

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE SISAL

Igor Yuji Yamamoto Silva

Presidente Prudente, SP

2020

**CENTRO UNIVERSITÁRIO
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO DE PRESIDENTE PRUDENTE**

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE SISAL

Igor Yuji Yamamoto Silva

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial de Conclusão do Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis.

Presidente Prudente, SP
2020

CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE SISAL

Trabalho de Curso apresentado
como requisito parcial para
obtenção do Grau de Bacharel
em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Elton Aparecido Prado dos Reis
Orientador

Prof. Felipe Pires Chaves
Examinador

Prof. Me. Alonso Droppa Junior
Examinador

Presidente Prudente, 2020.

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, contudo ele apresenta algumas limitações que necessitam de atenção para que haja uma melhoria do material, sendo algumas dessas limitações à retração e a baixa resistência à tração. Contudo para que haja uma melhoria nesses pontos este trabalho propõe a adição de fibra de sisal, que é uma fibra natural, não muito aplicada no mercado da construção civil, que apresenta baixo custo, e características mecânicas interessantes. Pretende-se com a aliança do concreto e a fibra de sisal obter uma melhoria no controle da retração do concreto e também obter um ganho na resistência à tração.

Palavras Chaves: Concreto. Fibra de sisal. Retração. Resistência. Tração.

ABSTRACT

Concrete is one of the most used materials in the world, however it has some limitations that need attention in order to improve the material, with some of these limitations being retraction and low tensile strength. However, in order to improve these points, this work proposes the addition of sisal fiber, which is a natural fiber, not widely applied in the civil construction market, which has low cost and interesting mechanical characteristics. It is intended with the alliance of concrete and sisal fiber to obtain an improvement in the control of concrete shrinkage and also to obtain a gain in tensile strength.

Keywords: Concrete. Sisal fiber. Retraction. Resistance. Traction.

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR - Normas Brasileiras

A/C – Fator água cimento

μm – micrômetro

mm – milímetros

cm – centímetros

m – metros

m^2 - metro quadrado

m^3 - metros cúbicos

mL – mililitros

g – gramas

Kg - Quilograma

CPs – Corpos de Prova

$^{\circ}\text{C}$ – Graus Celsius

σ - Tensão normal média

P – Força

A – Área

d – Diâmetro

N – Newtons

kN - Quilo Newtons

MPa – Mega Pascal

$f_{ct,f}$ – Tração por compressão diametral

F_{ck} - Resistência Característica do Concreto

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema de concentração de tensão em concreto sem reforço de fibras.	14
Figura 2 - Esquema de concentração de tensão em concreto com reforço de fibras.	15
Figura 3-Classificação das Fibras - (Fonte: Picanço, 2005).....	16
Figura 4 - Planta Sisal. Fonte: < https://www.cosibra.com.br/blog_ver.php?id=7 >. ...	17
Figura 5 - Viga de concreto: a) sem armadura e b) com armadura.....	19
Figura 6 - Secagem da Fibra de Sisal. Fonte:< http://g1.globo.com/bahia/noticia/2014/12/motor-de-sisal-da-decada-de-40-resiste-na-ba-mutilados-passam-de-dois-mil.html >.....	21
Figura 7-Concreto sem fibras. Fonte: Autor, 2020.	25
Figura 8 - Concreto com fibras. Fonte: Autor, 2020.	25
Figura 9 - Forma do Corpo de prova cilíndrico. Fonte: Autor, 2020	26
Figura 10 - Forma dos copos de prova prismáticos. Fonte: Autor, 2020.....	27
Figura 11 - Haste para o adensamento. Fonte: Autor, 2020	27
Figura 12 - Armazenamento dos corpos de provas. Fonte: Autor, 2020.	28
Figura 13 - Corpos de provas desmoldados e identificados. Fonte: Autor, 2020.	29
Figura 14- Corpos de provas desmoldados e identificados. Fonte: Autor, 2020.	29
Figura 15 - Corpos de provas submersos. Fonte: Autor, 2020.....	30
Figura 16- Disposição dos Corpos de Provas. Fonte: Autor, 2020.....	33
Figura 17- Ensaio dos Corpos de provas (0% de fibra de sisal). Fonte: Autor, 2020	34
Figura 18 - comportamento da adição de fibras nos corpos de provas submetidos à compressão. Fonte: Autor, 2020.	36
Figura 19 – Esboços de ruptura. Fonte: ABNT – NBR – 5739, 2018.	36
Figura 20 - Ruptura colunar. Fonte: Autor, 2020	37
Figura 21 - Ruptura de cisalhamento. Fonte: Autor, 2020.....	37
Figura 22 - Ruptura cônica e cisalhada. Fonte: Autor, 2020.	38
Figura 23 - Ensaio de compressão diametral. Fonte: Autor, 2020.	38
Figura 24 - Rompimento do corpo de prova. Fonte: Autor, 2020.	39
Figura 25- comportamento da adição de fibras nos corpos de provas submetidos à compressão diametral. Fonte: Autor, 2020.	41

Figura 26 - Comparação das resistências à compressão diametral. Fonte: Autor, 2020.	41
Figura 27 - Marcação dos Corpos de Prova. Fonte: Autor, 2020	42
Figura 28 - Ensaio dos corpos de prova prismáticos. Fonte: Autor, 2020.	43
Figura 29 - Ensaio de flexão sem fibra incorporada. Fonte: Autor, 2020.	43
Figura 30 - Ensaio de flexão sem fibra incorporada. Fonte: Autor, 2020.	44
Figura 31 - Ensaio de flexão com 0,5% de fibra de sisal incorporada. Fonte: Autor, 2020.	44
Figura 32 - Ensaio de flexão com 0,5% de fibra de sisal incorporada. Fonte: Autor, 2020.	45
Figura 33 - Ensaio de flexão com 1,5 % de fibra de sisal incorporada. Fonte: Autor, 2020.	45
Figura 34 - Atuação das fibras. Autor, 2020.	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Relação proporcional dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova cilíndrico.	24
TABELA 2- Relação proporcional dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova prismáticos.....	25
TABELA 3 - Resultados dos ensaios de compressão axial.....	34
TABELA 4- Resultado dos cálculos das tensões normais.....	35
TABELA 5- Resultados do ensaio de resistência à compressão diametral.....	39
TABELA 6 - Resultados das tensões de compressão diametral.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 - Concreto	18
2.2 – Fibras de Sisal	20
2.3 – Patologias do concreto.....	21
3. METODOLOGIA.....	23
3.1 - Materiais a Serem Utilizados	23
3.2 - Preparações dos Corpos de Prova	23
3.3 – Ensaio de Compressão Axial	30
3.4 - Ensaio de Resistência à Tração Obtida Por Compressão Diametral.....	31
3.5 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em Corpos de Prova Prismáticos	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1- Ensaio de Compressão Axial	33
4.2 – Ensaio de Resistência à Tração Obtida por Compressão Diametral.....	38
4.3 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em Corpos de Prova Prismáticos	42
5. CONCLUSÃO.....	47
6. REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

Desde o início das civilizações primitivas, o homem já necessitava de se abrigar, contudo utilizavam os materiais assim como os encontravam, *in natura*, não os processava. Não demorou muito tempo para que começassem a aprender a modelar e adaptar de acordo com sua necessidade. BAUER, (2019, p.2).

A evolução de novos materiais se deu a passos lentos, pois não se conheciam as propriedades, e não tinham o domínio das características nem os benefícios que estes materiais poderiam trazer. Eram quase sempre os mesmos materiais utilizados sendo eles as pedras, o barro e a madeira, pois já conheciam as características e propriedades destes materiais, entretanto havia outros materiais que eram utilizados com baixa frequência, sendo eles os couros e as fibras vegetais. BAUER, (2019, p.2).

Com o passar do tempo os padrões das construções elevaram, aumentando o porte delas, requerendo uma melhor aparência e necessitando de um tempo de execução menor. Diante da evolução exigiu-se dos materiais maior resistência, durabilidade. BAUER, (2019, p.2).

É possível notar essa evolução no desenvolvimento de cada civilização, pois em cada uma há monumentos que marcaram a história, por exemplo, as pirâmides egípcias, os aquedutos e o coliseu romano, e o Partenon, localizado na Grécia. KAEFER,(1998, p.7).

De acordo com Bauer, (2019, p.2), um exemplo dessa evolução dos materiais é o concreto, pois se necessitava de um material de fácil execução e modelagem com uma boa trabalhabilidade, remetendo ao barro, e resistente, como a pedra, daí surgiu o concreto.

É muito comum à confusão da definição do concreto com o cimento, por conta disso faz-se necessário a distinção entre eles. Segundo Callister, William D., (1940, p.539) o termo concreto é: “um material compósito que consiste em um agregado de partículas ligadas umas as outras em um corpo sólido por algum tipo de ligação, ou seja, um cimento ”.

Os cimentos são materiais que quando são misturados com água formam uma pasta, que pega e endurecem, respectivamente. Os cimentos pertencem ao grupo das cerâmicas, contudo os cimentos inorgânicos, mais

encontrados no mercado são: cimento, gesso e cal, no qual a produção é realizada em larga escala. CALLISTER, WILLIAN D. (1940, p. 433).

De acordo com Kaefer (1998, p. 7), encontraram-se vestígios de materiais aglomerantes nas pirâmides egípcias, onde eles utilizaram a mistura de areia de gipsita juntamente com a cal que quando em contato com a água endurece. Pode-se dizer que esta mistura foi um início para o desenvolvimento cimento.

Ainda tratando-se do cimento, na Grécia encontram-se as areias vulcânicas, que quando adicionado água endureciam, em comparação com as pirâmides egípcias é um material um pouco melhor, pois o material utilizado nas pirâmides era algo parecido com o gesso que se conhece hoje, portanto após o endurecimento em contato com a água essa pasta se dissolvia. KAEFER, (1998, p.9).

