer elementos estruturais convencionais, já o C20, se limita ao lançamento convencional nos elementos estruturais e os C30 se limita a peças extrudadas, ficando impossibilitado para o uso em elementos estruturais como lajes, vigas e pilares.

Quando o abatimento e a classe de resistência do concreto são relacionados para 0% de fibra na mistura (Tabela 5), é possível observar a inversa proporcionalidade dessas grandezas, quanto maior a classe de resistência, menor a/c. Isso acontece devido a alteração nas proporções dos traços, a relação água/cimento é a medida que mais altera o comportamento do material.

Para os diferentes teores de fibra de aço adicionados na mistura do concreto, observou-se alteração do comportamento do material no estado fresco, quanto a consistência, segregação, coesão e homogeneidade. Na mistura mecânica dos materiais que compuseram os traços para a classe C30 com maiores teores de fibras (20% e 30%) foi verificado a dificuldade desta incorporação, a aglutinação das fibras causadas pela falta de homogeneidade gerou nichos, durante o adensamento do CRFA no corpo de prova, este problema foi causado devida a baixa trabalhabilidade do concreto (Figura 13).

Figura 13 - Aglutinação das fibras de aço no corpo de prova endurecido para os maiores teores de fibra de aço no concreto de classe C30



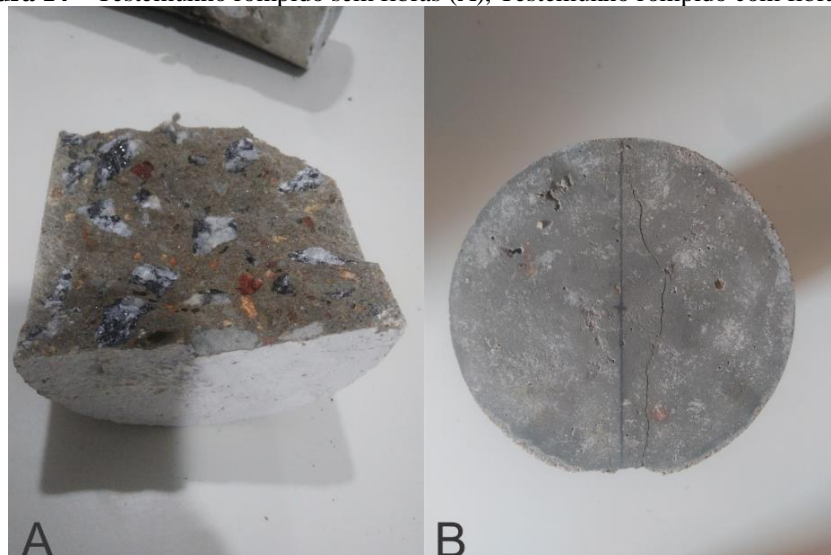
Fonte: Autor (2021).

4.3 Modo de ruptura

Quando os corpos de prova sem o reforço de fibra foram rompidos a compressão diametral correu o particionamento total do corpo de prova (Figura 14-a), em contra partida, o mesmo não aconteceu nos corpos de prova com reforço, já que a ruptura não culminou na divisão do corpo de prova como demonstrado na Figura 14-b.

A duração de tempo entre a pós-fissuração e ruptura do corpo de prova aumentou em todos os traços com adições de fibras, reduzindo a velocidade na propagação de fissuras, e deste modo impedindo o rompimento abrupto do corpo de prova (característica de materiais frágeis), provando assim, mudança no modo de ruptura, como observado por Figueiredo (2011) e Mehta e Monteiro (2008).