Ainda abordando a temática do cimento, em Roma encontra-se uma mistura mais parecida com o concreto que se é empregado hoje. Eles utilizavam em suas misturas pedaços de telhas, cinzas vulcânicas, areia e calcário calcinado. Segundo Kaefer (1998, p.11), a pozolana de Pozzuoli, Itália, localizada próxima ao Monte Vesúvio foi empregada nas argamassas utilizadas para a construção de aquedutos, coliseu entre outros. O relato de Plínio retrata que a argamassa utilizada tinha a proporção de 1:4 de cal e areia, já Vitruvius mostra uma argamassa de proporção 1:2 sendo cal e pozolana respectivamente. Também foram utilizados como aditivos gorduras de animais, leite e sangue para incorporar ar à mistura. Segundo Souza, (2020) os romanos sentiram a necessidade de incrementar um material no concreto que diminuísse a retração, feito a análise com vários materiais, tais como, fibras vegetais, crina de cavalo o que apresentou o melhor resultado para evitar a retração foi à crina de cavalo.

Tratando-se dos tempos atuais, sabe-se que das normativas que regulamentam a qualidade do concreto segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 12665 de 2015 define concreto como a mistura homogênea de cimento, agregados miúdos e graúdos e água, com ou sem incorporação de componentes minoritários, tais como aditivos químicos, fibras, retardadores de pega, entre outros; que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

O concreto é um importante material para a construção civil, por conta da sua facilidade de ser fabricado no local e também por endurecer em temperatura

ambiente, até mesmo quando está submerso em água. Contudo segundo Callister, William D., (1940, p.540), “como a maioria dos cerâmicos, o concreto de cimento Portland é relativamente pouco resistente e extremamente frágil; seu limite de resistência à tração é aproximadamente 10 a 15 vezes menor que sua resistência a compressão”.

Segundo Neville, (2016, p. 305 e 306) uma das prováveis causas do concreto ter baixa resistência à tração se dá ao fato de que a pasta de cimento hidratada apresenta descontinuidades tais como, poros, microfissuras e vazios. Os vazios em si não são considerados falhas, entretanto as fissuras nos cristais individuais podem estar ligadas aos vazios ou também ser causadas pela retração ou pela má aderência dos materiais.

Como já foi dito anteriormente o concreto não é um material com boa resistência à tração, o que justifica este fato é que quando o mesmo é submetido à tração as fissuras que vão surgindo proporcionam uma barreira à propagação das tensões de tração, que estão representadas em cinza na figura 1, as fissuras provocam a concentração de tensão em sua extremidade, entretanto se esta tensão supera a tensão crítica do material proporciona a ruptura abrupta do material. FIGUEIREDO (2011, p.29).

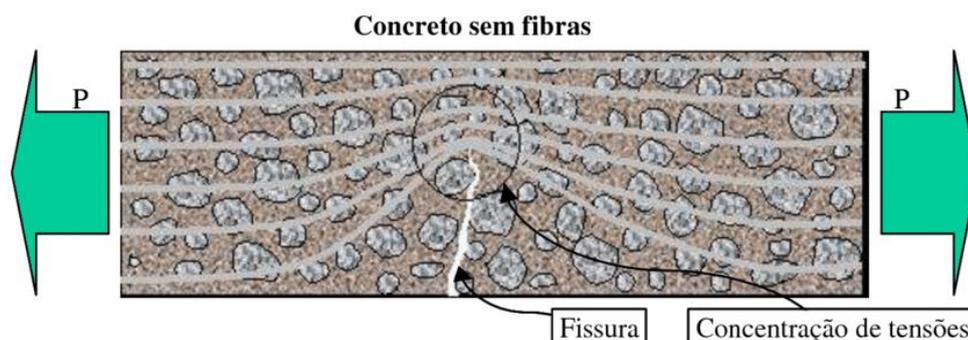


Figura 1- Esquema de concentração de tensão em concreto sem reforço de fibras.

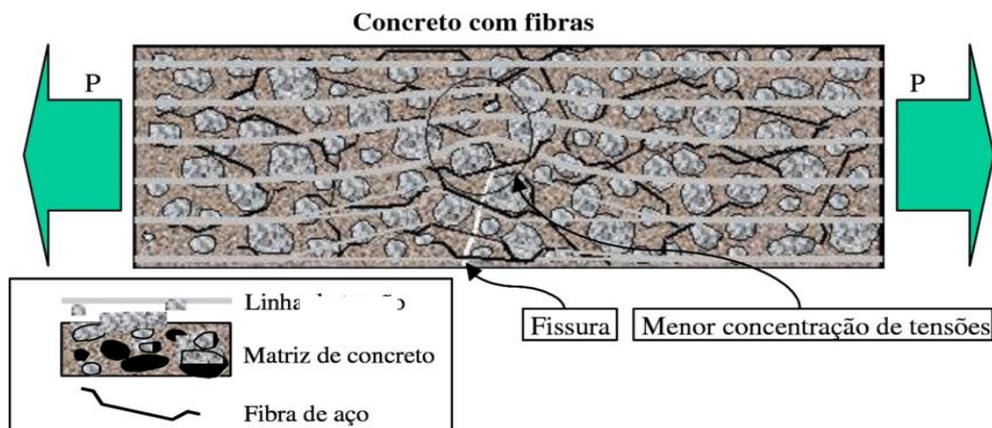


Figura 2 - Esquema de concentração de tensão em concreto com reforço de fibras.

Tendo em vista a problemática das microfissuras e vazios presentes no concreto uma das medidas que podem ser adotada para a minimização destas restrições é a adição de fibras, segundo Neville, Brooks (2013, p.401 e 402) “os objetivos do reforço da matriz cimentícia com fibras é o retardo da propagação de fissuras e pelo aumento da tenacidade pela transmissão de tensões através de uma seção fissurada”, como mostra a figura 2, por conta disso é possível concluir que a deformação do concreto sem fibra é maior após a tensão de pico comparado com o concreto reforçado com fibra.

Segundo Figueiredo (2011, p.9) “as fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que as dimensões da seção transversal”. As fibras podem ser classificadas em dois grandes grupos, sendo eles as fibras artificiais e as fibras naturais.

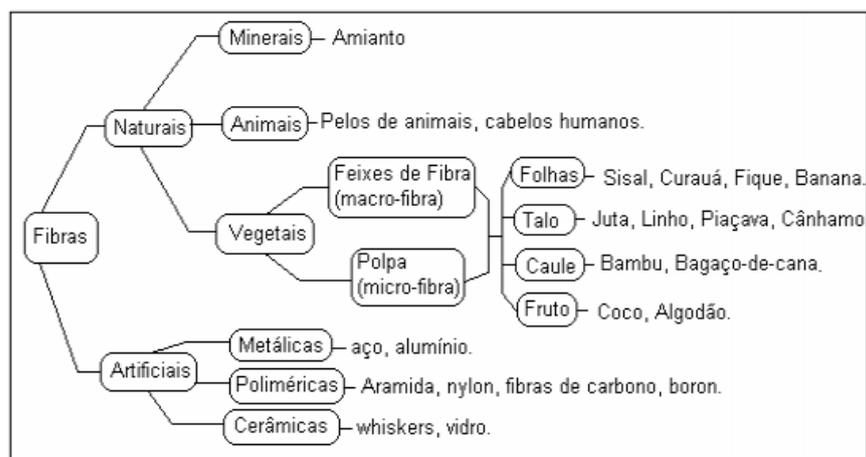


Figura 3-Classificação das Fibras - (Fonte: Picanço, 2005)

As fibras artificiais são aquelas obtidas através de tratamentos industriais, sendo as mais utilizadas no concreto, as de polipropileno, vidro, nylon, aço, poliéster, entre tantas outras. Já as fibras naturais são aquelas obtidas através de produtos naturais, tais como a cana, o coco, bambu, banana, sisal entre outros. GONÇALVES, LIMA, RODRIGUES, (2019).

Tratando-se de fibras para reforço do concreto, Figueiredo (2011, p.9) chama de maneira genérica de macro fibras as fibras destinadas a reforço estrutural, as mais utilizadas são as de aço e as poliméricas, já as fibras que não tem como objetivo o reforço do concreto, visa à diminuição da retração, utilizam-se as microfibras sendo elas poliméricas em geral e as naturais, dentre as fibras naturais destaca-se a fibra de sisal.

A fibra de sisal é uma das fibras mais utilizadas na produção têxtil do país, também bastante empregada na produção de artesanatos e elementos decorativos. Esta fibra vegetal tem uma composição interessante, pois possuem uma resistência elevada ao impacto, além de moderada resistência á tração e em flexão, quando se compara com outras fibras vegetais. JOSEPH, MEDEIROS e CARVALHO, (1999, p.136).

Segundo Pereira, Oliveira, Machado e Monteiro (1999, p.4484) “o sisal é uma planta perene, herbácea, quase acaule, semi-xerófita, nativa de regiões semiáridas”. De acordo com Junior, (2006, p.30) “em relação à denominação botânica, o sisal pertence à classe Monocotiledônea, série Liliflorea, família *Agavaceae*, subfamília *Agavoidea*, gênero *Agave*, espécie *Agave sisalana*”.



Figura 4 - Planta Sisal. Fonte: <https://www.cosibra.com.br/blog_ver.php?id=7>.

O sisal é um produto muito versátil no mercado. Atualmente estão sendo aplicadas na indústria de papel, na construção civil, sendo utilizado como reforço nas argamassas e no concreto, na indústria têxtil, na indústria automobilística, utilizado como reforço nas fibras poliméricas, no artesanato e entre outras atividades. PEREIRA, OLIVEIRA, MACHADO E MONTEIRO, (2016, p.4485) apud OLIVEIRA (2004).

Avaliando esta versatilidade no aspecto econômico é uma fibra em que é viável sua aplicação, pois o cultivo desta planta não exige muito investimento, além de não necessitar de mão de obra especializada, conseqüentemente barateia o custo da produção. A inserção desta fibra no mercado da construção civil será ótima, pois comparando os custos à fibra sintética apresenta um custo mais elevado que a fibra natural, por necessitar de um processo industrial para chegar ao produto final. Já a fibra natural não necessita deste processo é necessário apenas um tratamento para a inserção nos compósitos.

O presente trabalho visa à incorporação das fibras de sisal na mistura do concreto, o intuito deste estudo é tentar diminuir a retração do concreto visto que a partir desse fenômeno é possível que surjam patologias graves que conseqüentemente podem comprometer a função do concreto para o qual foi projetado e conseqüentemente haja um ganho na resistência a tração do mesmo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os conceitos e aspectos teóricos relevantes para discussão e compreensão da temática proposta, com o intuito de proporcionar uma melhor compreensão do trabalho.

2.1 - Concreto

De acordo com o que já foi abordado anteriormente, o concreto veio sofrendo um processo evolutivo até chegar ao que se conhece hoje. Segundo Clímaco, (2016, p.17) algumas características do concreto simples como material estrutural são:

- Boa resistência à compressão;
- Baixa resistência à tração (em geral 1/5 a 1/15 da resistência a compressão);
- Facilidades na moldagem e no transporte;
- Durabilidade elevada

Chegou um período que apenas o concreto simples não estava suprimindo as necessidades das edificações, de acordo com Clímaco, (2016, p.17) “era necessário encontrar uma solução para a sua resistência limitada à tração, particularmente nas peças submetidas à flexão”. É neste momento que surge o concreto armado, pois havia a necessidade de um material estrutural que simulasse a pedra artificial (concreto) e um componente com resistência a tração satisfatória (armadura). CLÍMACO, (2016, p.17).

De acordo com Bastos, (2019, p.1) o concreto armado é a aliança das qualidades do concreto com as do aço, sendo elas: ductilidade e excelente resistência à tração. O trabalho em conjunto de ambos os materiais fica bem caracterizado na comparação de uma viga simples de concreto sem armadura (figura 4 a) e outra com armadura (figura 4b) as duas submetidas à flexão.

Admitindo que as forças aplicadas aumentem gradativamente de zero até o ponto de ruptura, logo se concluiu que a viga sem armadura se rompe bruscamente no início da primeira fissura, pois não há um meio de propagar as tensões de tração para o restante da viga, isso acontece quando a tensão de tração, atuante no esforço de flexão, alcança a resistência do concreto à tração. BASTOS (2019, p.2).

Analisando agora a viga de concreto com armadura, tem-se a capacidade resistente a flexão aumentada significativamente, por conta da armadura

presente no concreto, sendo a armadura um caminho para a propagação das tensões de tração.

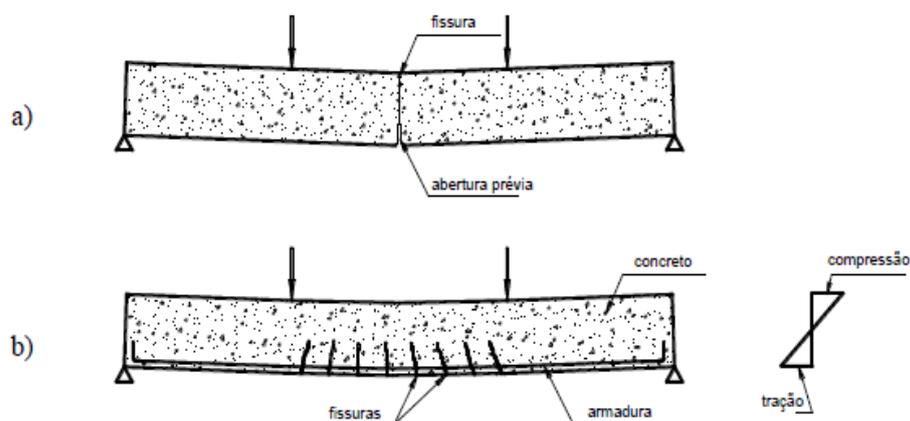


Figura 5 - Viga de concreto: a) sem armadura e b) com armadura.

A ABNT – NBR 6118 – 2020 define elementos de concreto armado como “aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

Um aspecto importante que deve ser considerado para a existência do concreto armado é a necessidade da aderência entre o aço e o concreto, de forma que ambos trabalhem solidariamente. BASTOS, (2019, p.2).

De acordo com Clímaco, (2016, p.21) o que garante a existência do concreto armado é não haver o deslizamento ou escorregamento de ambos materiais quando a peça é solicitada. Logo, “a solidariedade é uma condição básica para que o conjunto se comporte como uma peça monolítica, ou seja, é indispensável à aderência eficiente entre os materiais”.

Além da aplicação do aço nas estruturas de concreto armado, podem ser aplicados outros materiais com resistência suficiente à tração, como as fibras sintéticas e naturais, destacando-se o sisal e o bambu, estas fibras tem sido objeto de pesquisa como armaduras ou até mesmo como reforço. CLÍMACO, (2016, p.18).

2.2 – Fibras de Sisal

De acordo com Neville, (p.401,2016) apud ACI 544.1R-96 (Reapproved 2002), o concreto reforçado com fibras tem como composição para a sua produção o cimento hidráulico, os agregados miúdos ou miúdos e graúdos e as fibras, podendo ser de origem natural como o asbesto, sisal, celulose; ou obtidas por produtos industrializados como o vidro, aço, carbono e polímeros.

Segundo Neville, (p.401,2016):

[...] os objetivos do reforço da matriz cimentícia com fibras são o aumento da resistência à tração pelo retardo da propagação de fissuras pelo aumento da tenacidade pela transmissão de tensões através de uma seção fissurada, de modo que seja possível uma deformação muito maior após a tensão de pico do que sem reforço com fibras [...].

Alguns aspectos que levam a fibra de sisal a ser incorporada no concreto é um material de baixo custo de produção e que ajuda no controle da retração plástica e previne o aparecimento de fissuras que decorrem da fase de endurecimento. Resende, (2003, p.13).

O baixo custo da produção da fibra de sisal se dá pelo fácil processo de produção que, resumidamente, segundo Sartori, (2017, p.15) é “compreendida pelo desfibramento, lavagem, secagem, batimento, prensagem e enfardamento do material”.

Segundo Pereira, Oliveira, Machado, Monteiro, (2016, p.4489-4491) após a colheita do sisal inicia-se o processo de desfibramento, que consiste na retirada da polpa, por meio da raspagem mecânica das folhas separando assim o material fibroso. Terminado o desfibramento as fibras passam por um processo de limpeza, onde elas são levadas para um reservatório com água, onde permanecem submersas por um período de 8 a 12 horas. Após lavagem as mesmas são encaminhadas para a secagem, onde são penduradas em varais expostos ao sol em um período de 8 a 10 horas.

Como foi citada anteriormente, a obtenção das fibras de sisal não são obtidas em um ambiente controlado como as fibras sintéticas, elas ainda são fabricadas de modo primitivo sem nenhuma técnica ou tecnologia que agregue ao processo. Por conta destes fatos as fibras de sisal apresentam grande variabilidade em suas propriedades mecânicas. PIKANÇO, (2005, p.21-22).



Figura 6 - Secagem da Fibra de Sisal.

Fonte: <<http://g1.globo.com/bahia/noticia/2014/12/motor-de-sisal-da-decada-de-40-resiste-na-ba-mutilados-passam-de-dois-mil.html>>

Segundo Sartori, (2017, p.17) a presença de microfibrilas e os ângulos de orientação são algumas das explicações das propriedades mecânicas da fibra de sisal. Ainda “o potencial de resistência à tração das fibras é dito pela proporção de celulose e lignina que a mesma possui”.

De acordo com os resultados elevados de resistência à tração das fibras de sisal é um excelente material para ser empregada em reforço em estruturas, polímeros, resina e entre outros. SARTORI, (2017, p.17).

Ainda segundo Sartori, (2017, p.17) apud Savastano Junior (1992),

[...] a água presente nos vazios da argamassa ou compósitos de cimento Portland, denominada de água de capilaridade, possui elevada alcalinidade, levando a uma dissolução dos componentes responsáveis pela resistência das fibras, a celulose e a lignina. A elevada alcalinidade descrita anteriormente deve-se aos produtos de hidratação do cimento, conhecidos como silicato hidratado de cálcio (CSH)[...].

Tendo em vista as propriedades mecânicas da fibra de sisal, além de sua leveza, possui um baixo custo de produção, levando em consideração a produção dos outros tipos de fibras sintetizadas pelo homem, logo, é um material com grande valor a ser explorado. SARTORI, (2017, p.18).

2.3 – Patologias do concreto

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, principalmente no Brasil, entretanto é necessário tomar algumas medidas preventivas para que não ocorram alguns tipos de patologias, dentre as quais se destaca a retração do concreto.

Segundo o Bekaert (2018), retração pode ser definida como a diminuição do volume do concreto em consequência da perda de água contida no seu interior. É um processo geralmente natural, lento e gradual, mas que à medida que o tempo passa pode se agravar até o ponto em que não se possa mais intervir.

Segundo Bastos (2019, p.5), as retrações são classificadas como plásticas, químicas, hidráulicas e por carbonatação. Tratando-se das retrações plásticas elas ocorrem por conta da perda de água na superfície do concreto, quando ele se encontra no estado plástico, ou ainda quando há a redução do volume do concreto fresco, por conta da secagem rápida do concreto fresco, quando a taxa de perda de água da superfície excede a taxa disponível de água exsudada. As retrações químicas decorrem do fato das reações de hidratação do cimento ocorrem com diminuição do volume. De acordo com Amaral, (2011, p.26-27) a retração hidráulica se dá pela redução do volume por conta da secagem do elemento de concreto. Os fatores que levam a decorrência desta patologia são o tamanho e o formato do elemento; deve ser levada em conta em elementos de espessuras baixas, pois sua magnitude é relevante. A retração por carbonatação, este tipo de retração não ocorre com muita intensidade e se restringe basicamente ao período de cura do concreto, entretanto isso acontece quando os componentes secundários do cimento reagem com o gás carbônico presente na atmosfera, acarretando a diminuição do volume do concreto.