Figura 14 – Testemunho rompido sem fibras (A), Testemunho rompido com fibras (B)

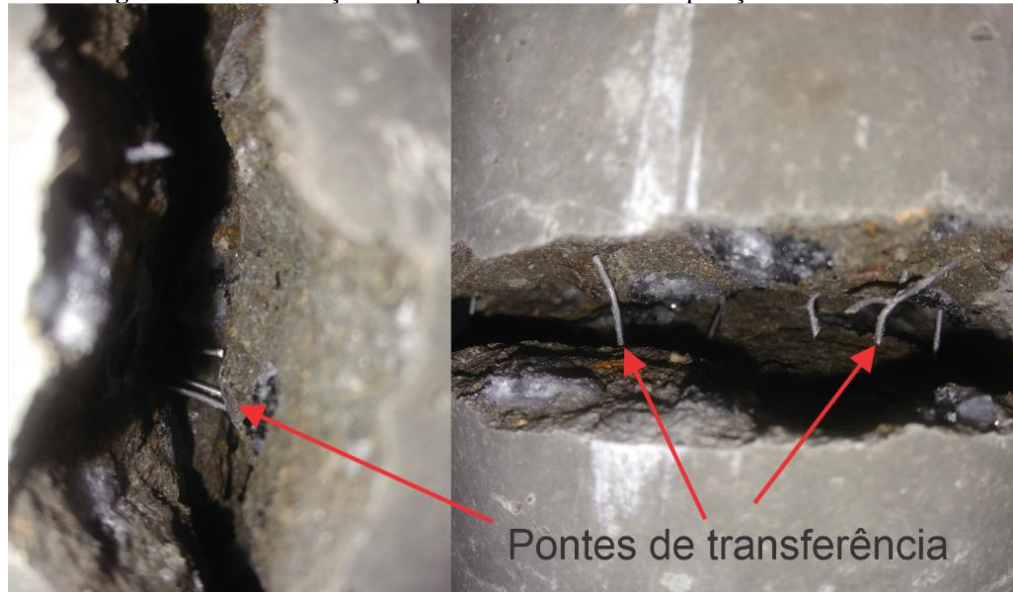


Fonte: Autor (2021).

As “pontes de transferência”, não só propiciaram o direcionamento de tensões de um extremo ao outro da fissura, melhorando o desempenho da matriz cimentícia, mas também conseguiram impedir o estilhaçamento em todos os corpos de prova reforçados, garantindo a integridade geométrica dos elementos mesmo após a ruptura (Figura 15).

Os concretos C15 e C20 com dosagem de 5% e 10% de fibras apresentaram trincas (0,5 mm até 1 mm) e aberturas acima de 1 mm de espessura provocando a separação total entre as partes do corpo de prova como apresentado na Figura 15, já para os teores de 20% e 30% prevaleceu a ocorrência de fissuras (0,05 mm até 0,5 mm), impossibilitando o particionamento total do testemunho.

Figura 15 – Visualização das pontes de transferência e partição do testemunho



Fonte: Autor (2021).

Para a classe C30, com incrementos de 5%, 10%, 20% e 30% de fibras, em sua grande maioria não houve o particionamento total das amostras, mas sim o surgimento de microfissuras que não ultrapassavam 0,05 mm de espessura (Figura 16).

Figura 16 – Surgimento de fissuras em amostras



Fonte: Autor (2021).

4.4 Desempenho Mecânico

Foram obtidos os resultados de resistência a tração indireta por meio da compressão diametral do CRFA, expressos nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 2 - Resultados da compressão diametral para concreto C15

Teor de fibra de aço no corpo de prova (%)	Resultado do ensaio de compressão diametral (MPa)	Média dos resultados de compressão diametral aos 28 dias de cura (MPa)	Desvio padrão (MPa)
0	1,759	1,739	± 0,352
	2,081		
	1,377		
5	2,366	2,217	± 0,144
	2,206		
	2,079		
10	2,567	2,492	± 0,129
	2,343		
	2,567		
20	2,885	2,816	± 0,193
	2,966		
	2,599		
30	2,329	2,362	± 0,285
	2,096		
	2,662		

Fonte: Autor (2021).

Tabela 3 - Resultados da compressão diametral para concreto C20

Teor de fibra de aço no corpo de prova (%)	Resultado do ensaio de compressão diametral (MPa)	Média dos resultados de compressão diametral aos 28 dias de cura (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0	2,066	1,831	± 0,312
	1,950		
	1,477		
5	2,436	2,261	± 0,170
	2,096		
	2,250		
10	2,494	2,606	± 0,116
	2,726		
	2,599		
20	3,708	3,364	± 0,427
	3,498		
	2,885		
30	2,982	2,960	± 0,331
	2,619		
	3,281		

Fonte: Autor (2021).