De acordo com Bastos (2019, p.27), os fatores que mais interferem na retração são: a composição química do cimento, pois os cimentos mais resistentes e os de endurecimento mais rápido causam maior retração; a quantidade de cimento, já que quanto maior a quantidade de cimento, maior será a retração; a água de amassamento, por conta do fator água/cimento, quanto maior for maior será a retração; a umidade do ambiente, caso haja o aumento da temperatura, aumentara a retração; por fim a espessura dos elementos, pois a retração aumenta com a diminuição da espessura do elemento, por ser maior a superfície de contato com o ambiente comparando com o volume da peça, permite maior evaporação.

De acordo com Callister, William D., (1940, p. 540), a maioria destas patologias podem ser eliminadas ou pelo menos melhoradas com o incremento de reforços ou pela incorporação de aditivos tais como a fibra. Segundo Figueiredo, (2011, p.29-30) quando são adicionadas fibras de resistência e módulo de elasticidade adequada e num teor apropriado, o concreto deixa apresentar

características frágeis, passando a ter um comportamento pseudo-dúctil ou não frágil, isso ocorre, pois as fibras servem como ponte de transferência de tensão pelas fissuras, logo as transferências de tensões realizadas pelas fissuras serão minimizadas e por conta das fibras a velocidade de propagação das fissuras será reduzida. Em concretos que não contém fibras em sua composição as fissuras se propagam rapidamente, caso o carregamento continue, acarreta a ruptura do elemento.

A fibra natural apresenta algumas características interessantes para ser incorporada no concreto, sendo elas, segundo Borges, (2017 apud Levy Neto; Pardini, 2006, p.34), a baixa massa específica, a reduzida abrasividade e a maciez, por conta de serem fibras naturais são biodegradáveis, não são tóxicos e são recicláveis, apresentam um baixo custo, e um baixo consumo energético em sua produção.

3. METODOLOGIA

3.1 - Materiais a Serem Utilizados

Para a fabricação dos corpos de prova utilizou-se os seguintes materiais: a areia média, areia fina, brita 1, cimento Portland CP II – E e água, os quais foram doados pelo Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente, SP. As fibras Sisal, cujo diâmetro são de aproximadamente 465 μ m e um comprimento de 10 centímetros, foram obtido comercialmente.

3.2 - Preparações dos Corpos de Prova

O Preparo dos corpos de prova seguiram as diretrizes da ABNT – NBR 5738 – 2015, no estudo foram utilizados dois modelos de corpos de prova sendo eles os cilíndricos cujo diâmetro é de 10 cm e o comprimento de 20 cm, para a realização dos ensaios de compressão e de resistência à tração por compressão diametral, já corpo prismático (4,0 X 4,0 X 16,0) cm foi utilizado no ensaio de resistência à tração na flexão em quatro pontos.

O volume de concreto produzido para a confecção dos corpos de provas cilíndricos e prismáticos foi de aproximadamente 0,040 m³ de concreto, confeccionados manualmente. Utilizou-se a unidade de medida m³, pois se torna

mais claro o entendimento das quantidades necessárias de cada material a ser utilizado. O traço utilizado foi em massa seguiu as seguintes proporções, 350: 824: 595: 397, para um concreto de fck 20 MPa, tendo como unidade de medida kg para a confecção de 1m³, sendo os valores apresentados correspondentes a ; cimento, areia grossa, areia fina e brita 1, respectivamente, o cimento utilizado foi o CP II – E-32 da marca Votoran. O fator a/c é de 0,58; utilizando-se 203 kg de água para cada m³ de concreto. Este traço foi cedido pela construtora MRV Engenharia, este concreto é utilizado nas paredes de concreto de seus edifícios.

A partir do traço de referência foram acrescentadas as fibras de Sisal nas quais as proporções foram de 0,5%; 1,0% e 1,5% vale ressaltar que esta proporção se da tomando-se como referência pelo volume de concreto.

Na tabela 1 estão apresentados os valores das quantidades de materiais vinculadas as amostra, para a confecção de 12 corpos de prova cilíndricos, onde foram utilizados nos ensaios de compressão axial e ensaio de resistência à tração obtida por compressão diametral. No entanto foram necessários 24 CPs cilíndricos para a realização dos ensaios, logo as quantidades presentes na tabela 1 foram confeccionadas duas vezes.

TABELA 1- Relação proporcional dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova cilíndrico.

QUANTITATIVO DE MATERIAL NAS AMOSTRAS DE CONCRETO CP CILÍNDRICO				
Materiais	Traço (A) (Kg) 0,0%	Traço (B) (Kg) 0,5 %	Traço (C) (Kg) 1,0%	Traço (D)(Kg) 1,5%
Cimento	2,87	2,87	2,87	2,87
Areia Grossa	6,75	6,75	6,75	6,75
Areia Fina	4,88	4,88	4,88	4,88
Brita 1	3,25	3,25	3,25	3,25
Água	1,66	1,66	1,66	1,66
Fibra de Sisal	0,00	0,02	0,05	0,07

Fonte: Autor, 2020.

Para fins da confiabilidade dos resultados dos ensaios, todas as amostras foram produzidas em triplicatas, como são dois ensaios a serem realizados utilizam os corpos de provas cilíndricos, foram necessários 6 corpos de prova por traço.

Na tabela 2 estão apresentados os valores das quantidades de materiais vinculadas às amostras, para a confecção de 12 corpos de provas prismáticos, onde foi utilizada no ensaio de resistência a tração na flexão em corpos de provas prismáticos.

TABELA 2- Relação proporcional dos materiais utilizados para a confecção dos corpos de prova prismáticos.

QUANTITATIVO DE MATERIAL NAS AMOSTRAS DE CONCRETO CP PRISMÁTICO				
Materiais	Traço (A) (Kg) 0,0%	Traço (B) (Kg) 0,5 %	Traço (C) (Kg) 1,0%	Traço (D) (Kg) 1,5%
Cimento	0,26	0,26	0,26	0,26
Areia Grossa	0,62	0,62	0,62	0,62
Areia Fina	0,45	0,45	0,45	0,45
Brita 1	0,3	0,3	0,3	0,3
Água	0,15	0,15	0,15	0,15
Fibra de Sisal	0,00	0,005	0,01	0,015

Fonte: Autor, 2020.

Com o quantitativo de materiais a serem utilizados definidos, iniciou-se a pesagem dos mesmos. A balança utilizada é da marca Shimadzu cuja capacidade é de 3200g. Os materiais foram depositados em um béquer de capacidade 2000 mL da marca Nalgon, entretanto antes de colocá-lo na balança o béquer foi pesado individualmente para desconsiderar o peso próprio do recipiente, a tara, para não influenciar na pesagem dos materiais. Como a capacidade da balança é baixa para as proporções do estudo, para os CPs Cilíndricos, foi necessário pesar os materiais em proporções menores até atingir a massa necessária de acordo com a tabela 1.



Figura 7-Concreto sem fibras. Fonte: Autor, 2020.



Figura 8 - Concreto com fibras. Fonte: Autor, 2020.

Com a pesagem concluída iniciou-se a confecção do concreto. Em um carrinho de mão foram depositados materiais anteriormente pesados, com o auxílio de uma enxada os materiais foram misturados até ficarem homogêneos. Após a homogeneização adicionou-se água gradativamente até a mistura ficar com um aspecto trabalhável, sendo que a quantidade máxima adicionada à mistura estava dentro do fator a/c proposto.

Após o preparo da matéria prima, iniciou-se a modelagem dos corpos de prova, para isso utilizou-se a normativa ABNT – NBR 5738 – 2015 que relata que antes do concreto ser colocado no molde é necessário que o mesmo esteja revestido com óleo mineral ou produto similar, no caso foi utilizado o desmoldante líquido a base vegetal, como mostra a imagem abaixo.



Figura 9 - Forma do Corpo de prova cilíndrico. Fonte: Autor, 2020



Figura 10 - Forma dos copos de prova prismáticos. Fonte: Autor, 2020

O molde encontra-se em uma superfície plana, rígida e livre de perturbações, por conta que estes fatores podem alterar a forma e as propriedades do concreto durante a sua modelagem e início de pega.

Com o molde em um ambiente adequado será colocado o concreto nos moldes, entretanto é necessário realizar o adensamento do concreto que segundo a ABNT – NBR 5738 – 2015 deve ser utilizada uma haste de aço cilíndrica com superfície lisa, cujo diâmetro pode variar de 14,0 a 18,0 mm e o comprimento de 600 mm a 800 mm, com um ou ambos as pontas em forma semiesférica, como mostra a imagem abaixo.



Figura 11 - Haste para o adensamento. Fonte: Autor, 2020

Ainda na mesma normativa retrata que de acordo com as dimensões dos corpos de prova é definido o número de camadas a serem colocadas nos moldes e o número de golpes necessário, já que o adensamento será feito manualmente.

Realizado a modelagem dos corpos de prova inicia-se o processo de cura, neste início os mesmos devem estar armazenados em um ambiente protegido de intempéries, cobertos com material não reativo e não absorvente, visando à perda de água do concreto, estas condições devem ser mantidas pelo menos nas primeiras 24 horas, para corpos de provas cilíndricos e 48 horas para corpos de provas prismáticos.



Figura 12 - Armazenamento dos corpos de provas. Fonte: Autor, 2020.

Para os corpos de prova cilíndricos, após as 24 horas, os mesmos foram identificados e submersos, até o momento do ensaio, em uma solução saturada de hidróxido de cálcio a uma temperatura média de 23°C, os corpos prismáticos foram colocados na mesma solução, entretanto 48 horas após a sua modelagem.

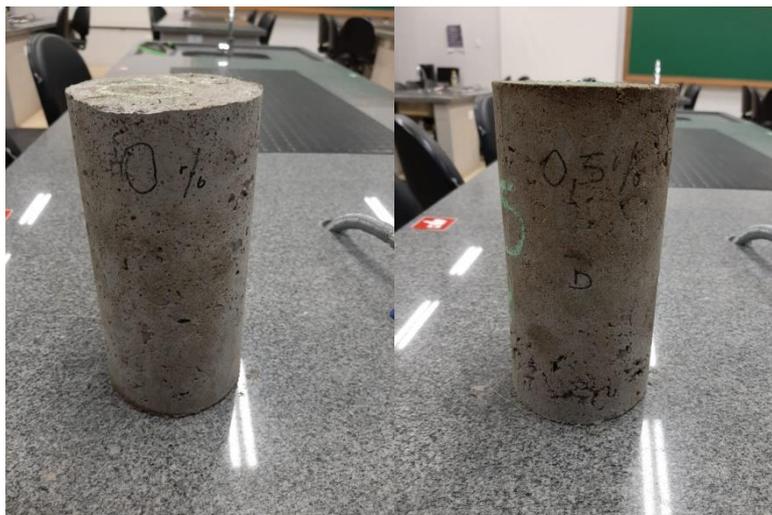


Figura 13 - Corpos de provas desmoldados e identificados.
Fonte: Autor, 2020.

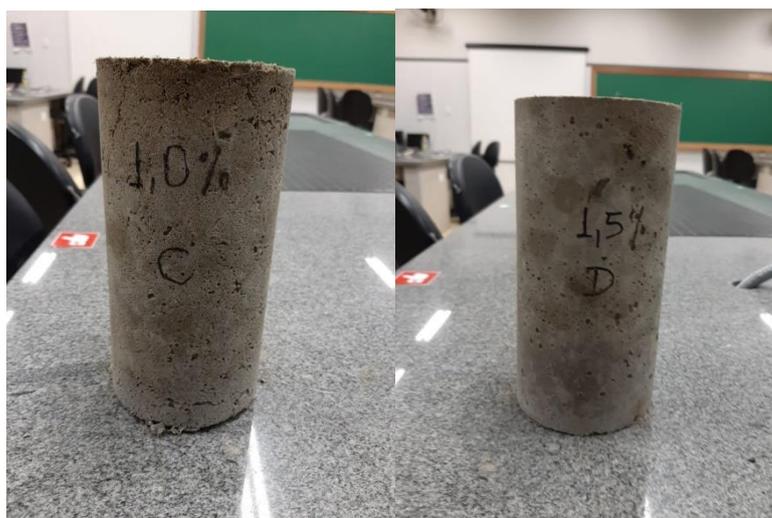


Figura 14- Corpos de provas desmoldados e identificados.
Fonte: Autor, 2020.



Figura 15 - Corpos de provas submersos. Fonte: Autor, 2020.

3.3 – Ensaio de Compressão Axial

O ensaio de compressão axial seguiu as recomendações da ABNT – NBR – 5739, 2018, a medição das forças foi realizada por equipamento digital, cujo modelo é da fabricante INSTRON/EMIC, modelo EMIC 23-100, eletromecânica com microprocessador, o equipamento é parte integrante do Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente.

Para a obtenção da resistência a compressão axial do corpo de prova utilizou-se a expressão

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Equação 1.0

Onde, de acordo com Hibbeler, (2010, p. 16) a σ é a tensão normal média na seção transversal. P será a força que o maquinário aplicará no corpo de prova expresso em Newtons. E por fim A será a área da seção transversal. Se tratando de um corpo cilíndrico para a obtenção da área utiliza-se a expressão

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Equação 1.2

Onde d é o diâmetro da seção transversal. Logo a tensão normal poderá ser obtida através da expressão

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2}$$

Equação 1.2

3.4 - Ensaio de Resistência à Tração Obtida Por Compressão Diametral

Para o ensaio de resistência a tração obtida por compressão diametral foi utilizado o mesmo equipamento utilizado no ensaio de compressão axial, entretanto em vez de utilizar pratos redondos serão utilizados os pratos retangulares.

A ABNT – NBR – 7222, 2011 recomenda que entre os pratos haja duas chapas de madeira que conterà o mesmo comprimento do corpo de prova. Antes de iniciar o ensaio o corpo de prova será ajustado, logo será aplicada uma carga de compressão capaz de posicioná-lo e mantê-lo imóvel. Após o posicionamento inicia-se a aplicação da compressão.

Para obter o resultado da tração por compressão diametral utiliza-se a expressão

$$f_{t,D} = \frac{2F}{\pi dL}$$

Equação 2.0

Onde

$f_{t,D}$ - É a resistência a tração por compressão diametral, expressa em

Mpa

F - Carga obtida no ensaio de compressão, expressa em kN

d - É o diâmetro do corpo de prova, expresso em mm

L – É a altura do corpo de prova, expresso em mm

3.5 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em Corpos de Prova Prismáticos

Para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão em três pontos foram utilizadas as diretrizes da ABNT – NBR 12142, 2010 e a ABNT NBR 13279, 2005. O equipamento utilizado será a máquina universal de ensaio EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, de marca INSTRON/EMIC, o equipamento é parte integrante do Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente.

Recomenda-se que na face de arasamento, tanto na face superior quanto na inferior, trace linhas tendo em vista a facilitação da centralização do corpo de prova no dispositivo de carregamento.

Terminado o ensaio, mediu-se o corpo de prova em sua seção de ruptura, isto é feito para determinar a largura e a altura média, utiliza-se a precisão de 1mm, logo o resultado destas medidas são resultantes da média de três determinações.

Para a obtenção da resistência a tração na flexão é utilizada a seguinte expressão

$$f_{ct,f} = \frac{F\ell}{bd^2}$$

Equação 3.1

Onde

$f_{ct,f}$ – É a resistência à tração na flexão, expressa em MPa

F – é a força máxima expressa atingida pela máquina, expressa em N

ℓ - é a dimensão do vão entre os apoios, expresso em mm

b – é a largura média do corpo de prova, expresso em mm

d – é a altura média do corpo de prova, expresso em mm.

Entretanto há uma ressalva, caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância inferior a 5% de ℓ , a expressão utilizada muda, logo:

$$f_{ct,f} = \frac{3Fa}{bd^2}$$

Equação 3.2

Onde

$f_{ct,f}$ – é a resistência à tração na flexão, expressa em MPa

F – é a força máxima expressa atingida pela máquina, expressa em N

ℓ - é a dimensão do vão entre os apoios, expresso em mm

b – é a largura média do corpo de prova, expresso em mm

d – é a altura média do corpo de prova, expresso em mm

a – é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, expresso em mm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos após a cura dos corpos de provas em 14 dias, pois é a idade intermediária de cura do concreto. O intuito de ensaiar os CPs com essa idade é verificar a influência das fibras na propriedade do material, contudo para trabalhos futuros poderá ser feito o estudo aos 28 dias já que os CPs se encontraram no estado total de cura, obtendo assim a resistência máxima do concreto.

4.1- Ensaios de Compressão Axial

Para a realização do ensaio os corpos foram retirados 20 horas antes do rompimento. De acordo com a ABNT – NBR – 5739: 2018 os corpos de provas com idade de 28 dias devem ser retirados da água \pm 20 horas antes, entretanto os ensaios foram realizados com 14 dias e a norma não traz uma diretriz para o tempo de secagem, logo se seguiu a orientação mais próxima sendo a secagem durando 20 horas.

Os corpos de provas foram organizados de acordo com os teores de fibras nas amostras, como mostra a imagem abaixo.



Figura 16- Disposição dos Corpos de Provas. Fonte: Autor, 2020.

Primeiramente foram os corpos de provas sem adição de fibras (0%), após foram os corpos de provas com 0,5% de fibra de sisal incorporada ao concreto e assim sucessivamente até chegar ao teor de 1,5% de fibra incorporada ao concreto. Na tabela 3 encontram-se os resultados obtidos no ensaio.



Figura 17- Ensaio dos Corpos de provas (0% de fibra de sisal).
Fonte: Autor, 2020

TABELA 3 - Resultados dos ensaios de compressão axial.

Resistência a Compressão (kN)				
Amostras	0%	0,50%	1,00%	1,50%
1	55,11	40,33	50,65	62,88
2	81,43	60,71	62,36	69,02
3	53,51	49,84	52,05	37,63
Média	63,35	50,29	55,02	56,51

Fonte: Autor, 2020.

Com os resultados da carga que os corpos de provas suportaram e com a área da face dos mesmos é possível calcular a tensão média. O resultado da área é de $7,85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$. Logo os valores das tensões estão evidenciados na tabela 4.

TABELA 4- Resultado dos cálculos das tensões normais

Resistência a Compressão (MPa)				
Amostras	0%	0,50%	1,00%	1,50%
1	7,02	5,13	6,45	8,01
2	10,37	7,73	7,94	8,79
3	6,81	6,35	6,63	4,79
Média	8,07	6,40	7,01	7,20

Fonte: Autor, 2020

De acordo com os resultados médios apresentados na tabela 4, identificou-se que a adição de fibra de sisal no concreto, não é um dos materiais mais indicados, pois houve uma diminuição da resistência à compressão do concreto. Isso pode ter ocorrido, pois com a adição das fibras a interação entre os aglomerantes foram afetadas, implicando na resistência a compressão do concreto.

Entretanto com a fibra incorporada no concreto à resistência à compressão diminuiu, porém se levar em consideração apenas os teores de 0,5%; 1,0% e 1,5% nota-se que houve uma crescente na resistência do concreto, como mostra o gráfico 1, isso pode estar aliado com uma boa dispersão das fibras ou talvez uma boa interação entre os aglomerantes e os demais agregados, refletindo assim num aumento de propriedade mecânica, sendo que em um estudo futuro com outros percentuais de fibra poderá verificar se o percentual utilizado é um ponto de percolação ou se haveria aumento da propriedade o que justificaria análise realizada.