As Tabelas 6 e 7, apresentaram comportamentos mecânicos semelhantes frente ao ensaio de compressão diametral para classes de resistência características C15 e C20, pois atingiram valores crescentes de resistência a tração indireta até o teor de 20% de adição de fibras, declinando para o teor de 30% de incremento, esta redução foi causada devido ao efeito de aglutinação para teores elevados como observado na Figura 13.

Tabela 4 - Resultados da compressão diametral para concreto C30

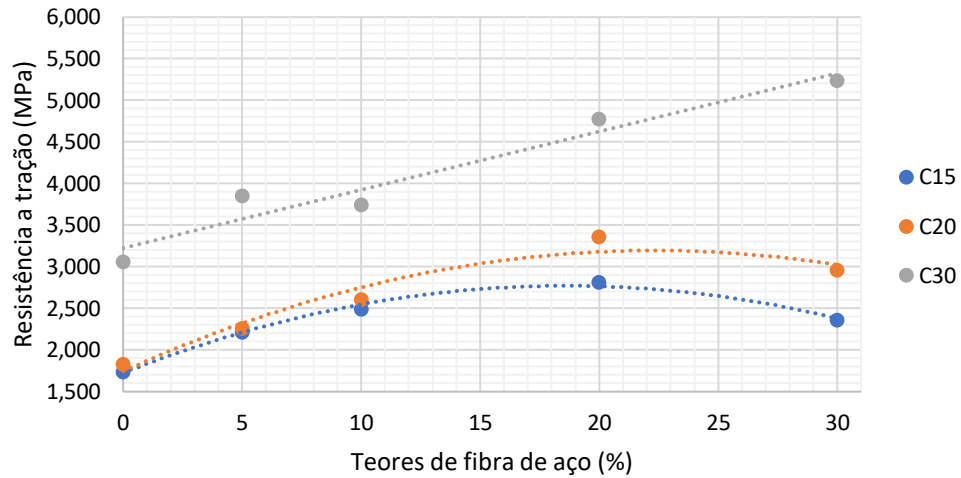
Teor de fibra de aço no corpo de prova (%)	Resultado do ensaio de compressão diametral (MPa)	Média dos resultados de compressão diametral aos 28 dias de cura (MPa)	Desvio Padrão (MPa)
0	3,144	3,060	± 0,313
	3,322		
	2,714		
5	3,551	3,855	± 0,265
	3,983		
	4,031		
10	3,625	3,747	± 0,292
	4,080		
	3,536		
20	4,955	4,773	± 0,635
	5,296		
	4,067		
30	5,066	5,240	± 0,206
	5,186		
	5,468		

Fonte: Autor (2021).

Conforme apresentado na Tabela 8, a classe C30 seguiu aumentando a resistência a tração indireta de maneira linear (Figura 17), diferentemente das outras classes, também foi a que teve os maiores desvios padrões comparando com os concretos de classe C15 e C20, reduzindo a acurácia dos dados.

O consumo de cimento e baixa relação a/c nos traços foi um fator determinante para garantir um bom desempenho do CRFA, o concreto C30 conseguiu adquirir boa aderência entre matriz cimentícia e fibra, como demonstrado no gráfico da Figura 17, pois comparativamente, foi o que demonstrou os melhores resultados em termos de resistência.

Figura 17 - Gráfico de evolução de resistência para os teores de fibras de aço nas três classes de resistência rompidos aos 28 dias de idade



Fonte: Autor (2021).

O ganho de resistência à tração do concreto com fibra em relação ao concreto sem fibras, teve seu melhor desempenho para o teor de 20% de adição de fibras na classe C15, obtendo um ganho de resistência em torno de 61,94%, já a classe C20 com o mesmo percentual de adição de fibras obteve-se 83,69%, e por fim, na classe C30 o melhor percentual de resistência a tração indireta ocorreu para o teor de 30% de adição de fibras de aço, culminando no acréscimo de 71,23% de desempenho mecânico conforme indicado na Tabela 9.