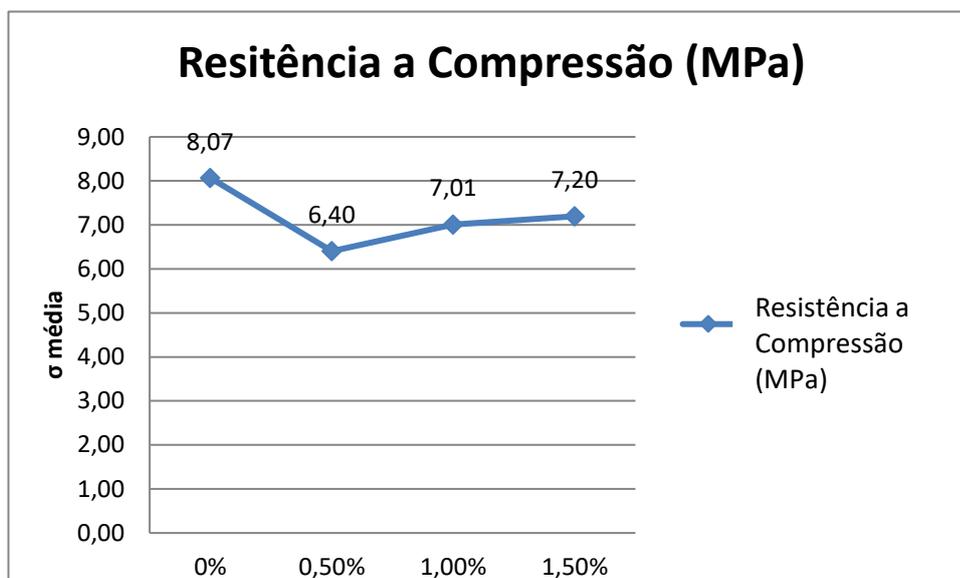


Figura 18 - comportamento da adição de fibras nos corpos de provas submetidos à compressão. Fonte: Autor, 2020.

Segundo a ABNT – NBR – 5739: 2018, os corpos de provas ensaiados esboçam alguns tipos de rupturas como mostra a figura 16 abaixo.

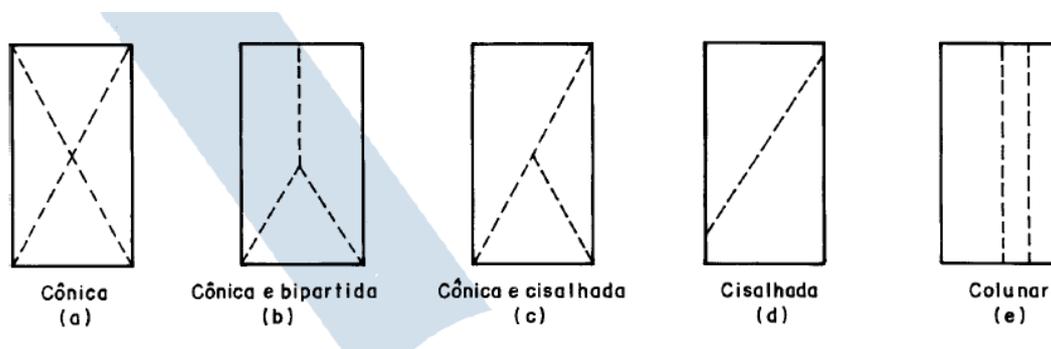


Figura 19 – Esboços de ruptura. Fonte: ABNT – NBR – 5739, 2018.

Depois de realizado os ensaios observaram-se os tipos de fissuras que surgiram após os CPs serem submetidos ao carregamento. Entretanto destacam-se dois tipos de ruptura, sendo elas a colunar e a cisalhada.

Segundo Resende, (2016) as rupturas colunares são as mais raras, entretanto fissuras assim indicam que pode haver uma pequena influência da preparação de topo do corpo de prova no resultado.



Figura 20 - Ruptura colunar. Fonte: Autor, 2020

Ainda de acordo com Resende, (2016) as rupturas de cisalhamento são as mais confiáveis, pois o cisalhamento ocorre sempre em planos inclinados em relação à força cortante atuante, por conta disso a linha de fratura se encontra na diagonal do corpo de prova.

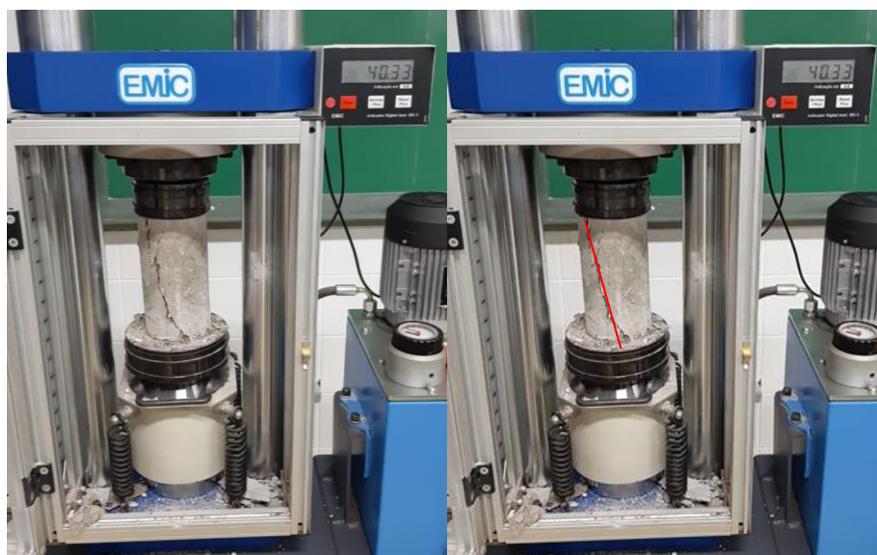


Figura 21 - Ruptura de cisalhamento. Fonte: Autor, 2020.



Figura 22 - Ruptura cônica e cisalhada. Fonte: Autor, 2020.

4.2 – Ensaios de Resistência à Tração Obtida por Compressão Diametral

Este ensaio também seguiu as orientações da ABNT – NBR – 5739: 2007, em relação ao tempo de secagem, que no caso foram de ± 20 horas, como foram os corpos de provas submetidos ao ensaio de compressão axial.

Passadas às 20 horas iniciou-se o ensaio dos corpos de provas. Diferentemente dos corpos de provas submetidos à compressão axial, os corpos de provas são colocados horizontalmente para a realização dos ensaios. Os ensaios foram realizados de forma crescente, em relação ao teor de fibra presente em cada traço.



Figura 23 - Ensaio de compressão diametral. Fonte: Autor, 2020.

As cargas obtidas nos ensaios estão apresentadas na tabela 5, os valores estão expressos em Kn.

TABELA 5- Resultados do ensaio de resistência à compressão diametral.

Resistência à compressão Diametral (Kn)				
Amostras	0%	0,50%	1,00%	1,50%
1	32,00	28,30	32,30	38,60
2	24,40	23,90	40,50	28,40
3	33,50	35,60	25,10	25,00
Média	29,94	29,22	32,65	30,67

Fonte: Autor, 2020.



Figura 24 - Rompimento do corpo de prova. Fonte: Autor, 2020.

Após obter os resultados, calculou-se a resistência a tração por compressão diametral ($f_{ct,f}$), conforme as orientações da ABNT – NBR – 7222, 2011. Os resultados estão expressos na tabela 6.

TABELA 6 - Resultados das tensões de compressão diametral.

Resistência à compressão Diametral (MPa)				
Amostras	0%	0,50%	1,00%	1,50%
1	1,02	0,90	1,03	1,23
2	0,78	0,76	1,29	0,90
3	1,07	1,13	0,80	0,80
Média	0,95	0,93	1,04	0,98

Fonte: Autor, 2020.

Analisando a tabela 6 com os valores da $f_{ct,f}$, tem-se que o comportamento da fibra de sisal incorporada no concreto foi positivo em dois traços, sendo eles o traço C (1,0%) e o traço D (1,5%), porém se comparar o traço B (0,5%) com a amostra sem fibra, traço A (0,0%), conclui-se que houve uma diminuição na resistência a tração, contudo a diferença é muito baixa de apenas 0,02Mpa. Assim como no ensaio de compressão axial houve uma diminuição da resistência com o teor de 0,5% de fibra incorporada, entretanto houve um aumento da resistência nos demais percentuais, isso confirma o que já foi observado pelas técnicas anteriores, justificando assim a busca, em um estudo futuro, por um estado de percolação para um estudo da influência da fibra no material.

Também os resultados mostram que o teor ideal de fibra incorporada no concreto é em torno de 1,0%, pois além deste valor a resistência à tração do concreto diminui, porém a resistência ainda é maior que o traço A, sem incorporação de fibras, como mostra a figura 23.

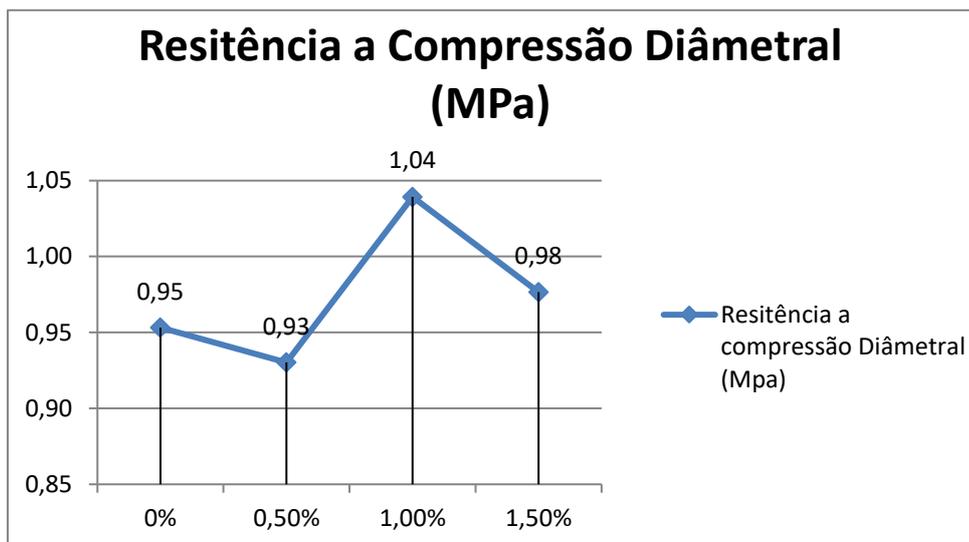


Figura 25- comportamento da adição de fibras nos corpos de provas submetidos à compressão diâmetral. Fonte: Autor, 2020.

De acordo com a figura 24, observa-se que a discrepância entre os valores das amostras podem ter influenciado no resultado, pois pelo menos um dos valores obtidos se sobressai da amostra, isso mostra que pode ter havido alguma alteração na hora da confecção. Uma das possibilidades é deficiência na mistura dos materiais para a confecção do concreto, já que o mesmo foi confeccionado a mão, sem o auxílio da betoneira. Outro ponto podem ser as fibras, pois pode ser que a quantidade de fibras variou de um corpo de prova para outro.

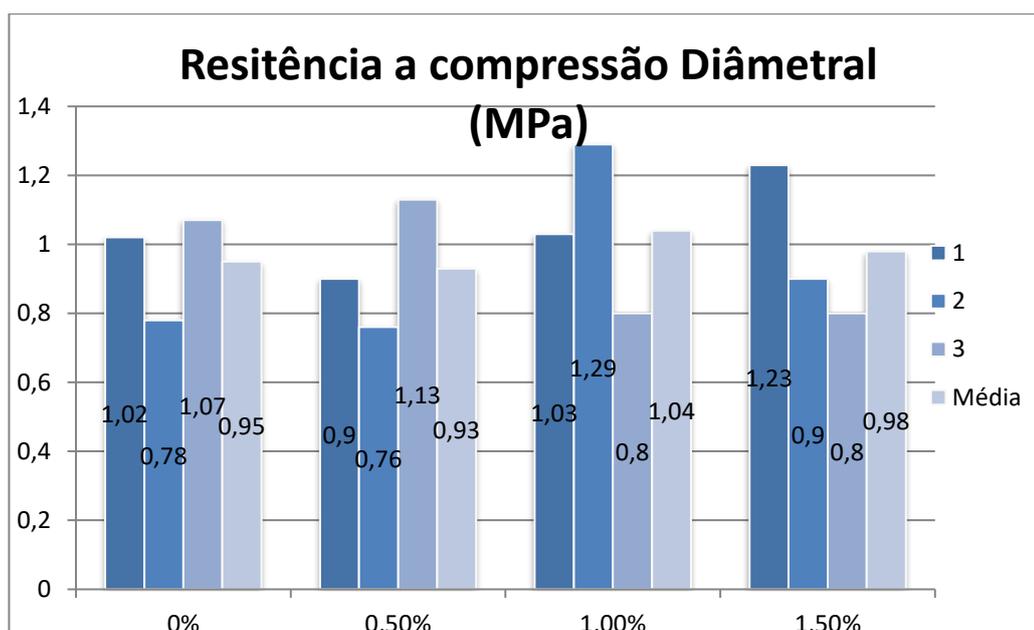


Figura 26 - Comparação das resistências à compressão diâmetral. Fonte: Autor, 2020.

4.3 – Ensaio de Resistência à Tração na Flexão em Corpos de Prova Prismáticos

Este ensaio foi realizado seguindo as diretrizes da NBR 12142 – 2010 e a ABNT NBR 13279, 2015. Os corpos de provas foram retirados da solução de hidróxido de cálcio 24 horas antes do ensaio. Para a realização do mesmo foi utilizada a máquina universal de ensaio EMIC 23-100, eletromecânica, microprocessada, de marca INSTRON/EMIC pertencente ao Laboratório de Materiais de Construção do Centro Universitário Antônio Eufrásio de Toledo de Presidente Prudente.

Com o equipamento pronto iniciou-se o ensaio de resistência à tração nos corpos de provas prismáticos, primeiramente foram ensaiados os corpos de prova sem incorporação de fibras, o ensaio seguiu em ordem crescente de acordo com o teor de fibra incorporada. Com o auxílio de uma régua milimetrada foi traçada uma linha no centro dos corpos de prova antes dos mesmos serem ensaiados.



Figura 27 - Marcação dos Corpos de Prova. Fonte: Autor, 2020



Figura 28 - Ensaio dos corpos de prova prismáticos. Fonte: Autor, 2020.

Terminado o ensaio a própria prensa apresenta os resultados tabelados e os gráficos de comportamento das tensões aplicadas. Abaixo seguem os gráficos e planilhas dos resultados obtidos.

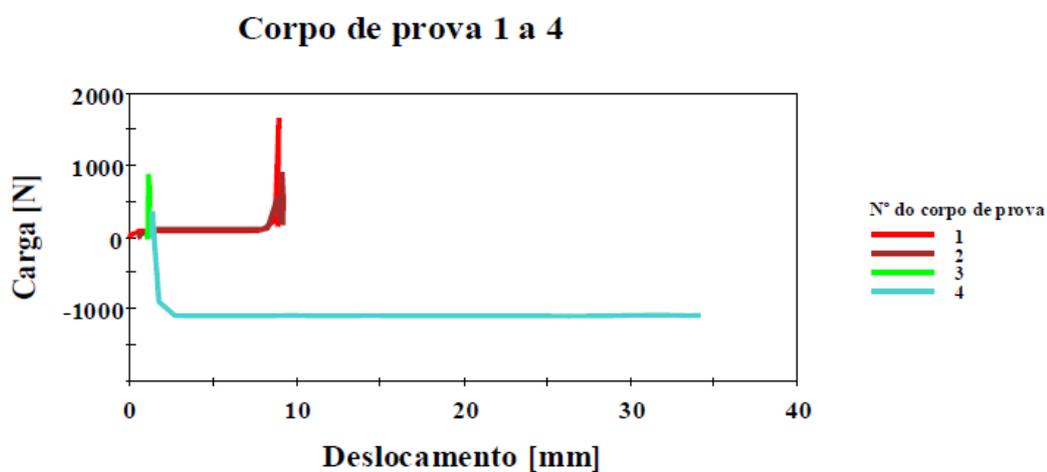


Figura 29 - Ensaio de flexão sem fibra incorporada. Fonte: Autor, 2020.

Corpo de prova 5 a 5

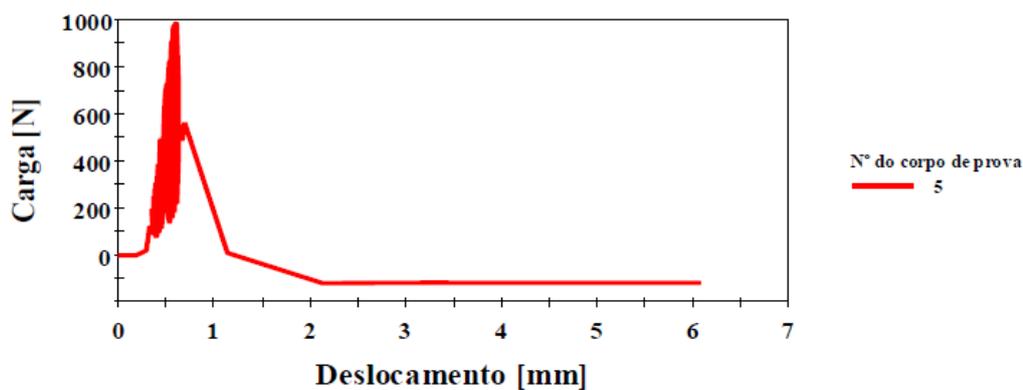


Figura 30 - Ensaio de flexão sem fibra incorporada. Fonte: Autor, 2020.

Corpo de prova 1 a 3

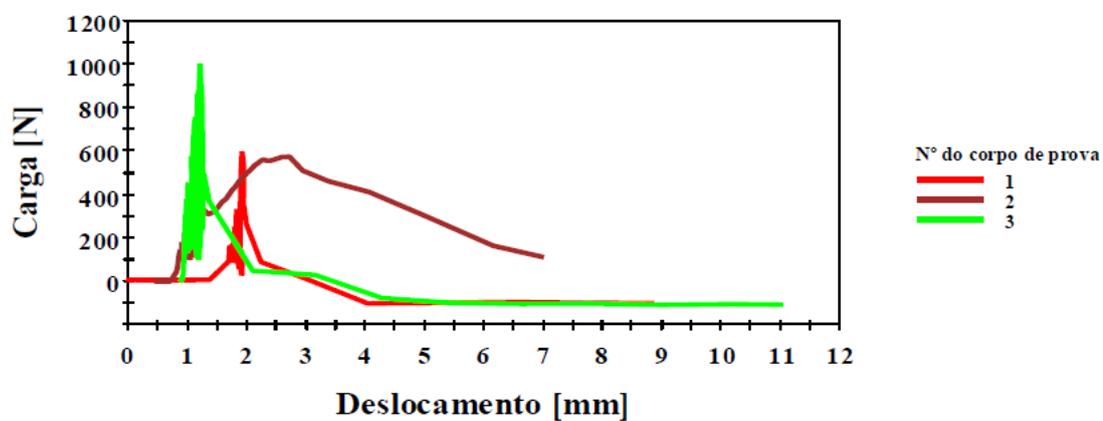


Figura 31 - Ensaio de flexão com 0,5% de fibra de sisal incorporada. Fonte: Autor, 2020.

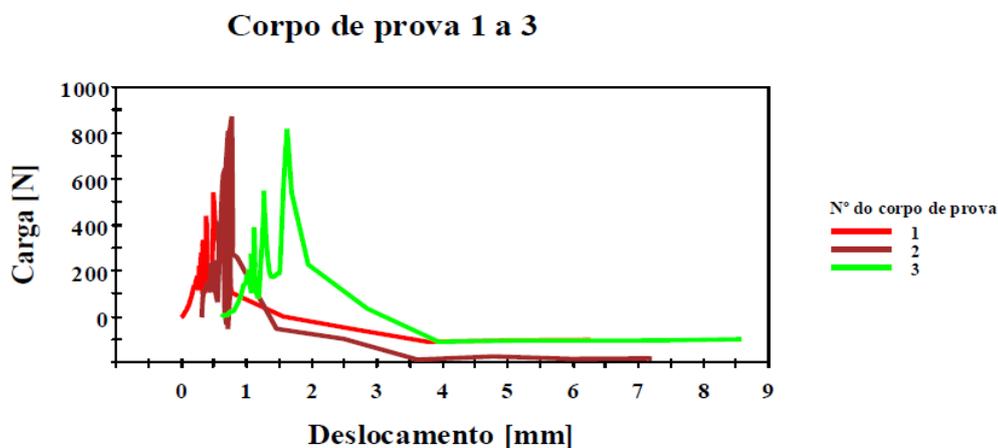


Figura 32 - Ensaio de flexão com 0,5% de fibra de sisal incorporada. Fonte: Autor, 2020.