Tabela 5 - Ganho de resistência em relação ao concreto sem fibras

Teores de fibras (%)	Ganho de resistência por classe de resistência		
	C15	C20	C30
5	27,48%	23,46%	25,97%
10	43,31%	42,34%	22,45%
20	61,94%	83,69%	55,97%
30	35,83%	61,67%	71,23%

Fonte: Autor (2021).

5 CONCLUSÃO

Os esclarecimentos dos dados amostrais possibilitaram uma análise na influência da incorporação das fibras de aço no concreto convencional em diferentes porcentagens, desde sua produção no estado fresco até o estado endurecido do CRFA, verificando a resistência à tração, trabalhabilidade e comparando a matriz reforçada com a sem reforço. Foi possível constatar a dificuldade na incorporação das fibras in loco, entretanto, é evidente que a adição causou benefícios ao desempenho mecânico, mudança no modo de falha e aumento na capacidade de absorção de tensões no momento pós-fissuração.

O CRFA apresentou reduções bruscas na fissuração inicial e propagação das fissuras nos corpos de prova, as fibras de aço foram capazes de impedir o particionamento dos testemunhos, reduzir o estilhaçamento e provocar o aumento da resistência na ruptura por tração indireta. Deste modo, provocou a diminuição da fragilidade do concreto quanto à tração, modificando significativamente seu comportamento, de um material frágil para um material pseudo-ductil.

No concreto armado comum, as armaduras são dispostas em posições convenientes para resistir aos esforços de tração. De modo similar, a eficiência das fibras no concreto seria maior se elas ficarem alinhadas no sentido longitudinal do elemento solicitado. Contudo, o alinhamento de fibras curtas é difícil e, na prática, as fibras incorporadas ao concreto ficam descontínuas, com pequeno espaçamento e distribuídas aleatoriamente no maciço. Isso resulta que as fibras são muito efetivas no controle da fissuração e propagação das fissuras, causando um aumento na capacidade do elemento estrutural de absorver e redistribuir os esforços.

O incremento de fibras de aço no concreto aumentou o desempenho da matriz a tração indireta em todos os teores de incorporação se comparado a matriz sem reforço, o concreto de classe C20 com 20% de adição de fibras obteve o melhor desempenho a tração indireta entre todos os traços analisados, cerca de 83,69% em comparação ao corpo de prova referência, se tornando em termos de resistência o melhor traço do trabalho.

A queda na trabalhabilidade nos CRFA analisados resultou na limitação quanto ao uso estrutural e restringiu o tipo de lançamento a ser utilizado em cada traço, o concreto de classe C30 foi o que apresentou maiores limitações quanto ao uso e lançamento, já que o Slump Test variando entre 63 mm e 40 mm reduziu sua aplicabilidade em obras convencionais, visto que para estes tipos de obras é necessário um material bastante trabalhável, dito isto, em contra partida, o de classe C15 deteve de plasticidade elevada no estado fresco, com abatimento acima de 160 mm, adquirindo propriedades ideais para aplicação para vários tipos de elementos estruturais.

Diversos fatores alteram as propriedades do CRFA, como o método de mistura, o adensamento a ser utilizado e os materiais empregados no traço, entretanto, a configuração do CRFA ideal depende prioritariamente do uso, da resistência requerida em projeto e trabalhabilidade desejada do material. O trabalho abordou os principais pontos acerca da análise da influência das fibras de aço no concreto de Cimento Portland, propiciando auxílio na tomada de decisão para técnicos da área da engenharia civil.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.4R-18: **Guide to design with Fiber-Reinforced Concret**. United States: American Concrete Institute, 2018.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 544.1R-96: **State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete**. United States: American Concrete Institute, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: Copyright, 2017.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 Agregados para concreto – Especificação**, Rio de Janeiro, 2009.

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

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

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

ARAÚJO, José Milton de. **CURSO DE CONCRETO ARMADO**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. 1 v.