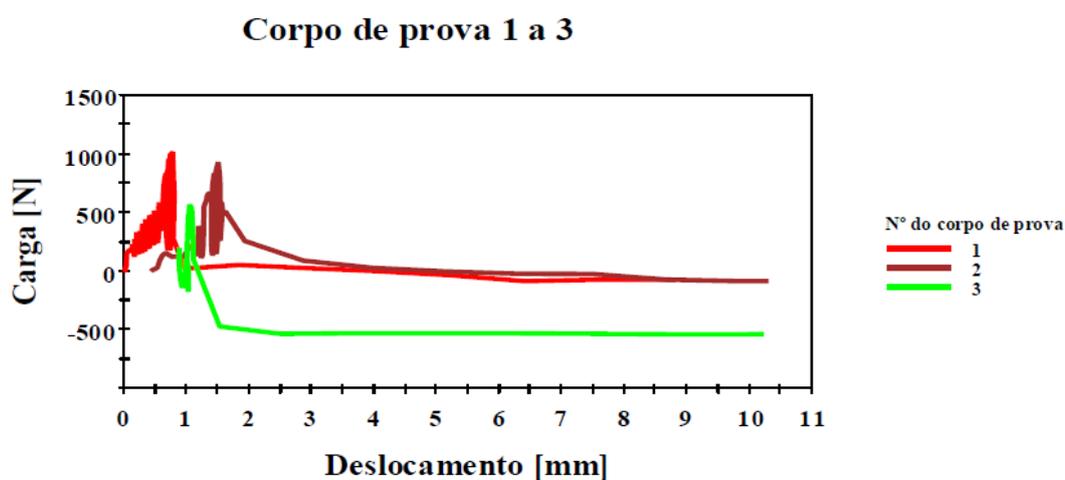


Figura 33 - Ensaio de flexão com 1,5 % de fibra de sisal incorporada. Fonte: Autor, 2020.

Com base nos resultados apresentados pelo gráfico nota-se que o teor de incorporação da fibra nos corpos de prova não foi um fator preponderante nos resultados deste ensaio. Como se pode ver nas figuras 27 e 28, os corpos de prova sem incorporação do sisal, os rompimentos ocorreram de forma abrupta, ou seja, não houve nenhum componente que fez o papel de ponte de transferência de tensão de tração, levando o concreto, que de acordo com a ciência dos materiais é classificado como frágil, ao rompimento.

Contudo nas figuras 29,30 e 31 o comportamento dos corpos de prova com sisal tem uma tendência a se tornar um material dúctil, ou seja, a fibra de sisal serviu como ponte de transferência da carga de tração não deixando que o corpo de prova se rompesse abruptamente, tanto é verdade que houve corpos de prova que não se partiram como mostra a figura 24.



Figura 34 - Atuação das fibras. Autor, 2020.

De acordo com os dados de resistência, conclui-se que a incorporação do sisal não apresentou ganho de resistência no concreto, pelo contrário levou que o mesmo sofresse uma diminuição. Contudo o que pode ter acarretado essa perda de resistência é a presença da fibra, pois ela ocupa um lugar que seria destinado ao aglomerante (cimento), tornando assim o elemento mais leve, ou talvez, a disposição das fibras nos corpos de prova não foi a das melhores, podendo ter tido uma concentração maior de fibra em uma região do corpo de prova do que em outra.

Entretanto ressalta-se que nas demais técnicas observaram-se valores de aumento de resistência, porém na técnica de tensão de flexão não se notou aumento de forma explícita, mas apresentou comportamento comparativamente dúctil, que pode estar vinculado a influência da fibra sendo no aspecto mecânico, no que tange valores de força suportada, quanto os valores de deformação a serem apresentadas pelo material, o que comprova a influência das fibras na matriz cimentícia, contudo essa influência pode não estar ligada necessariamente a interação da fibra com os demais materiais, mas sim como um agente disperso que está causando influências físicas diretas nas propriedades do artefato. Fato este que desperta maiores interesses para estudos posteriores.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos não se pode dizer que a fibra de sisal é um dos materiais mais indicados para ser incorporada no concreto com o intuito de aumentar sua resistência à tração. Através dos ensaios realizados foi possível observar que quando se trata de resistência à compressão a fibra de sisal acaba causando variações no desempenho do concreto.

Contudo quando se trata de resistência à tração a fibra de sisal causou um leve aumento na sua capacidade resistente, entretanto não são todos os teores apresentados que surtiram o mesmo efeito. O teor de fibra de sisal ideal para que haja um ganho na resistência a tração é em torno de 1,0% do volume que se deseja.

Se tratando de resistência a flexão a incorporação da fibra não trouxe resultados positivos, os dados mostraram que a fibra de sisal prejudicou o desempenho do concreto, entretanto incorporou no concreto outra característica a tendência à ductilidade. Essa característica é bastante interessante, pois se tratando de uma estrutura seria um dos sinais que indicaria que o elemento está com algum problema, sendo assim uma forma de ganhar tempo para obter uma solução para o problema.

Ao fim dessa análise tem-se que a fibra de sisal incorporada no concreto é um material que necessita de mais estudos, sendo necessário encontrar um equilíbrio entre o ganho de resistência à tração e a perda da resistência a compressão, talvez uma solução seja o tratamento da fibra de sisal para que ela tenha uma incorporação melhor no concreto. Também realizar um estudo com outro tipo de traço ou desenvolvimento de um traço específico para incorporação da fibra.

Muito embora, mesmo ainda necessitando de resultados e estudos mais aprofundados, conclui-se por esse trabalho que é de pertinência o estudo de inserção de fibras, visto que os materiais tendem a apresentar propriedades mais interessantes no contexto de aplicação de obras, o que pode se tornar algo de aspecto aplicável e econômico das obras de pequeno e grande porte.

6. REFERÊNCIAS

AMARAL, José Carlos do. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência**. 2011, 113 p. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

AOKI, Jorge; MEDEIROS, Giovana. **Retração – Redução de Efeito e Compensação**. Disponível em <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=17&Cod=1681>>. Acesso em 18 de abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13297: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, p. 9. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de provas prismáticos**. Rio de Janeiro, p. 3. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12665: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 18. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, p. 9. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, p. 4. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, p. 3. 2011.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. Disponível em <<https://www.p2.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>>. Acesso em 14 de setembro de 2020.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 6ª edição. Rio de Janeiro LTC: 2019.

BEKAERT, Belgo. **Retração do concreto: o que é e o que fazer para prevenir seus efeitos**. Disponível em <<https://blog.belgobekaert.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-o-que-fazer-para-prevenir-seus-efeitos/>>. Acesso em 18 de Abril de 2020.

BORGES, Ana Paula Silva Nascentes. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais**, 2017, 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2017.

CALLISTER, Willian D. Jr; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução**. 8ª edição. Rio de Janeiro LTC: 2015.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 3ª. edição - Rio de Janeiro : Elsevier ; Brasília, DF : Ed. UnB, 2016.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**, 2011, 248p. Tese (Livre – Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 2011.

GONÇALVES, Bruno Henrique. LIMA, Glauco Francisco de. GONÇALVES, Bruno Henrique. **Comportamento do concreto reforçado com fibras de aço carbono: resistência à compressão e tração por compressão diametral**. Disponível em <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/concreto-reforcado-%> >. Acesso em 01 de maio de 2020.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7ª edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

JOSEPH, Kuruvilla; MEDEIROS Eliton S.; CARVALHO, Laura H. **Compósitos de Matriz Poliéster Reforçados por Fibras Curtas de Sisal**. Disponível em <<https://revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/S0104-14281999000400023>>. Acesso em 24 março de 2020.

JUNIOR, Jackson Dirceu Megiatto. **Fibras de sisal: Estudo de propriedades e modificações químicas visando aplicação em compósitos de matriz fenólica**. 2006, 267 p. Tese apresentada ao Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciência (Físico-química). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

KAEFER, Luís Fernando. **A Evolução do Concreto Armado**. Disponível em <<http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>>. Acesso em 24 de março de 2020.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto**. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2013

PEREIRA, A. V.; OLIVEIRA, F. M.; MACHADO, T.; G.; MONTEIRO, F. M. **Estudo do potencial das fibras de sisal da macrorregião da Chapada Diamantina – BA para produção de compósitos**, 2016, 14p. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – IFBA- Instituto Federal da Bahia, 2016.

PICANÇO, Marcelo de Souza. **Compósitos cimentícios reforçados com fibra de curauá**, 2005, 101p. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Estruturas. PUC-Rio Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2005.

RESENDE, Carlos. **A forma de rompimento do CP é importante?** Disponível em <<http://propriedadesdoconcreto.blogspot.com/2016/12/a-forma-de-rompimento-do-cp-e-importante.html>>. Acesso em 24 de outubro de 2020.

RESENDE, Fabrício Meneses. **Influências das fibras de aço, polipropileno e sisal no amortecimento de concretos de resistência normal e de alto desempenho.** 2003, p.98. Tese submetida ao corpo docente da coordenação dos programas de pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte do requisito necessário para obtenção do grau de mestre em Ciência em Engenharia Civil. Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

SARTORI, Cássia Éster Romão. **Estudo do comportamento mecânico de argamassas com fibras de sisal e microcelulose.** Dissertação apresentada como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2017.

SOUSA, Rainer Gonçalves. **História do Cimento.** Disponível em <<https://www.historiadomundo.com.br/curiosidades/historia-do-cimento.htm>>. Acesso em 14 de março de 2020.

SOUZA, Eduardo. **Concreto reforçado com fibras: resistência e leveza.** Disponível em <<https://www.archdaily.com.br/br/919851/concreto-reforcado-com-fibras-resistencia-e-leveza>>. Acesso em 10 de abril de 2020.