BRITISH ADOPTION OF A EUROPEAN. **BS EN 14889-1 - Fibres for concrete. Steel fibres. Definitions, specifications and conformity**, Luxemburgo, 2006.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

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

OUYANG, C.; MARIKUNTE, S.; YANG, W.; ALDEA, C. SHAH, S. P; **Control of Cracking with Shrinkage-Reducing Admixtures**. *Transportation Research Record*, n. 1574, pp. 25-36, 1994.

PEREIRA, Eric Vallotti. **Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis**. 2017. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Puc - Rio, Rio de Janeiro, 2017.

PILZ, Silvio Edmundo. **PRODUÇÃO DE CONCRETO: verificação da viabilidade à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de chapecó**. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFRS, Porto Alegre, 2006.

SCOARIS, M.R., BARBOSA, M.P., PINTO JR., N.O; **Avaliação da resistência e rigidez de concretos reforçados com fibras submetidas à cura térmica pelo método da maturidade**, e-Mat – *Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil*, vol. 2, pp. 127-141, novembro, 2005.

ŠVEC, O. et al. **Influence of formwork surface on the orientation of steel fibres within self compacting concrete and on the mechanical properties of cast structural elements.** Cement & Concrete Composites, p. 60-72, Setembro 2013.

THOMAZ, E.C.S., **Concreto reforçado com fibras – mito e realidade**, Notas de aula, Instituto Militar de Engenharia (IME). pp. 1-13. Rio de Janeiro, 2002.

YOO, D. Y.; BANTHIA N. **Mechanical and structural behaviors of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete subjected to impact and blast.** Construction and Building Materials, v. 149, pp 416-431, 2017.

AGRADECIMENTOS

Ao meu bom Deus, em que durante toda essa jornada me munuiu de proteção e sabedoria, podendo assim concluir o curso com orgulho do caminho percorrido.

A minha mãe, Iris Martins do Nascimento, que com seu infinito amor trabalhou arduamente para ser o alicerce de meus estudos, abdicando de uma vida mais confortável para tornar a minha caminhada mais suave, para você todo o meu amor.

Ao meu pai, Tomaz de Pontes Bernardino, pelo seu esforço, por sempre acreditar na minha capacidade e por ser minha referência profissional.

Aos meus irmãos, Wellem Martins do Nascimento Pontes e Welligton Martins do Nascimento Pontes, pelos sacrifícios que fizeram e pelas decisões que tiveram que tomar durante minha ausência, essa conquista é para vocês.

Ao meu amigo, Philipe dos Santos Lima (*in memoriam*), que com um sorriso no rosto afirmava que eu seria Engenheiro Civil; esta memória foi um dos motivos para eu nunca desistisse durante a graduação. Minha eterna gratidão e saudades.

Ao meu amigo, Adriano Filho (*in memoriam*), que almejava se tornar Engenheiro Civil; o seu sonho se tornou o meu sonho, dedico a ti essa conquista, festeje do céu. Minha eterna gratidão e saudades.

As minhas amigas de curso conquistados em Araruna, Débora Emmanuele e Maria Soares, pelos momentos de alegria e tristeza vividos durante a graduação, tornando os momentos difíceis em situações leves e agradáveis. Vocês fazem parte da minha família.

Aos meus colegas de turma, especialmente a Jeferson Nunes e Matteus Medeiros que foram fieis aliados na graduação e na vida pessoal, tornando os virotes e dificuldades de cursos em bons momentos, dos quais, daremos boas risadas das lembranças vividas.

A Pilares (a melhor Empresa Júnior da Paraíba) e a todos os amigos lá formados, que durante 3 anos foi minha fonte de renovação e inspiração, contribuindo para meu crescimento profissional e pessoal. Uma vez Pilarete, sempre Pilarete.

A todos os familiares e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

Ao meu orientador, Rômulo Thomaz de Figueiredo Borja, pela colaboração na execução deste trabalho e empenho na transmissão de conhecimentos durante as aulas.

A todos os colaboradores da UEPB, professores, laboratoristas, secretários, bibliotecários, faxineiros e demais profissionais envolvidos, que participam dessa excelente equipe no Campus VIII.